



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

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE MÁSTER EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTES**

**“OBTENCIÓN DE LA ECUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA
HORMIGONES DE RESISTENCIA $f'c=280$ kg/cm² UTILIZANDO MATERIAL
GRANULAR DE LA MINA PINTAG, FINO DEL CHASQUI, HORMIGÓN
RECICLADO Y CEMENTO TIPO HE”**

Autor: Franklin Andrés Pérez Barrionuevo

Tutor: Ing. Wilson Cando MDI.

Quito-Ecuador

2025

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	viii
ABSTRACT	x
CAPÍTULO I	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.1. JUSTIFICACIÓN.....	1
1.1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1.3. OBJETIVOS.....	3
1.1.4. ALCANCE.....	4
1.1.5. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS	5
1.2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	6
1.2.1. ANTECEDENTES	6
1.2.2. MARCO CONCEPTUAL.....	8
AGREGADOS.....	8
CEMENTO.....	9
AGUA.....	11
ADITIVOS	11
DOSIFICACIÓN	11
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	13
ENSAYOS A COMPRESIÓN.....	14
DEFORMACIÓN EN EL HORMIGÓN.....	14
TRABAJABILIDAD.....	15
ENSAYOS EN LOS AGREGADOS	17

CONTENIDO DE HUMEDAD	20
ABRASIÓN.....	20
RECICLAJE EN LA CONSTRUCCIÓN	21
MODULO DE ELASTICIDAD.....	22
MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA DETERMINAR EL MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	23
CAPITULO II.....	25
2.1. PROCEDENCIA DE LOS MATERIALES UTILIZADOS	25
2.1.1. AGREGADO GRUESO, MINA BONILLA (PINTAG).....	25
2.1.2. AGREGADO FINO, CANTERA CLAUDIO (CHASQUI)	26
2.1.3. MATERIAL RECICLADO.....	26
2.2. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS	28
2.3. ENSAYOS DE LOS AGREGADOS	29
2.3.2. Granulometría	32
CAPITULO III.....	45
3.1. DISEÑO DE MEZCLAS.....	45
3.2. DOSIFICACIÓN AL PESO SEGÚN MÉTODO ACI.....	45
3.2.1. PROCEDIMIENTO.....	46
3.3. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	62
3.4. DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD	65
3.4.1. CÁLCULO DEL FACTOR DE MÓDULO DE ELASTICIDAD	70
3.4.2. ECUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	73
CAPÍTULO IV	74

4.1. CONCLUSIONES.....	74
4.2. RECOMENDACIONES.....	75
BIBLIOGRAFÍA.....	77
ANEXOS.....	81
5.1. ENAYOS DE CARACTERIZACIÓN.....	81
5.1. ANEXOS FOTOGRÁFICOS.....	129

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Ensayo más comunes en los agregados</i>	28
Tabla 2 <i>Escala comparativa de colores de Gardner</i>	30
Tabla 3 <i>Resultado de contenido Orgánico</i>	31
Tabla 4 <i>Granulometría del agregado grueso</i>	33
Tabla 5 <i>Granulometría del agregado fino</i>	35
Tabla 6 <i>Gravedad Específica y Absorción de agregado grueso</i>	37
Tabla 7 <i>Gravedad Específica y Absorción de agregado fino</i>	38
Tabla 8 <i>Peso unitario suelto del agregado grueso y fino</i>	39
Tabla 9 <i>Peso unitario compactado del agregado grueso y fino</i>	40
Tabla 10 <i>Ensayo de Abrasión</i>	42
Tabla 11 <i>Contenido de humedad, agregado fino y grueso</i>	44
Tabla 12 <i>Resistencia estimada f'_{cr}</i>	46
Tabla 13 <i>Presentación de la mezcla en estado seco</i>	56
Tabla 14 <i>Peso de los agregados corregida la humedad</i>	57
Tabla 15 <i>Aporte de agua de los agregados</i>	58
Tabla 16 <i>Factores de proporción del diseño de hormigón</i>	59
Tabla 17 <i>Proporciones para la mezcla de concreto muestra patrón</i>	60
Tabla 18 <i>Proporciones para la mezcla de concreto agregado reciclado al 6%</i>	60
Tabla 19 <i>Proporciones para la mezcla de concreto agregado reciclado al 8%</i>	61
Tabla 20 <i>Proporciones para la mezcla de concreto agregado reciclado al 10%</i>	61

Tabla 21 <i>Resultados de la Resistencia a la compresión en cilindros de la muestra patrón</i>	62
Tabla 22 <i>Resultados de la resistencia a la compresión en cilindros con agregado reciclado al 6%</i>	62
Tabla 23 <i>Resultados de la resistencia a la compresión en cilindros con agregado reciclado al 8%</i>	63
Tabla 24 <i>Resultados de la resistencia a la compresión en cilindros con agregado reciclado al 10%</i>	63
Tabla 25 <i>Resultados de módulo de elasticidad en cilindros con la muestra patrón</i>	65
Tabla 26 <i>Resultados de módulo de elasticidad en cilindros con agregado reciclado al 6%</i>	66
Tabla 27 <i>Resultados de módulo de elasticidad en cilindros con agregado reciclado al 8%</i>	66
Tabla 28 <i>Resultados de módulo de elasticidad en cilindros con agregado reciclado al 10%</i>	67
Tabla 29 <i>Factores de módulo de elasticidad</i>	70
Tabla 30 <i>Factores de módulo de elasticidad (MPa)</i>	71
Tabla 31 <i>Factores de módulo de elasticidad (Kg/cm²)</i>	72
Tabla 32 <i>Ecuaciones de módulo de elasticidad (MPa)</i>	73
Tabla 33 <i>Ecuaciones de módulo de elasticidad (Kg/cm²)</i>	73

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Representación de curvas granulométricas</i>	9
Figura 2 <i>Cemento Chimborazo Tipo HE</i>	10
Figura 3 <i>Agregado fino cubriendo espacios vacíos entre agregados gruesos</i>	13
Figura 4 <i>Gráfica de tensión-deformación del hormigón bajo cargas a compresión</i>	15
Figura 5 <i>Intervalos de consistencia y tolerancia del hormigón fresco</i>	16
Figura 6 <i>Gradación de árido fino</i>	18
Figura 7 <i>Requisitos de gradación para áridos gruesos</i>	19
Figura 8 <i>Gradación de las muestras de ensayo</i>	21
Figura 9 <i>Mina Bonilla, Pintag</i>	25
Figura 10 <i>Cantera Claudio, el Chasqui</i>	26
Figura 11 <i>Reciclado de hormigón</i>	27
Figura 12 <i>Trituración del reciclado</i>	27
Figura 13 <i>Escala de colores de Gardner</i>	30
Figura 14 <i>Contenido orgánico en agregado fino</i>	31
Figura 15 <i>Granulometría agregado grueso proporcionado por la mina</i>	32
Figura 16 <i>Curva granulométrica agregado grueso proporcionado por la mina</i>	33
Figura 17 <i>Curva granulométrica del agregado grueso</i>	34
Figura 18 <i>Curva granulométrica del agregado fino</i>	36
Figura 19 <i>Máquina de los Ángeles</i>	41
Figura 20 <i>Especificaciones para la carga en máquina de los Ángeles</i>	42
Figura 21 <i>Masa de muestra necesaria para determinar el contenido de humedad</i>	43

Figura 22 <i>Ensayo de asentamiento</i>	47
Figura 23 <i>Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción</i>	48
Figura 24 <i>Valores recomendados de TMN</i>	49
Figura 25 <i>Valores recomendados para el contenido de aire</i>	50
Figura 26 <i>Requerimientos de agua en la mezcla</i>	51
Figura 27 <i>Relación agua-cemento por resistencia</i>	52
Figura 28 <i>Agregado grueso por unidad de volumen de concreto</i>	54
Figura 29 <i>Diagrama de resultados de la resistencia a la compresión</i>	64
Figura 30 <i>Diagrama de resultados de módulo de elasticidad en MPa</i>	68
Figura 31 <i>Diagrama de resultados de módulo de elasticidad en Kg/cm²</i>	69

TÍTULO DEL PROYECTO: “Desarrollo de la Ecuación del Módulo de Elasticidad para Hormigones de Resistencia $f'c=280$ kg/cm² Utilizando Material Granular de la Mina Pintag, Fino del Chasqui, Hormigón Reciclado y Cemento Tipo HE”

AUTOR: Franklin Andrés Pérez Barrionuevo

TUTOR: Wilson Oswaldo Cando Tipan

RESUMEN

El hormigón está compuesto por cemento, agua, grava y arena. La resistencia, durabilidad y trabajabilidad lo convierten en una elección común para uso en construcciones como edificios, puentes, carreteras entre otros. Tras su mezcla en proporciones adecuadas y luego de pasar por un proceso de fraguado y curado alcanzan su resistencia máxima.

El módulo de elasticidad del hormigón permite conocer si los materiales seleccionados para su composición cumplen con las características adecuadas para soportar deformaciones que estén en el rango de tolerancia tras las sollicitaciones aplicadas. Por lo que es de suma importancia que los agregados cumplan con características específicas para obtenerlo ya que esto varía mucho dependiendo la selección de los mismo.

El presente trabajo de investigación se centra en la obtención de ecuaciones para determinar el módulo de elasticidad que se acoplen a las características propias de los agregados seleccionados en función del lugar y varios factores considerados necesarios para la correcta obtención de este.

De manera general estudios han demostrado que la ecuación de módulo de elasticidad presente en normativas como la ACI 318 varían en función de las características de los

agregados, ya que estos se obtienen de lugares y minas con características discrepantes con las que se plantearon las fórmulas.

Con lo descrito previamente surge la necesidad de obtener una ecuación de módulo de elasticidad del Hormigón con una resistencia a la compresión de 280 Kg/cm², elaborado con material granular de la mina “Pintag”, fino de la mina del “Chasqui”, agregado reciclado “hormigón triturado de losas” y cemento “tipo HE”

Se realizará la compresión a las probetas respectivas utilizando la ecuación de módulo de elasticidad provista, en adición se añadirá material reciclado en porcentajes de 6,8 y 10% sustituyendo al agregado fino en la dosificación prevista, con el objetivo de obtener resultados y verificaciones acordes de la ecuación de módulo de elasticidad; Finalmente se verificará si las dosificaciones nos permiten obtener hormigones con la resistencia requerida.

PALABRAS CLAVE: MODULO DE ELASTICIDAD, DEFORMACIONES, COMPRESION

ABSTRACT

Concrete is composed of cement, water, gravel, and sand. Its strength, durability, and workability make it a common choice for construction projects such as buildings, bridges, and roads, among others. After being mixed in appropriate proportions and undergoing a setting and curing process, it reaches its maximum strength.

The modulus of elasticity of concrete allows us to determine whether the selected materials meet the necessary characteristics to withstand deformations within the acceptable tolerance range under applied loads. Therefore, it is crucial that the aggregates meet specific requirements, as this property varies significantly depending on their selection.

This research focuses on obtaining equations to determine the modulus of elasticity that best fit the characteristics of the selected aggregates, considering their origin and various necessary factors for its accurate determination.

In general, studies have shown that the modulus of elasticity equation found in standards such as ACI 318 varies based on the characteristics of the aggregates, as these come from different quarries and mines with properties that differ from those used in the original formulation of these equations.

Given the above, there is a need to develop a specific equation for the modulus of elasticity of concrete with a compressive strength of 280 Kg/cm², made using granular material from the “Pintag” quarry, fine aggregate from the “Chasqui” quarry, recycled aggregate from “crushed concrete slabs,” and HE-type cement.

Compression tests will be conducted on the respective specimens using the provided modulus of elasticity equation. Additionally, recycled material will be added in proportions

of 6%, 8%, and 10%, replacing the fine aggregate in the proposed mix design. The objective is to obtain results and verifications that align with the modulus of elasticity equation. Finally, it will be assessed whether the mix designs allow for the production of concrete that meets the required strength.

KEYWORDS: MODULUS OF ELASTICITY, DEFORMATIONS,
COMPRESSION

CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

1.1.1. JUSTIFICACIÓN

El módulo de elasticidad juega un rol importante en las estructuras, ya que mide la capacidad de deformarse de un material bajo la aplicación de ciertas cargas, en otras palabras, mide su rigidez. En términos más técnicos, indica la relación entre la fuerza aplicada por unidad de área (esfuerzo) y el cambio de longitud relativa (deformación), en la región elástica de un material, el cual vuelve a su forma original una vez retirada la carga aplicada.

En nuestro campo estructural es importante conocer las deformaciones de los elementos estructurales al aplicarles cargas para evitar fallos. Conocer el módulo de elasticidad nos permite seleccionar materiales adecuados para soportar las solicitaciones previstas sin deformarse de manera excesiva.

La normativa que nos rige como diseñadores estructurales nos brinda fórmulas para su obtención, sin embargo, varios estudios realizados indican que esta podría variar, debido a la calidad de los materiales, (agregados gruesos y finos) así como el tipo de cemento a emplearse. En adición el uso de reciclado de construcción como triturado de hormigón, podría ser un aporte importante en la obtención de nuevas fórmulas de módulo de elasticidad y a su vez un paso importante para reducir la contaminación ambiental al darle un segundo uso a los residuos de la construcción presentes en nuestro medio.

1.1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a la gran cantidad de desperdicio de construcción, es necesario tener una normativa que avale y exija el uso de reciclados de la construcción como manera de cuidar nuestro medio ambiente.

En la actualidad Ecuador no posee una normativa interna que procure el uso de reciclados de construcción en obras civiles, sin embargo, otros países ya cuentan con sus códigos y normativas para la reutilización de los reciclados de construcción, entre ellos y por nombrar algunos; Alemania con su reglamento para la gestión de Residuos de construcción y demolición (RCW,2020), Francia con la Ley de Transición energética para un crecimiento verde (2015), donde se promueve el uso de reciclados en la construcción y establece objetivos para la reducción de residuos; entre otros países que se han sumado al cambio.

1.1.3. OBJETIVOS

1.1.3.1. Objetivo general

Desarrollar una ecuación del módulo de elasticidad para hormigón con resistencia $f'c=280$ kg/cm², utilizando material granular de la mina Pintag, fino de la mina Chasqui, agregado reciclado de hormigón triturado de losas y cemento tipo HE”

1.1.3.2. Objetivos específicos:

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados gruesos, finos y del material reciclado (hormigón triturado) mediante ensayos de laboratorio.
- Validar el diseño del hormigón propuesto y evaluar su eficiencia en términos de comportamiento estructural y cumplimiento de las especificaciones técnicas.
- Analizar la resistencia del hormigón con la incorporación de 6%, 8% y 10% de material reciclado (hormigón triturado) mediante pruebas experimentales

1.1.4. ALCANCE

Para obtener la ecuación del módulo de elasticidad objetivo de este proyecto, se deberá realizar un proceso mediante el cual utilizaremos materiales agregados obtenidos de la mina “Pintag”, fino de la mina del “Chasqui”, agregado reciclado “hormigón triturado de losas” y cemento “tipo HE”, con los materiales descritos anteriormente se realizará una cantidad determinada de cilindros de hormigón dosificados al peso para alcanzar una resistencia de $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$, posteriormente serán sometidos al ensayo de resistencia a la compresión luego de 28 días, una vez determinada la dosificación más adecuada se realizara la incorporación de distintos porcentajes de material reciclado de construcción con lo cual se realizarán nuevos cilindros de hormigón y se verificará que dosificación fue la más adecuada para alcanzar la resistencia descrita anteriormente.

Finalmente, los cilindros serán sometidos al ensayo de resistencia a la compresión y con los resultados obtenidos se determinará la ecuación de módulo de elasticidad para un hormigón de $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$.

1.1.5. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS

La metodología usada en este proyecto es de tipo experimental debido a que se realizaran ensayos de laboratorio a cada uno de los agregados para conocer sus propiedades, es decir realizar los “ensayos de caracterización”, conociendo las propiedades de los agregados se realiza un diseño aplicando la metodología ACI, con ello se elaborará una muestra patrón de concreto, adicionalmente se implementará porcentajes de 6%, 8% y 10% de material reciclado “hormigón triturado” para obtener un hormigón con resistencia estimada de $f'c=280$ kg/cm². A estos cilindros con sus respectivos porcentajes de mezcla se los somete al ensayo de módulo de elasticidad, para conocer el módulo en cada uno de los casos descritos.

Para el desarrollo del presente estudio se seguirá el siguiente procedimiento:

- Seleccionar las minas de agregado grueso y fino con la cual se trabajará para desarrollar los cilindros con sus dosificaciones y materiales.
- Se procederá reemplazar diferentes porcentajes de agregado fino por porcentajes de “hormigón triturado” reciclado de construcción que pasen por el tamiz No.04.
- Con las dosificaciones obtenidas en el punto anterior se procederá a realizar cilindros de hormigón que a los 28 días se les realizará un ensayo de “Modulo de elasticidad”, para obtener la curva esfuerzo deformación, con los datos obtenidos y tabulados se procederá a realizar el análisis respectivo para verificar el módulo de elasticidad obtenido.

1.2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

1.2.1. ANTECEDENTES

Los residuos de construcción pueden ser clasificados conforme cantidades y categorías, y su uso depende en gran parte de la compañía constructora. Sin embargo, gran parte de los residuos pueden ser reutilizados, por lo que, varios países en los últimos diez años han reducido en gran parte estas cantidades y así mismo han utilizado estos en un sinnúmero de proyectos, estudios y otros para analizar nuevas oportunidades de reciclaje. (Producción de Residuos de Construcción y Reciclaje, 2021).

El reciclaje es una necesidad a nivel global, ya que no solo países industrializados como Holanda o Dinamarca tienen grandes cantidades de residuos de construcción, sino también los países en vías de desarrollo como Bangladesh experimenta este tipo de problemas y a la vez intentar reutilizar de la mejor manera los mismos, evitando así causar daño al medio ambiente y sobre todo ahorrando los recursos naturales. (Producción de Residuos de Construcción y Reciclaje, 2021).

En Holanda y Dinamarca, aproximadamente el 80% u 85% de los residuos de construcción, se conoce provienen del hormigón y albañilería, en donde el hormigón representa del 30 al 40% del valor antedicho. Esto puede compararse con la situación en Kuwait, donde los escombros de hormigón representan aproximadamente el 30% de los desechos de demolición. (Lauritzen)

En varios países, incluyendo miembros de la CE, además de Estados Unidos y Japón, la reutilización de material triturado proveniente de residuos de construcción para relleno, es realizada habitualmente por los contratistas de demolición. Estas actividades de reciclaje se

llevan a cabo de acuerdo con la propia iniciativa de los empresarios, quienes evalúan los costos de la operación o las condiciones concernientes al depósito de residuos de la construcción sin regulación real o coordinación desde las autoridades. (Lauritzen)

Un estudio realizado en Japón encontró que las propiedades residenciales completamente recicladas podrían reducir el uso de energía en al menos un 10%.

Cambiar del uso de agregados gruesos naturales al uso de agregados gruesos reciclados puede reducir las emisiones de dióxido de carbono en hasta un 65% y disminuir el uso de energía no renovable en hasta un 58%. En comparación con un producto de cantera convencional de la misma calidad, el agregado reciclado en Australia reduce el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero en aproximadamente 4 kg de dióxido de carbono por tonelada. (Oghenerukome Akponovo, 2023).

Actualmente Ecuador no cuenta con una normativa que regule el uso de residuos de construcción para usarlos en nuevas construcciones, como ya los hay en otros países incluso en países latinoamericanos que han tomado la posta para el cambio.

1.2.2. MARCO CONCEPTUAL

HORMIGON

El hormigón es una piedra artificial formada por cuatro componentes básicos: cemento, agregado fino, agregado grueso, agua y eventualmente aditivos. (Mastropietro, 2019).

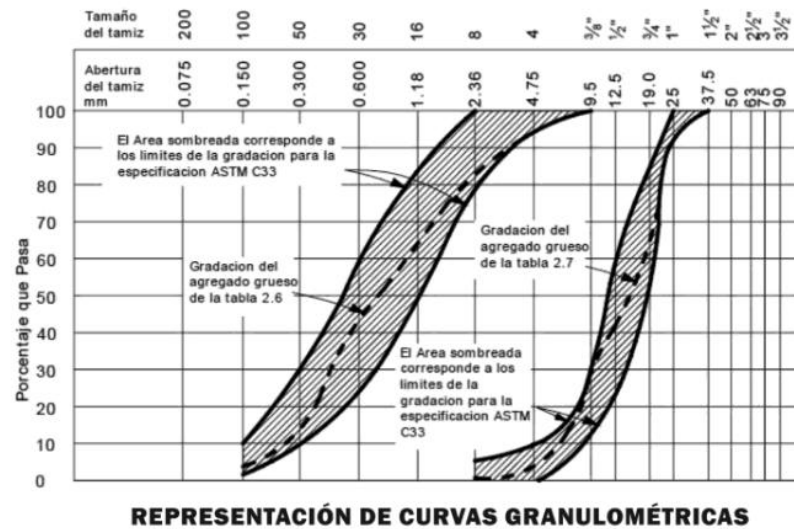
AGREGADOS

Los agregados son los áridos que surgen de la desintegración natural o de la trituración de rocas. También hay agregados artificiales que mejoran el comportamiento del hormigón para una aplicación específica. Se clasifican en agregados finos a los que tienen un diámetro de 4,75 mm, y, por otro lado, encontramos a los agregados gruesos, mismos que superan dicha medida, los cuales deben poseer curva de granulometría, de características ciertas para garantizar una variedad de diámetros que corresponden a lo preestablecido en normas IRAM.

En el gráfico siguiente se observan las curvas de máxima y mínima para agregados grueso y para agregados finos. (Mastropietro, 2019).

Figura 1

Representación de curvas granulométricas



Nota. Adaptado de (Mastropietro, 2019).

CEMENTO

El Cemento Portland es un polvo muy fino, de color grisáceo, que se compone principalmente de silicatos de calcio y de aluminio, que provienen de la combinación de calizas, arcillas o pizarras, y yeso, mediante procesos especiales.

El procedimiento de manufacturación del cemento, esencialmente consiste, en la trituración de los materiales crudos, entre ellos: arcillas y calizas; realizada en cantidades iguales de ambos materiales, y su calcinación es realizada a una temperatura de 1400°C aproximadamente, dentro de un cilindro rotativo, provocando una fusión parcial y a su vez formando las llamadas bolas Clinker, mismo que es enfriado y luego molido junto con yeso, hasta volverlo polvo fino, mismo que toma el nombre de cemento Portland.

Existen diversos tipos de cemento Portland que cumplen con requisitos especiales, como los cementos resistentes a los sulfatos, de alta resistencia inicial, de fraguado rápido, etc. (Mastropietro, 2019)

El cemento, es el material aglutinante, el cual reacciona con agua, posterior a ello fragua y se endurece con exposición al aire o a su vez bajo agua, siendo sus funciones principales las siguientes: aglomerar y ser aporte de resistencia.

En la presente investigación se utilizó cemento “CHIMBORAZO”, tipo HE que es un cemento que cumple estrictamente la norma INEN 2380.

Figura 2

Cemento Chimborazo Tipo HE



Nota. Adaptado de (<https://www.ucem.com.ec/cemento-chimborazo-hormigon-prefabricados-cobertura-nacional/>)

AGUA

Función:

- Junto con el cemento, el agua reacciona de forma química, otorgando la hidratación correspondiente a los materiales para que comienzan el proceso de fraguado.
- Lubricación para los componentes de la mezcla antes mencionada.
- Provisión de espacios libres para el desarrollo de los productos de hidratación.

ADITIVOS

Mejoran las propiedades del hormigón para lograr que sea aplicable a distintas situaciones, abarcando el estado fresco y endurecido. Existen actualmente en el mercado: Aceleradores de endurecimiento, aceleradores de fraguado, anticongelantes, plastificantes, incorporadores de aire, hidrófugos, etc.

DOSIFICACIÓN

Se denomina dosificación a la colocación de proporciones en que se mezclan los componentes tanto básicos como complementarios del hormigón. Las propiedades del hormigón endurecido dependerán de la dosificación inicial de los componentes, del proceso de mezcla, y de curado. En términos generales, los agregados conceden al hormigón una estructura interna, en donde los agregados más finos se entremezclan con los agregados más gruesos, provocando que el material se comporte de una mejor forma ante las cargas de compresión. La pasta de cemento (cemento más agua), por otra parte, llena los espacios libres entre partículas de áridos en el hormigón fresco, además de envolver totalmente a los áridos. Al comenzar el proceso de fraguado, comienzan a aparecer los cristales hidratados que

generan la unión química de los agregados presentes en la mezcla. Esta reacción es de tipo exotérmica (genera calor) y requiere de la presencia de agua. Esta reacción es mucho más intensa en las primeras horas después de la preparación del hormigón y luego va disminuyendo progresivamente en su intensidad con el tiempo. Normalmente parte del cemento no logra hidratarse con el agua por lo que no colabora con la resistencia del hormigón, sino que actúa como una porosidad contraproducente. (Mastropietro, 2019)

Para brindar adecuadas condiciones de temperatura y humedad que permitan lograr el grado de hidratación necesario para obtener las características de resistencia, estabilidad dimensional y durabilidad buscado se debe realizar el proceso o de curado del hormigón. Existen diferentes formas de curado, siendo el aporte de agua lo más utilizado, se debe mantener húmedo el hormigón con un riego periódico. Otras opciones son cubrir al hormigón con arpilleras o films de polietileno, entre otras opciones. Este proceso debe mantenerse por un término de 7 días, de todos modos, depende de las condiciones ambientales. De acuerdo con la dosificación indicada se debe asegurar:

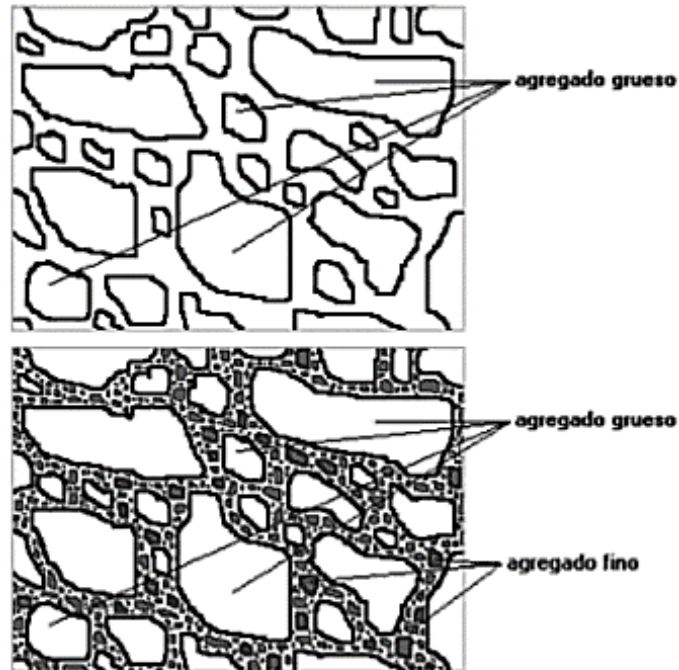
- Trabajabilidad: Aptitud del hormigón para ser puesto en obra.
- Resistencia: Capacidad que desarrolla para soportar cargas.

Estas propiedades del hormigón son difíciles de obtenerlas simultáneamente ya que esta intrínsecamente relacionadas con la relación agua/cemento. Una relación agua/cemento baja que permita una adecuada trabajabilidad en el hormigón fresco suele conducir a un hormigón de mejor calidad y mayor resistencia. La disminución de agua en la mezcla produce que la trabajabilidad del hormigón también se vea disminuida. Para asegurar una mezcla

homogénea junto con una trabajabilidad razonable de un hormigón sin aditivos recomendando una relación a/c (agua-cemento) no inferior de 0.60. (Mastropietro, 2019)

Figura 3

Agregado fino cubriendo espacios vacíos entre agregados gruesos



Nota. Adaptado de (Mastropietro, 2019)

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La resistencia del hormigón se determina en probetas. Para poder interpretar los resultados, el ensayo de compresión debe estar normalizado. El hormigón, al ser un material heterogéneo, cada ensayo provocará resultados diferentes, para asegurar una resistencia especificada se debe calcular la resistencia característica de un hormigón, el cual consiste en un valor tal que debe ser superado o igualado como mínimo por el 90% de las probetas ensayadas. La resistencia especificada o resistencia característica de rotura a compresión " f'_c "

" es el valor de la resistencia a compresión que se adopta en el proyecto y se utiliza como base para los cálculos. (Mastropietro, 2019)

ENSAYOS A COMPRESIÓN

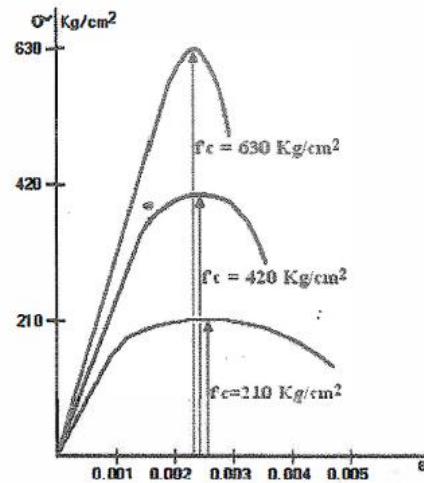
El ensayo a compresión consiste en llevar hasta el punto de rotura probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura. Se realiza en pruebas cilíndricas estandarizadas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, encaminadas hasta la rotura mediante cargas incrementales, considerablemente rápidas, con duración de pocos minutos. Esta resistencia se mide posterior a los 28 días de fraguado, con el hormigón bajo condiciones controladas de humedad. De acuerdo con el modo de trabajo será la cantidad y frecuencia de extracción de probetas para verificar en obra la resistencia especificada. (Mastropietro, 2019)

DEFORMACIÓN EN EL HORMIGÓN

Al estudiar los gráficos de tensión-deformación, se puede entender' el comportamiento propio del hormigón. Es la resistencia la que define la deformación admisible del material como se muestra en el siguiente gráfico. (Mastropietro, 2019)

Figura 4

Gráfica de tensión-deformación del hormigón bajo cargas a compresión



Nota. Adaptado de (Mastropietro, 2019)

El American Concrete Institute (ACI 318-19) propone la siguiente expresión:

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

Donde:

E_c =Módulo de elasticidad del hormigón

f'_c =Resistencia a la compresión del hormigón

TRABAJABILIDAD

Un hormigón fresco se considera trabajable cuando puede adaptarse fácilmente a cualquier forma de encofrado, con un mínimo de trabajo mecánico (vibración) aplicado. (Mastropietro, 2019). Cuantitativamente la trabajabilidad se mide mediante el Asentamiento del Cono de Abrams o mediante el Diámetro de Dispersión en la Mesa de Flujo; mientras

mayor es el asentamiento o mayor es el diámetro de dispersión, el hormigón es más trabajable. (Mastropietro, 2019)

El ensayo del Cono de Abrams consiste en rellenar un molde metálico troncocónico de dimensiones normalizadas, en tres capas apisonadas con 25 golpes de varilla-pisón y, luego de retirar el molde, medir el asentamiento que experimenta la masa de hormigón colocada en su interior. (Mastropietro, 2019)

Esta medición se complementa con la observación de la forma de derrumbamiento del corto de hormigón mediante golpes laterales con la varilla-pisón. (Mastropietro, 2019)

Asentamientos promedios

- Asentamiento 6 cm. para bases.
- Asentamiento 12 cm. para estructuras en general.
- Asentamiento 15 cm. para estructuras difíciles de llenar, hormigón visto.

En la figura 5. se observa los intervalos de consistencia y tolerancia del hormigón fresco:

Figura 5

Intervalos de consistencia y tolerancia del hormigón fresco

Consistencia	Remoldeo (V) (s)		Asentamiento (A) (cm)		Extendido (E) (cm)	
	Intervalo	Tolerancia	Intervalo	Tolerancia	Intervalo	Tolerancia
Muy seca	5,0 < V ≤ 30,0	± 2,0	--	--	--	--
Seca	--	--	2,0 < A ≤ 5,0	± 1,0	--	--
Plástica	--	--	5,0 < A ≤ 10,0	± 2,0	--	--
Muy plástica	--	--	10,0 < A ≤ 15,0	± 2,0	50 < E ≤ 55	± 1,0
Fluida	--	--	15,0 < A ≤ 18,0	± 3,0 (*)	55 < E ≤ 60	± 2,0
Muy fluida	--	--	--	--	60 < E ≤ 65	± 2,0

(*) La tolerancia en (+) es válida siempre que el asentamiento medido sea igual o menor que 20,0 cm.

Nota. Adaptado de (Mastropietro, 2019)

ENSAYOS EN LOS AGREGADOS

CLASIFICACIÓN POR TAMAÑOS

El hormigón se fabrica con partículas de áridos que abarcan un rango de tamaños, hasta un tamaño máximo que suele estar comprendido entre 10 mm ($\frac{3}{4}$ pulg.) y 50 mm (2 pulg.); 20 mm ($\frac{3}{4}$ pulg.) es el tamaño típico. (BROOKS, 2010)

La distribución por tamaños se denomina granulometría. La alternativa, mucho más común y siempre utilizada en la fabricación de hormigón de buena calidad, consiste en obtener el árido en al menos dos lotes separados, siendo la división principal a un tamaño de 5 mm ($\frac{3}{16}$ pulg.) o tamiz ASTM No. 4. Esto divide el árido fino (arena) del árido grueso. Debe tenerse en cuenta que el término árido se utiliza a veces para referirse al árido grueso en contradicción con la arena, una práctica que no es correcta. (BROOKS, 2010)

En general, se considera que la arena tiene un límite inferior de tamaño de unos 0,07 mm (0,003 pulg.) o un poco menos. El material entre 0,06 mm (0,002 pulg.) y 0,02 mm (0,0008 pulg.) se clasifica como limo, y las partículas más pequeñas se denominan arcilla. La marga es un depósito blando formado por arena, limo y arcilla en proporciones aproximadamente iguales. (BROOKS, 2010)

Árido Fino

El árido fino consiste en arena natural, arena elaborada o una combinación de ellas. (NTE INEN 872, 2011)

Figura 6

Gradación de árido fino

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

Nota. Adaptado de (NTE INEN 872, 2011).

El árido fino no debe tener más de 45% pasante en cualquier tamiz y retenido en el siguiente consecutivo de aquellos indicados y su módulo de finura no debe ser menor que 2,3 ni mayor que 3,1. (NTE INEN 872, 2011).

El árido fino que no cumpliera con estos requisitos de gradación puede llegar a ser aceptado, siempre y cuando el proveedor pueda demostrar al comprador o a quien prepara las especificaciones, que el hormigón de la clase especificada, elaborado con el árido fino en consideración, tiene sus propiedades relevantes al menos iguales a las del hormigón elaborado con los mismos ingredientes. El árido fino de referencia debe ser seleccionado de un surtidor que tenga un registro de desempeño aceptable, en construcciones de hormigón similares. (NTE INEN 872, 2011).

El árido fino para ser utilizado en hormigón que está sujeto a humedecimiento, exposición prolongada a la humedad atmosférica o contacto con terreno húmedo, no debe contener ningún material que sea perjudicialmente reactivo con los álcalis del cemento en una cantidad suficiente que cause expansión excesiva al mortero o al hormigón. (NTE INEN 872, 2011).

Árido Grueso

El árido grueso debe consistir en grava, grava triturada, piedra triturada, escoria de altos hornos enfriada al aire u hormigón de cemento hidráulico triturado, o una combinación de estos, conforme con los requisitos de esta norma. (NTE INEN 872, 2011).

El árido grueso debe cumplir con los requisitos para el número de tamaño especificado, indicados en la figura 7. Se puede aceptar la utilización de áridos que no cumplan estrictamente con los requisitos de gradación siempre que el árido propuesto haya sido evaluado con pruebas previas de desempeño que demuestren que se obtienen resultados satisfactorios y que además se cuente con la aprobación expresa del especialista en hormigones y del responsable de la obra. (NTE INEN 872, 2011).

Figura 7

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	---	---	---	---
487	de 37,5 a 4,75	---	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	0 a 5	---	---	---
5	de 25,0 a 12,5	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---	---	---
56	de 25,0 a 9,5	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	---	---	---
57	de 25,0 a 4,75	---	---	---	---	---	100	95 a 100	---	25 a 60	---	0 a 10	0 a 5	---	---
6	de 19,0 a 9,5	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	---	---	---
67	de 19,0 a 4,75	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	---	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---
7	de 12,5 a 4,75	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	---	---
8	de 9,5 a 2,36	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	---
89	de 9,5 a 1,18	---	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9 ^A	de 4,75 a 1,18	---	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

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

Nota. Adaptado de (NTE INEN 872, 2011).

CONTENIDO DE HUMEDAD

Una muestra de masa normalizada en estado natural es secada en horno hasta eliminar la humedad tanto superficial como aquella ubicada entre los poros del árido. La cantidad de agua evaporada expresada en porcentaje respecto de la masa seca es la humedad de árido. (NTE INEN 862, 2011).

El contenido de humedad superficial es igual a la diferencia entre el contenido total de humedad evaporable y la absorción, con todos los valores basados en la masa de la muestra seca. (NTE INEN 862, 2011).

ABRASIÓN

El valor de la degradación es utilizado como indicador de la calidad relativa o de la competencia de áridos y fuentes de áridos, que tienen composiciones mineralógicas similares. Los resultados obtenidos por este ensayo no permiten realizar comparaciones entre fuentes de diferente origen, composición o estructura. (NTE INEN 861, 2011).

Este estudio establece la pérdida de masa de los agregados minerales con gradación normalizada, el cual es resultante de una combinación de acciones que incluyen, tanto la abrasión, como el desgaste, impacto y molienda en un tambor giratorio de acero que contiene 12 esferas de acero. A medida que el tambor gira, una plataforma reúne la muestra y las esferas de acero, elevándolas hasta que caigan al lado opuesto del tambor, creando un efecto de impacto y trituración. El contenido o mezcla gira en conjunto con el tambor, en una acción de molido, hasta que la plataforma agrupe nuevamente la muestra y las esferas de acero y se repite el ciclo. Luego de un número especificado de revoluciones, se arrumban los contenidos

del tambor y la porción de árido se tamiza para medir la degradación como un porcentaje de pérdida. (NTE INEN 861, 2011).

Figura 8

Gradación de las muestras de ensayo

Tamaño de las aberturas de tamiz (mm) (aberturas cuadradas)		Masa por tamaños indicada (g)		
Pasante de	Retenido en	Gradación		
		1	2	3
75	63	2 500 ± 50	---	---
63	50	2 500 ± 50	---	---
50	37,5	5 000 ± 50	5 000 ± 50	---
37,5	25,0	---	5 000 ± 25	5 000 ± 25
25,0	19,0	---	---	5 000 ± 25
Total		10 000 ± 100	10 000 ± 75	10 000 ± 50

Nota. Adaptado de (NTE INEN 861, 2011).

RECICLAJE EN LA CONSTRUCCIÓN

La industria de la construcción es una gran consumidora de materiales. En este rumbo, cualquier decisión que sea tomada sobre los productos que se dispondrán en la obra, posee un alcance ambiental significativo. Estas decisiones no solamente afectarán al propio sector de la construcción; actuarán también como motor de desarrollo de otros mercados de productos. (Reixach, 2000).

La construcción es un motor para la economía, la cual evoluciona hacia un consumo cada vez mayor de materiales recuperados, actuando como ejemplo para otros sectores productivos. En definitiva, la construcción puede convertirse en un modelo, como una actividad productiva sensible a las exigencias de sostenibilidad ambiental de las que tanto se habla. (Reixach, 2000).

Por ello, se propone fomentar cada día un poco más la utilización de materiales reciclados. Para incentivar la reutilización y el reciclaje debemos seguir estas dos recomendaciones: Todos los residuos que se producen en la obra se deben separar de manera que se facilite su valorización mediante la reutilización o el reciclaje. (Reixach, 2000). Utilizar de forma preferente productos en los que la materia prima contenga residuos de construcción en lugar de materiales nuevos. (Reixach, 2000).

MODULO DE ELASTICIDAD

En el análisis y diseño de estructuras de concreto reforzado es utilizado el módulo de elasticidad (Módulo de Young) del concreto E_c , parámetro relacionado con la resistencia a compresión de este. (Serrano & Pérez, 2010)

El Módulo de elasticidad estático del concreto se determina a través de la prueba estándar de compresión definida en investigación y desarrollo 18 concreto y cemento la “Norma ASTM C469”, preparando especímenes cilíndricos de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura, los cuales son sometidos a una carga axial incrementada gradualmente hasta que el cilindro de hormigón falla. Las deformaciones transversales y longitudinales son medidas continuamente durante la aplicación de la carga incremental (Serrano & Pérez, 2010).

Este módulo describe la rigidez relativa de un material. Es medido en laboratorio y determinado con la pendiente de la región elástica de la curva esfuerzo/deformación. (Serrano & Pérez, 2010).

En un medio isotrópico sometido a carga axial, el Módulo de Young o Elasticidad estática puede ser calculada dividiendo el esfuerzo por la elongación unitaria (Serrano & Pérez, 2010) así:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\frac{F}{A_0}}{\frac{\Delta L}{L_0}} = \frac{FL_0}{A_0 \Delta L}$$

En donde E es el módulo de elasticidad o Módulo de Young.

F es la fuerza axial aplicada.

Ao es el área de la sección transversal original.

ΔL es la variación de dimensión longitudinal del objeto.

Lo es la altura original.

La resistencia y comportamiento dentro de un elemento de concreto bajo cargas depende de la compatibilidad del mortero y agregados en términos del módulo de elasticidad del mortero y del agregado grueso. (Serrano & Pérez, 2010)

MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA DETERMINAR EL MÓDULO DE ELASTICIDAD

Este método proporciona una relación entre el esfuerzo y su deformación unitaria, y una relación entre la deformación unitaria transversal y la deformación unitaria longitudinal para el concreto endurecido a cualquier edad y condiciones de curado establecidas. (ASTM C469)

El módulo de elasticidad y la relación de Poisson, aplicables dentro de los rangos de esfuerzos de trabajo acostumbrados (0 a 40% de la carga última del concreto), son usados para el dimensionamiento de elementos reforzados o no reforzados, para establecer la cantidad de refuerzo y para calcular los esfuerzos para las deformaciones unitarias observadas. (ASTM C469)

Se calcula el módulo de elasticidad con una aproximación de 50,000 psi (344.74 Mpa) de la siguiente manera:

$$E = (S_2 - S_1) / (\epsilon_2 - 0.000050)$$

Donde:

E = módulo de elasticidad cuerda, psi,

S₂ = esfuerzo correspondiente al 40% de la carga última

S₁ = esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria longitudinal, ϵ_1 , de 50 millonésimas, y

ϵ_2 = deformación unitaria longitudinal producida por el esfuerzo S₂.

CAPITULO II

2.1. PROCEDENCIA DE LOS MATERIALES UTILIZADOS

2.1.1. AGREGADO GRUESO, MINA BONILLA (PINTAG)

Píntag es una parroquia rural de la provincia de Pichincha, en el Distrito Metropolitano Se encuentra a 27,5 km al sureste de Quito Limita al norte con Pifo, La Merced, Tumbaco y Alangasí.

Es conocido por sus puestas de sol, fiestas, cultura chacarera y talabarteros, es una importante fuente de agua para Quito.

La mina Bonilla a la cual se accedió para recolección del agregado grueso destaca que su material cumple toda la normativa y exigencia tanto para obras de infraestructura, como para la construcción de proyectos inmobiliarios; El material recolectado fue ripio de $\frac{3}{4}$ ".

Figura 9

Mina Bonilla, Pintag



Nota. Adaptado de Fuente Propia

2.1.2. AGREGADO FINO, CANTERA CLAUDIO (CHASQUI)

Se encuentra en Provincia de Cotopaxi, este material cuenta con todas las características para brindar un hormigón de buena calidad, posteriormente se corrobora eso con los ensayos de caracterización realizados.

Figura 10

Cantera Claudio, el Chasqui



Nota. Adaptado de Fuente Propia

2.1.3. MATERIAL RECICLADO

El material reciclado que se utilizó para este proyecto es proveniente de los escombros de hormigón generado en procesos constructivos, estos reciclados se proceden a triturar hasta obtener un polvo fino capaz de pasar por el tamiz No.04 y esto se incluirá como agregado

reciclado en lugar del fino en el diseño del hormigón definitivo en los porcentajes especificados.

Figura 11

Reciclado de hormigón



Nota. Adaptado de Fuente Propia.

Figura 12

Trituración del reciclado



Nota. Adaptado de Fuente Propia

2.2. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS

Los agregados son partículas sólidas que se mezclan con cemento y agua para conformar el hormigón; Los agregados finos y gruesos componen aproximadamente un intervalo del 65% al 85% del total de volumen del hormigón por tal motivo deben cumplir varios controles de calidad de acuerdo con normas internacionales como ASTM, así como las normativas nacionales INEN, los cuales nos permiten conocer sus principales características que contribuyan a la conformación del hormigón.

A continuación, se presenta una tabla resumen de los ensayos más comunes que se le realizan a los agregados.

Tabla 1

Ensayo más comunes en los agregados

Ensayo	Norma Nacional	Norma Internacional
Agregado Grueso		
Abrasión	INEN 860	ASTM C131
Densidad Aparente Suelta y Compactada	INEN 858	ASTM C029
Granulometría	INEN 696	ASTM C033, C125
Densidad Real Peso Específico	INEN 857	ASTM C128
Capacidad de Absorción	INEN 857	ASTM C070
Agregado Fino		
Colorimetría	INEN 855	ASTM C040

Densidad Aparente Suelta y		
Compactada	INEN 858	ASTM C029
Granulometría	INEN 696	ASTM C136
Densidad Real Peso		
Específico	INEN 856	ASTM C127
Capacidad de Absorción	INEN 856	ASTM C070

Nota. Adaptado de Fuente Propia

2.3. ENSAYOS DE LOS AGREGADOS

2.3.1. Contenido Orgánico

Este método de ensayo cubre dos procedimientos para una determinación aproximada de la presencia de impurezas orgánicas dañinas en agregados finos que se van a utilizar en morteros de cemento hidráulico o concreto. Un procedimiento usa una solución de color estándar y el otro usa un estándar de color de vidrio. (C40/C40M-20, 2020).

Por cada muestra de árido fino, se debe agregar una solución normalizada de hidróxido de sodio, se agita y después de 24 horas se compara el color del líquido con el color de la solución normalizada o con el comparador de colores para determinar si la muestra contiene impurezas orgánicas inapropiadas. (INEN, ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LAS IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL ÁRIDO FINO PARA HORMIGÓN., 2010).

Para determinar con mayor precisión el color del líquido flotante de la muestra de prueba, se usará cinco colores estándar de vidrio, utilizando los siguientes:

Tabla 2

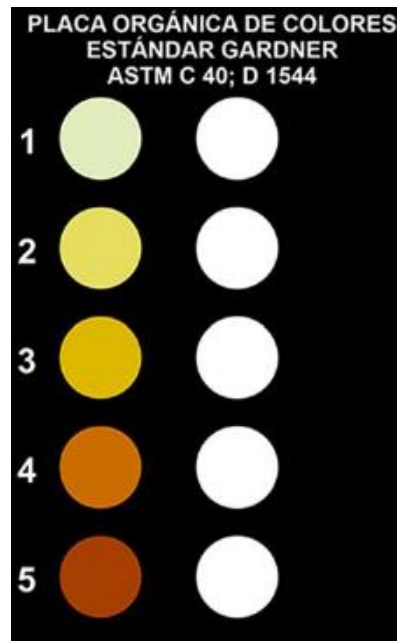
Escala comparativa de colores de Gardner

Color Estándar Gardner		Plato Orgánico	
No.		No.	
5		1	
8		2	
11		3 (estándar)	
14		4	
16		5	

Nota. Adaptado de (C40/C40M-20, 2020)

Figura 13

Escala de colores de Gardner



Nota. Adaptado de (C40/C40M-20, 2020)

Tabla 3

Resultado de contenido Orgánico

CONTENIDO ORGÁNICO	
Color de acuerdo con la Escala de Gardner	5
Color determinado en el ensayo	1
Conclusiones	No contiene residuos orgánicos

Nota. Adaptado de Fuente Propia

Figura 14

Contenido orgánico en agregado fino



Nota. Adaptado de Fuente Propia

2.3.2. Granulometría

Agregado grueso

El árido grueso debe consistir en grava, grava triturada, piedra triturada, escoria de altos hornos enfriada al aire u hormigón de cemento hidráulico triturado. El árido grueso debe cumplir con los requisitos para el número de tamaño especificado, indicados en la figura 7. Se puede aceptar la utilización de áridos que no cumplan estrictamente con los requisitos de gradación siempre que el árido propuesto haya sido evaluado con pruebas previas de desempeño que demuestren que se obtienen resultados satisfactorios y que además se cuente con la aprobación expresa del especialista en hormigones y del responsable de la obra. (NTE INEN 872, 2011)

Para la obtención de granulometrías del árido grueso se solicitó a la mina las curvas granulométricas representativas para el agregado ¾”, dándonos los siguientes resultados:

Figura 15

Granulometría agregado grueso proporcionado por la mina

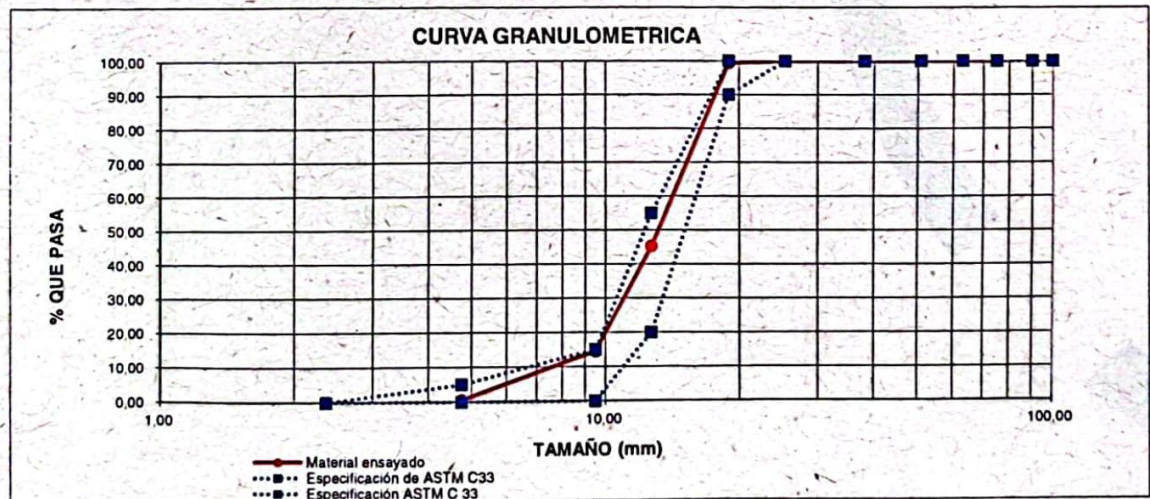
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO: ¾ plg
TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO: 1 plg

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	0	0	0,00	100,00
3/4"	19,00	56	56	0,55	99,45
1/2"	12,70	5462	5518	54,63	45,37
3/8"	9,51	3109	8627	85,42	14,58
No.4	4,76	1416	10043	99,44	0,56
Pasa N° 4		57	57		
SUMA		10100	10100		

Nota. Adaptado de Mina Bonilla

Figura 16

Curva granulométrica agregado grueso proporcionado por la mina



Nota. Adaptado de Mina Bonilla

Para propósitos de un correcto diseño del hormigón esto resultados se los tomaron como referenciales y se analizó los agregados gruesos también en laboratorio dándonos los siguientes resultados:

Tabla 4

Granulometría del agregado grueso

GRANULOMETRIA AGREGADO GRUESO

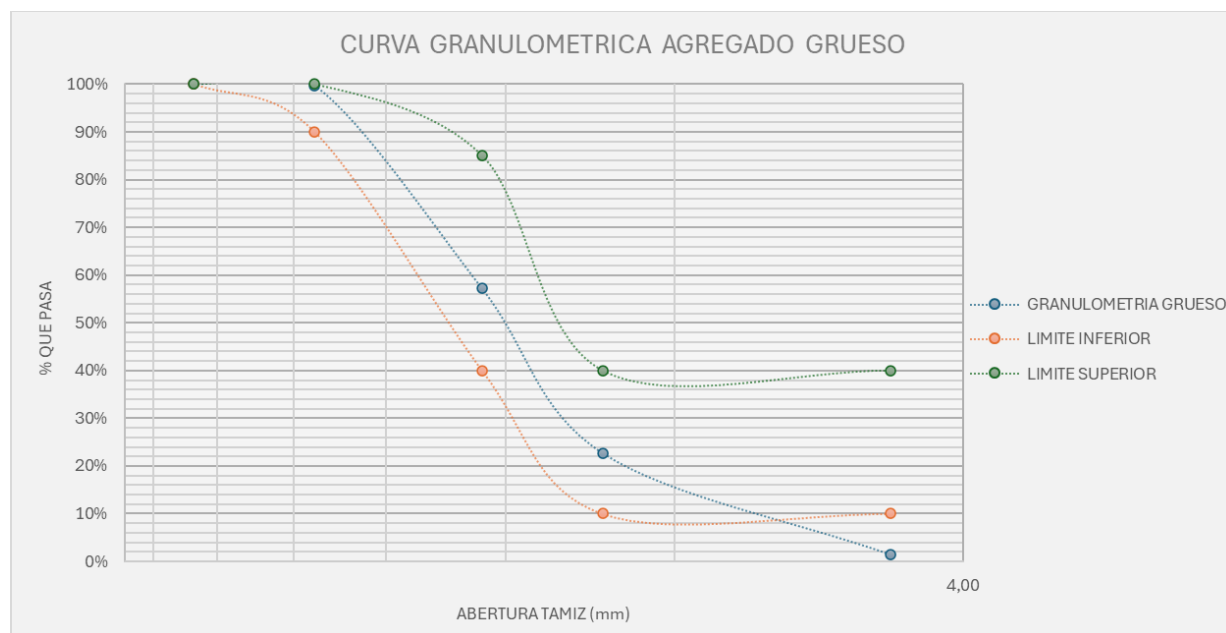
MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL (g)	MASA RETENIDA ACUMULADA (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
4"	100.00	0	0.00	0.00	0.00	100.00
3 1/2"	90.00	0	0.00	0.00	0.00	100.00
3"	75.00	0	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.00	0	0.00	0.00	0.00	100.00

2"	50.80	0	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	37.6	37.60	0.24	0.24	0.24	99.76
1/2"	12.70	6635	6672.60	42.57	42.82	42.82	57.18
3/8"	9.51	5371	12043.60	34.46	77.28	77.28	22.72
No.04	4.76	3315	15358.60	21.27	98.55	98.55	1.45
PASA No.04		226	15584.60	1.45	100.00	100.00	0.00
SUMA		15584.6					

Nota. Adaptado de Fuente Propia

Figura 17

Curva granulométrica del agregado grueso



Nota. Adaptado de Fuente Propia

Como se aprecia los resultados obtenidos en laboratorio son bastante similares a los brindados por la mina, por lo que se puede destacar la calidad del producto brindado y dar fiel cumplimiento a los criterios de aceptación.

Agregado fino

El árido fino consiste en arena natural, arena elaborada o una combinación de ellas. El árido fino no debe tener más de 45% pasante en cualquier tamiz y retenido en el siguiente consecutivo de aquellos indicados en la figura 6. y su módulo de finura no debe ser menor que 2,3 ni mayor que 3,1.

El árido fino que no cumpliera con estos requisitos de gradación puede ser aceptado siempre que, el proveedor pueda demostrar al comprador o a quien prepara las especificaciones que el hormigón da la clase especificada, y que es elaborado con el árido fino en estudio, tomando en cuenta que tiene al menos propiedades iguales a las del hormigón elaborado con los mismos ingredientes. El árido fino de referencia debe ser seleccionado de una fuente que tenga un registro de desempeño aceptable en construcciones de hormigón similares. (NTE INEN 872, 2011).

Tabla 5

Granulometría del agregado fino

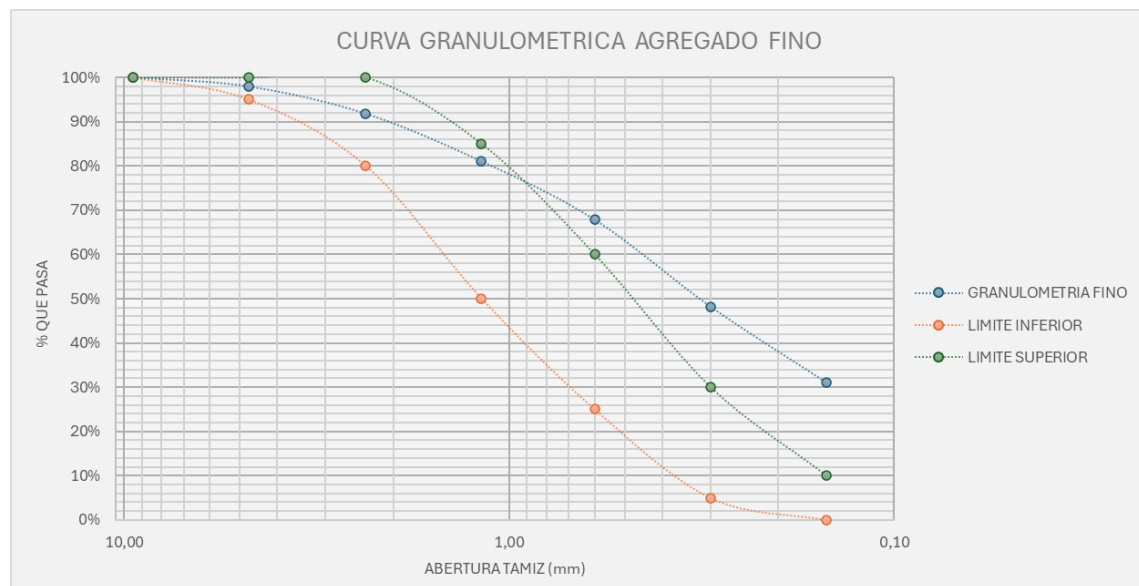
GRANULOMETRIA AGREGADO FINO						
MALLA	ABERTURA	MASA	MASA	PORCENTAJE	PORCENTAJE	PORCENTAJE
No.		RETENIDA	RETENIDA	RETENIDO	RETENIDO	QUE PASA
		PARCIAL	ACUMULADA		ACUMULADO	
	(mm)	(g)	(g)	(%)	(%)	(%)
2"	50.80	0	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0	0.00	0.00	0.00	100.00

1"	25.40	0	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	0	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.51	0	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
No.04	4.76	13.6	13.60	2.02	2.02	2.02	97.98
No.08	2.36	41.5	55.10	6.18	8.20	8.20	91.80
No.16	1.18	72.4	127.50	10.78	18.98	18.98	81.02
No.30	0.60	88.7	216.20	13.20	32.18	32.18	67.82
No.50	0.30	132.1	348.30	19.66	51.85	51.85	48.15
No.100	0.15	115.3	463.60	17.16	69.01	69.01	30.99
PASA No.100		208.2	671.80	30.99	100.00	100.00	0.00
SUMA		671.8					

Nota. Adaptado de Fuente Propia

Figura 18

Curva granulométrica del agregado fino



Nota. Adaptado de Fuente Propia

El agregado fino seleccionado, tiene un módulo de finura por debajo de lo establecido en literatura, sin embargo, la mina certifica la calidad del fino y estos resultados serán aceptados al momento de realizar la dosificación de la mezcla.

Gravedad Especifica

La densidad relativa (gravedad específica) es la característica generalmente se usa para calcular el volumen ocupado por el agregado en varias mezclas que contienen agregado, incluyendo concreto de cemento portland, concreto bituminoso y otras mezclas que son proporcionadas o analizadas sobre una base de volumen absoluto. (ASTM C 127, 2001)

Los valores de absorción se utilizan para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida en los espacios porosos dentro de las partículas constituyentes, en comparación con la condición seca, cuando se considera que el agregado ha estado en contacto con el agua el tiempo suficiente para satisfacer la mayor parte del potencial de absorción. (ASTM C 127, 2001)

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

Tabla 6

Gravedad Específica y Absorción de agregado grueso

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION AGREGADO GRUESO		
GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGAGO GRUESO		
(A) MASA SECA	3847	gr

(B) MASA DE LA MUESTRA SATURDO SUPERFICIALMENTE SECA		
SSS	3950	gr
(C) MASA APARENTE	2368	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA	2.432	gr/cm3
GRAVEDAD ESPECIFICA	2431.732	Kg/m3
PORCENTAJE DE ABSORCION AGREGAGO GRUESO		
(A) MASA SECA	3847	gr
(B) MASA DE LA MUESTRA SATURDO SUPERFICIALMENTE SECA		
SSS	3950	gr
GRADO DE ABSORCION	2.677	%

Nota. Adaptado de Fuente Propia

Tabla 7

Gravedad Específica y Absorción de agregado fino

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION AGREGADO FINO		
GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGAGO FINO		
(A) MASA MUSTRA SECADA AL HORNO	479.2	gr
(B) MASA DEL PICNOMETRO LLENADO DE AGUA	659.3	gr
(C) MASA DEL PICNOMETRO LLENADO DE MUESTRA Y AGUA	957	gr
(S) MASA DE LA MUESTRA SSS	500	gr
DENSIDAD RELATIVA	2.369	gr/cm3
DENSIDAD RELATIVA	2368.759	Kg/m3
PORCENTAJE DE ABSORCION AGREGAGO FINO		

(A) MASA MUSTRA SECADA AL HORNO	479.2	gr
(S) MASA DE LA MUESTRA SSS	500	gr
GRADO DE ABSORCION	4.341	%

Nota. Adaptado de Fuente Propia

Peso Unitario

El peso unitario estriba en determinar, la densidad total y así mismo el resultado de la división de la masa de un agregado en estado seco (en un determinado nivel de consolidación o compactación) y el volumen que éste ocupa, esto incluyendo los vacíos de aire entre las partículas y la absorción, lo cual se expresa en lbf/pie³ (kg/m³). Los resultados obtenidos son necesarios para que las mezclas de concreto hidráulico y para conversiones masa/volumen en la aceptación de materiales en la obra sean proporcionales.

El término común, con el cual se denomina la densidad total en agregados es la determinación del pesos unitarios sueltos y pesos unitarios compactados y se abrevian PUS y PUC respectivamente.

Tabla 8

Peso unitario suelto del agregado grueso y fino

PESO UNITARIO SUELTO AGREGADO GRUESO Y FINO		
PUS AGREGAGO GRUESO		
(A) PESO DEL RECIPIENTE	3814	gr
(B) VOLUMEN DEL RECIPIENTE	6878	gr
(C) PESO DEL RECIPIENTE + PESO MUESTRA SUELTA	11990	gr
(D) PESO MUESTRA SUELTA	8176	gr

PESO UNITARIO SUELTO	1.189	gr/cm³
PESO UNITARIO SUELTO	1188.718	Kg/m³
PUS AGREGAGO FINO		
(A) PESO DEL RECIPIENTE	5050	gr
(B) VOLUMEN DEL RECIPIENTE	2980	gr
(C) PESO DEL RECIPIENTE + PESO MUESTRA SUELTA	9070	gr
(D) PESO MUESTRA SUELTA	4020	gr
PESO UNITARIO SUELTO	1.349	gr/cm³
PESO UNITARIO SUELTO	1348.993	Kg/m³

Nota. Adaptado de Fuente Propia

Tabla 9

Peso unitario compactado del agregado grueso y fino

PESO UNITARIO COMPACTADO GRUESO Y FINO		
PUC AGREGAGO GRUESO		
(A) PESO DEL RECIPIENTE	3814	gr
(B) VOLUMEN DEL RECIPIENTE	6878	gr
(C) PESO DEL RECIPIENTE + PESO MUESTRA SUELTA	12660	gr
(D) PESO MUESTRA COMPACTADA	8846	gr
PESO UNITARIO COMPACTADO	1.286	gr/cm³
PESO UNITARIO COMPACTADO	1286.130	Kg/m³
PUC AGREGAGO FINO		

(A) PESO DEL RECIPIENTE	5050	gr
(B) VOLUMEN DEL RECIPIENTE	2980	gr
(C) PESO DEL RECIPIENTE + PESO MUESTRA SUELTA	9320	gr
(D) PESO MUESTRA COMPACTADA	4270	gr
PESO UNITARIO COMPACTADO	1.433	gr/cm³
PESO UNITARIO COMPACTADO	1432.886	Kg/m³

Nota. Adaptado de Fuente Propia

Desgaste por abrasión

El valor de la degradación es utilizado como un indicador de calidad relativa o de la competencia y fuentes de áridos, que tienen composiciones mineralógicas similares. El presente ensayo nos ayuda a determinar la pérdida de masa de los agregados minerales con gradación normalizada, resultante de una combinación de acciones que incluyen la abrasión o desgaste, el impacto y la molienda se encuentran en un tambor giratorio de acero que contiene un número especificado de esferas de acero, cuyo número dependerá de la gradación de la muestra del ensayo.

Figura 19

Máquina de los Ángeles



Nota. Adaptado de Fuente Propia

A medida que el tambor continúa girando, una plataforma recoge tanto la muestra como las esferas de acero, y las eleva hasta que caigan al lado opuesto del tambor, provocando impacto y trituración. El contenido gira con el tambor, simulando un molido, hasta que la plataforma recoja nuevamente la muestra y las esferas de acero y el proceso se repite cíclicamente. Luego de un número especificado de revoluciones, se retiran los contenidos del tambor y la porción de árido se tamiza para medir la degradación como un porcentaje de pérdida. (INEN 860, 2011)

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

Figura 20

Especificaciones para la carga en máquina de los Ángeles

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Nota. Adaptado de (INEN 860, 2011)

Tabla 10

Ensayo de Abrasión

ABRASIÓN		
TIPO DE GRADACIÓN	B	
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO	¾"	Pl.
MASA INICIAL DE LA MUESTRA	5001	g

MASA RETENIDA EN EL TAMIZ No.12 DESPUES DE 500 REVOLUCIONES	3788	g
MASA QUE PASA EL TAMIZ No.12	1213	g
PORCENTAJE DE DESGASTE	24.25	%

Nota. Adaptado de Fuente Propia

Contenido de humedad

El contenido de humedad, es la aptitud de determinado material para almacenar agua, en su constitución interna, dicho de otra manera, es decir, este factor se encuentra en base al número de poros, tamaño y continuidad de estos. Algunos áridos pueden contener agua, combinada químicamente con los minerales del mismo, esta agua no es evaporable y no es incluida en el porcentaje determinado por este método de ensayo.

Una muestra de masa normalizada en estado natural es secada en horno hasta eliminar la humedad superficial y aquella de los poros del árido. La cantidad de agua evaporada expresada en porcentaje respecto de la masa seca es la humedad de árido. (INEN 862, 2011).

Figura 21

Masa de muestra necesaria para determinar el contenido de humedad

Tamaño máximo nominal del árido (mm) ^A	Masa de la muestra de áridos de densidad normal, mínimo (kg) ^B
4,75	0,5
9,5	1,5
12,5	2
19,0	3
25,0	4
37,5	6
50	8
63	10
75	13
90	16
100	25
150	50

^A Basado en tamices que cumplen la NTE INEN 154.
^B Para áridos de baja densidad, determinar la masa mínima de la muestra multiplicando el valor señalado por la masa unitaria seca (peso volumétrico) del árido, en kg/m³ (determinado utilizando el procedimiento señalado en la NTE INEN 858) y dividiendo para 1 600

Nota. Adaptado de (INEN 862, 2011)

Tabla 11

Contenido de humedad, agregado fino y grueso

CONTENIDO DE HUMEDAD			
DESCRIPCION	UNIDAD	AGREGADOS	
		FINO	GRUESO
No. RECIPIENTE	-	1	2
(A) PESO DEL RECIPIENTE	gr	100	100
(B) PESO DEL RECIPIENTE + SUELO HUMEDO	gr	3243	7340
(C) PESO DEL RECIPIENTE + SUELO SECO	gr	2890	7200
(D) PESO DEL AGUA	gr	353	140
(E) PESO DEL SUELO SECO	gr	2790	7100
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	12.65	1.97

Nota. Adaptado de Fuente Propia.

CAPITULO III

3.1. DISEÑO DE MEZCLAS

El diseño de mezclas, es el proceso mediante el cual se selecciona los materiales y por ende sus proporciones, para producir el concreto, según los requerimientos de resistencia, costos, peso, durabilidad y apariencia de acabados.

En cuanto a proporciones y cantidades, el cemento ocupa entre el 7% y 15% del volumen de una mezcla, otorgando de forma eficiente propiedades de cohesión y adherencia; asimismo, los agregados, principalmente la grava y arena, ocupan entre el 59% y 76% del volumen. El agua, necesaria para la hidratación del cemento ocupa entre el 14% y 18% del volumen; y, por último, el aire atrapado en las mezclas puede variar entre el 1% y 3%. (Cordero Estévez, 2019).

3.2. DOSIFICACIÓN AL PESO SEGÚN MÉTODO ACI

En este apartado se procederá a realizar la metodología, así como el análisis de resultados que son necesarios para una dosificación óptima (agregados, agua, cemento), con esto se elaborará un hormigón de resistencia $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$, para luego sustituir el agregado fino por materiales reciclados (triturado de hormigón) en porcentajes de 6%, 8% y 10 %.

El hecho de utilizar el método de dosificación al peso del ACI al momento de calcular los respectivos porcentajes obtendremos resultados más exactos.

3.2.1. PROCEDIMIENTO

Cálculo de la resistencia promedio requerida

Para esto necesitamos la resistencia a la compresión establecida en este caso es de 280 Kg/cm², hay tres formas de calcular esta resistencia, la primera es con la desviación estándar, la segunda y la que vamos a utilizar es con un F'cr estimado que es como un factor de seguridad y el tercer método es teniendo en cuenta el control de calidad en obra, como se mencionó vamos a realizarlo mediante la siguiente manera

Tabla 12

Resistencia estimada f'cr

F'c	F'cr
Menos de 210	F'c+70
210-350	F'c+84
>350	F'c+98

Nota. Adaptado de (Cordero Estévez, 2019)

Entonces:

$$F'cr = (F'c + 84) \frac{Kg}{cm^2}$$

$$F'cr = 280 + 84 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$F'cr = 364 \frac{Kg}{cm^2}$$

Asentamiento

Esta característica está relacionada con la consistencia del concreto, su movilidad relativa o capacidad de fluir. El asentamiento del concreto se puede determinar a través de un método que consiste en colocar concreto fresco en un molde con forma de cono truncado; la mezcla se compacta y posteriormente se retira el molde. La medición del asentamiento corresponde a la diferencia entre la altura de la posición inicial y final de la muestra cómo se indica:

Figura 22

Ensayo de asentamiento



Nota. Adaptado de (Cordero Estévez, 2019)

Para el diseño de mezclas de concreto por el método ACI, se asume un asentamiento esperado en función de que tipo de construcción se ejecutara, es decir el valor del asentamiento se justificara si la aplicación del hormigón es la adecuada para el trabajo que

se va a realizar, cuando este valor es más alto es factible maniobrar el concreto, de otra manera cuando este valor es bajo la mezcla no se formara con facilidad.

A continuación, se presenta la tabla de asentamientos para diferentes elementos estructurales comendados por el ACI:

Figura 23

Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción

Tipos de construcción	Asentamiento (mm)	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	75	25
Zapatas, cajones y muros de subestructura sin refuerzo	75	25
Muros y vigas reforzados	100	25
Columnas	100	25
Pavimentos y losas	75	25
Concreto en masa	50	25

Nota. Adaptado de (Cordero Estévez, 2019)

Como se observa la más común tiene como mínimo asentamiento los 25mm, y máximo 75mm, por lo que, para este diseño en particular, se asumirá un asentamiento máximo de 50mm.

Agua neta y contenido de aire

Tamaño máximo nominal

El tamaño máximo corresponde al tamiz por el cual pasa toda la muestra de agregado grueso, para en análisis correspondiente en Tamaño máximo corresponde a 1 pulg.

El tamaño máximo nominal de un agregado, es el tamaño menor de la malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado. La malla de tamaño máximo nominal puede

retener desde el 5% al 15% del del agregado, esto dependiendo del tamaño. Por ejemplo, el agregado de número de tamaño 67 tiene un tamaño máximo de 25 mm y un tamaño máximo nominal de 19 mm. De 90% a 100%, de este agregado debe pasar la malla de 19 mm y todas sus partículas deberán pasar la malla 25 mm.

El TMN está limitado por las dimensiones de la estructura teniéndose presente que ningún caso debe exceder de un quinto la menor dimensión entre los lados de la formaleta, de un tercio el espesor de las losas, ni de las tres cuartas partes del espaciamiento libre entre varillas individuales de refuerzo, haces de varillas o cables pretensados. (Asocreto, 2010)

Figura 24

Valores recomendados de TMN

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

Nota. Adaptado de (Cordero Estévez, 2019)

De acuerdo con los ensayos realizados se determinó que el TMN del agregado grueso es de 3/8".

Contenido de aire

Figura 25

Valores recomendados para el contenido de aire

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

Nota. Adaptado de (Cordero Estévez, 2019)

De acuerdo con el tamaño de nuestro agregado grueso, el porcentaje de aire promedio es del 2%

Contenido de agua en la mezcla

Con el tamaño máximo nominal del agregado grueso podemos determinar el contenido de agua necesario en la mezcla de concreto que sirva para mejorar su trabajabilidad, adherencia y la hidratación.

En nuestra mezcla tenemos un asentamiento de 5 cm, así como un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 3/4" pulg (19.1 mm), con esto podemos obtener la cantidad de agua respectiva que en este caso es de 190 kg/m³.

Estos valores provienen de la siguiente tabla:

Figura 26

Requerimientos de agua en la mezcla

	AGUA, kg/m ³ DE CONCRETO, PARA LOS TAMAÑOS DE AGREGADO INDICADOS							
Tamaño Máximo Nominal (Mm)	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
Asentamiento (Mm)	Concreto Sin Aire Incluido							
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	
Cantidad de aire atrapado en un concreto sin aire incluido, porcentaje	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
	Concreto con Aire Incluido							
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	
Promedio del contenido de aire total recomendado, para el nivel de exposición, porcentaje								
Exposición blanda	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
Exposición moderada	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3
Exposición severa	7.5	7	6	6	5.5	5	4.5	4

Nota. Adaptado de (Cordero Estévez, 2019)

Relación agua cemento

Es quizá la característica más importante al momento de realizar la dosificación, ya que de ella depende en gran medida obtener la resistencia esperada.

Figura 27

Relación agua-cemento por resistencia

f' cr (28 días)	Relación agua - cemento de diseño en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	-
450	0.38	-

Nota. Adaptado de (Cordero Estévez, 2019)

Dado que la resistencia promedio requerida f'_{cr} es de 364 Kg/cm², se interpola este valor entre 350 y 400 Kg/cm², para poder obtener el valor de relación esperado, que resulta de 0.466.

Contenido de Cemento

Previamente obtenido la relación A/C y también la cantidad de agua. Despejamos el valor del contenido de cemento con la siguiente expresión:

$$\frac{A}{C} = 0.466$$

$$C = \frac{A}{0.466}$$

$$C = \frac{190 \text{ kg/m}^3}{0.466}$$

$$C = 407.73 \text{ kg/m}^3$$

Por lo tanto, tendremos 407.73 kg de cemento en cada m³ de hormigón; Ahora obtenemos un factor en relación con el saco de cemento estándar que es de 50 kg, este factor nos servirá después;

$$\text{factor } C = \frac{C}{\text{Peso saco cemento}}$$

$$\text{factor } C = \frac{407.73 \text{ kg}}{50 \text{ kg}}$$

$$\text{factor } C = 8.15$$

Peso del agregado grueso

Para obtener el volumen del agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen de concreto, debemos usar la siguiente tabla:

Figura 28

Agregado grueso por unidad de volumen de concreto

TABLA 16.2.2 AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DEL CONCRETO				
Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos de fineza del fino			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Nota. Adaptado de (Cordero Estévez, 2019)

Para ello usamos el módulo de finura del agregado fino que es de 1.822 y también el TNM del agregado grueso que es de 3/4", sin embargo, para el valor requerido estamos por afuera por lo que debemos extrapolar los resultados, dándonos como resultado 0.717 m³ de relación de volumen de agregado grueso. Para obtener el peso del agregado grueso en la mezcla, se multiplica este valor por el peso unitario seco compactado del agregado (PUC), dándonos el siguiente resultado:

$$\text{Peso Ag} = \text{Factor} * (\text{PUC})\text{Ag}$$

$$\text{Peso Ag} = 0.717\text{m}^3 * 1286.13 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Peso Ag} = 923.13 \text{ Kg}$$

Volumen absoluto

Para poder obtener el peso del agregado fino debemos pasar todas las cantidades ya obtenidas en volumen, para eso:

$$Cemento = \frac{C}{Peso\ específico\ cemento}$$

$$Cemento = \frac{407.73\ kg}{2.920\ gr/cm^3}$$

$$Cemento = 0.140\ m^3$$

$$Agua = \frac{A}{Peso\ específico\ agua}$$

$$Agua = \frac{190\ kg}{1000\ gr/cm^3}$$

$$Agua = 0.190\ m^3$$

$$Aire = \frac{2}{100}$$

$$Aire = 0.02\ m^3$$

$$A.\ grueso = \frac{Peso\ Ag}{Peso\ específico\ Ag}$$

$$A.\ grueso = \frac{923.13\ Kg}{2431.73\ Kg/m^3}$$

$$A.\ grueso = 0.380\ m^3$$

$$\Sigma = vol. cemento + vol. agua + vol. aire + vol. A. grueso$$

$$\Sigma = 0.729 m^3$$

Peso del agregado fino

$$vol. A. fino = 1 - 0.729 m^3$$

$$vol. A. fino = 0.271 m^3$$

$$A. fino = vol. A. fino * Peso específico A. fino$$

$$A. fino = 0.271 m^3 * 2368.76 Kg/m^3$$

$$A. fino = 641.34 Kg$$

Presentación del diseño en estado seco

Tabla 13

Presentación de la mezcla en estado seco

Presentación de la mezcla en estado seco		
Cemento	407.725	Kg
Agregado Fino	641.341	Kg
Agregado Grueso	923.130	Kg
Agua	190.000	lt.

Nota. Adaptado de Fuente Propia

Corrección por humedad de los agregados

Los agregados absorben la humedad correspondiente al porcentaje de absorción determinado en los ensayos de caracterización, por lo que se debe corregir la humedad para que no afecte al diseño de la mezcla de concreto. Para esto se usa la siguiente ecuación.

$$Pc = Ps * \left(\frac{w\%}{100} + 1 \right)$$

Donde:

Pc: Peso corregido de los agregados

Ps: Peso seco de los agregados

w%: Porcentaje de humedad de los agregados

Tabla 14

Peso de los agregados corregida la humedad

Peso de los agregados corregida la humedad		
Agregado Fino	722.48	Kg
Agregado Grueso	941.33	Kg

Nota. Adaptado de Fuente Propia

Aporte de agua en la mezcla

Se debe considerar el aporte de agua de los agregados y esto dependerá de la cantidad de humedad correspondiente debido a las condiciones en que se encontraban los agregados al momento de realizar los ensayos de caracterización previo a elaborar la mezcla de concreto. Para esto se usa la siguiente ecuación:

$$A. \text{apor} = \frac{(w\% - \text{abs}\%) * P_c}{100}$$

Donde:

A.apor: cantidad de agua que aportan los agregados debido a su humedad propia

Pc: Peso corregido de los agregados

w%: Porcentaje de humedad de los agregados

abs%: Porcentaje de absorción de los agregados

Tabla 15

Aporte de agua de los agregados

Aporte de agua de los agregados		
Agregado Fino	60.051	lt.
Agregado Grueso	6.641	lt.

Nota. Adaptado de Fuente Propia

Se suman los dos resultados dando: 53.41 lt.

Agua efectiva

Se calcula la cantidad real de agua a agregar a la mezcla:

$$\text{Agua} = 190 \text{ lt.} - 53.41 \text{ lt.}$$

$$\text{Agua} = 136.59 \text{ lt.}$$

Proporciones del diseño

Una vez obtenidas las cantidades dividimos los resultados entre la cantidad cemento para tener un factor de proporción de cada uno, excepto el agua este se divide para el factor cemento obtenido anteriormente. Dando los siguientes resultados:

Tabla 16

Factores de proporción del diseño de hormigón

Factores de proporción del diseño	
Cemento	1.00
Agregado Fino	1.772
Agregado Grueso	2.309
Agua	16.75

Nota. Adaptado de Fuente Propia

Dosificación para elaboración 5 cilindros de la muestra patrón

El volumen de hormigón estándar nos resulta de multiplicar su área por la altura dándonos un resultado de 5301.43 cm³ de mezcla, al tener que elaborar 5 y considerar un 10% de desperdicio el volumen total es de: 29157.90 cm³ es decir 0.0291579m³.

Como ya se tiene las dosificaciones para conformar 1 m³ de mezcla de concreto, se aplica una simple regla de 3 para obtener las cantidades en gramos de cada componente, dando como resultado:

Tabla 17*Proporciones para la mezcla de concreto muestra patrón*

Proporciones para la mezcla de concreto muestra patrón		
Cemento	11888.03	gr
Agregado Fino	21065.50	gr
Agregado Grueso	27446.43	gr
Agua	3976.72	gr

Nota. Adaptado de Fuente Propia

Para cada uno de los porcentajes de reciclado se sustituye ese porcentaje en lugar del agregado fino dando como resultado las siguientes proporciones:

Tabla 18*Proporciones para la mezcla de concreto agregado reciclado al 6%*

Proporciones para la mezcla de concreto agregado reciclado al 6%		
Cemento	11888.03	gr
Agregado Fino	19801.57	gr
Agregado Grueso	27446.43	gr
Agua	3976.72	gr
Agregado reciclado	1263.93	gr

Nota. Adaptado de Fuente Propia

Tabla 19*Proporciones para la mezcla de concreto agregado reciclado al 8%*

Proporciones para la mezcla de concreto agregado reciclado al 8%		
Cemento	11888.03	gr
Agregado Fino	19380.26	gr
Agregado Grueso	27446.43	gr
Agua	3976.72	gr
Agregado reciclado	1685.24	gr

Nota. Adaptado de Fuente Propia**Tabla 20***Proporciones para la mezcla de concreto agregado reciclado al 10%*

Proporciones para la mezcla de concreto agregado reciclado al 10%		
Cemento	11888.03	gr
Agregado Fino	18958.95	gr
Agregado Grueso	27446.43	gr
Agua	3976.72	gr
Agregado reciclado	2106.55	gr

Nota. Adaptado de Fuente Propia

3.3. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Tabla 21

Resultados de la Resistencia a la compresión en cilindros de la muestra patrón

Identificación del cilindro	Carga de rotura (Kg)	Diámetro del cilindro (mm)	Área del cilindro (cm ²)	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	Resistencia a la compresión promedio (Kg/cm ²)
1.1	63221	151	179.08	353.03	
2.1	65447	152	181.46	360.67	
3.1	66777	154	186.27	358.51	350.37
4.1	62147	153	183.85	338.02	
5.1	61987	152	181.46	341.60	

Nota. Adaptado de Fuente Propia

Tabla 22

Resultados de la resistencia a la compresión en cilindros con agregado reciclado al 6%

Identificación del cilindro	Carga de rotura (Kg)	Diámetro del cilindro (mm)	Área del cilindro (cm ²)	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	Resistencia a la compresión promedio (Kg/cm ²)
1.2	60444	153	183.85	328.76	
2.2	61873	154	186.27	332.18	
3.2	63821	153	183.85	347.13	331.30
4.2	60011	152	181.46	330.71	
5.2	56148	150	176.71	317.73	

Nota. Adaptado de Fuente Propia

Tabla 23*Resultados de la resistencia a la compresión en cilindros con agregado reciclado al 8%*

Identificación del cilindro	Carga de rotura (Kg)	Diámetro del cilindro (mm)	Área del cilindro (cm²)	Resistencia a la compresión (Kg/cm²)	Resistencia a la compresión promedio (Kg/cm²)
1.3	57889	153	183.85	314.86	
2.3	55411	150	176.71	313.56	
3.3	54987	151	179.08	307.06	310.18
4.3	57899	151	179.08	323.32	
5.3	53001	152	181.46	292.08	

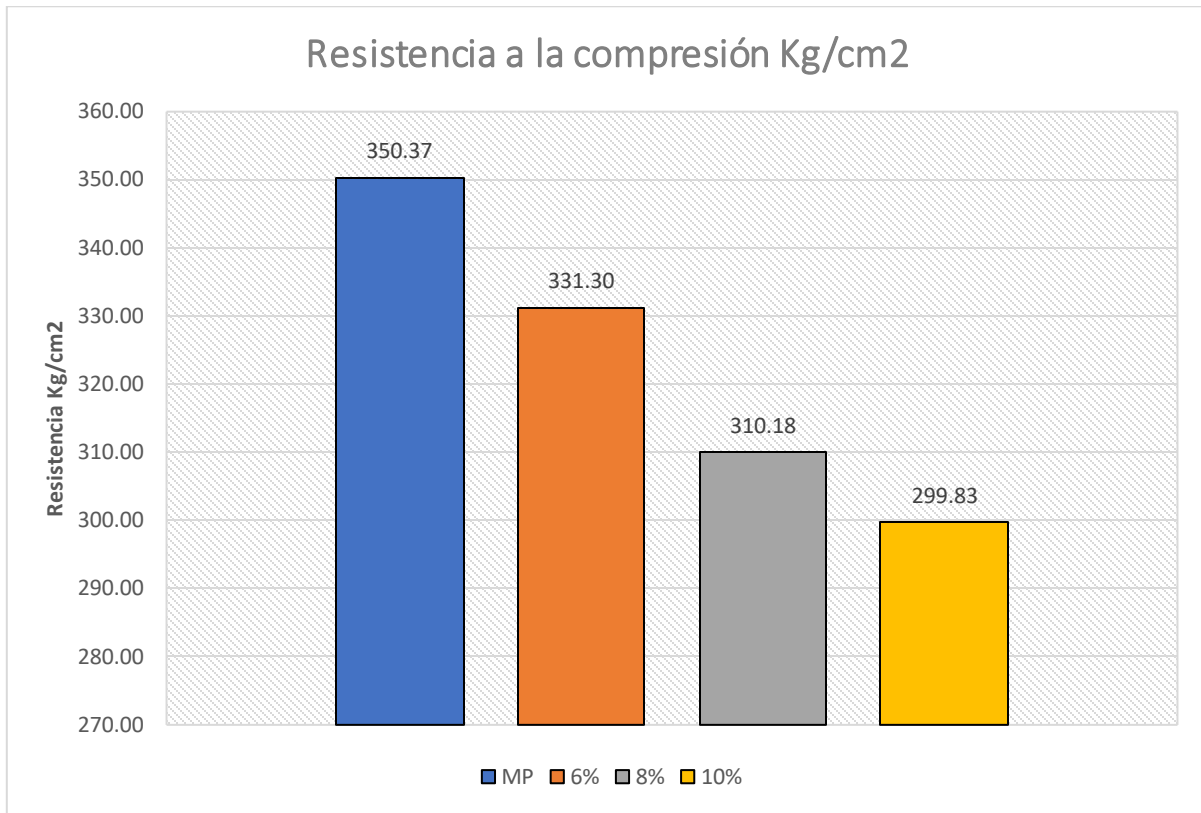
Nota. Adaptado de Fuente Propia**Tabla 24***Resultados de la resistencia a la compresión en cilindros con agregado reciclado al 10%*

Identificación del cilindro	Carga de rotura (Kg)	Diámetro del cilindro (mm)	Área del cilindro (cm²)	Resistencia a la compresión (Kg/cm²)	Resistencia a la compresión promedio (Kg/cm²)
1.4	54798	151	179.08	306.00	
2.4	52444	152	181.46	289.01	
3.4	55888	153	183.85	303.98	299.83
4.4	52588	152	181.46	289.81	
4.5	56311	152	181.46	310.32	

Nota. Adaptado de Fuente Propia

Figura 29

Diagrama de resultados de la resistencia a la compresión



Nota. Adaptado de Fuente Propia

3.4. DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD

Una vez realizados todos los cilindros y esperar 28 días para que estos en teoría alcancen su resistencia máxima, se procede a realizar en ensayo de módulo de elasticidad, que básicamente consiste en aplicarles un 40-60% de la fuerza necesaria para alcanzar una deformación que se mantenga en el rango plástico, verificar a cada carga a deformación obtenida y registrar resultados para conformarla “curva” de esfuerzo vs deformación obtenida, luego se procede a obtener el valor de módulo de elasticidad con las ecuaciones descritas en el capítulo 1.

Tabla 25

Resultados de módulo de elasticidad en cilindros con la muestra patrón

Identificación del cilindro	Módulo de elasticidad (Mpa)	Módulo de elasticidad (Kg/cm2)	Módulo de elasticidad promedio (Mpa)	Módulo de elasticidad promedio (Kg/cm2)
1.1	20926	213386.6072		
2.1	21164	215813.5408		
3.1	21669	220963.1268	20937.4	213502.8553
4.1	21109	215252.6948		
5.1	19819	202098.3068		

Nota. Adaptado de Fuente Propia

Tabla 26*Resultados de módulo de elasticidad en cilindros con agregado reciclado al 6%*

Identificación del cilindro	Módulo de elasticidad (Mpa)	Módulo de elasticidad (Kg/cm2)	Módulo de elasticidad promedio (Mpa)	Módulo de elasticidad promedio (Kg/cm2)
1.1	18993	193675.4196		
2.1	18382	187444.9304		
3.1	20326	207268.2872	19316.6	196975.2335
4.1	19576	199620.3872		
5.1	19306	196867.1432		

Nota. Adaptado de Fuente Propia**Tabla 27***Resultados de módulo de elasticidad en cilindros con agregado reciclado al 8%*

Identificación del cilindro	Módulo de elasticidad (Mpa)	Módulo de elasticidad (Kg/cm2)	Módulo de elasticidad promedio (Mpa)	Módulo de elasticidad promedio (Kg/cm2)
1.3	20247	206462.7084		
2.3	20821	212315.9012		
3.3	19123	195001.0556	19553.6	199391.9699
4.3	19128	195052.0416		
5.3	18449	188128.1428		

Nota. Adaptado de Fuente Propia

Tabla 28

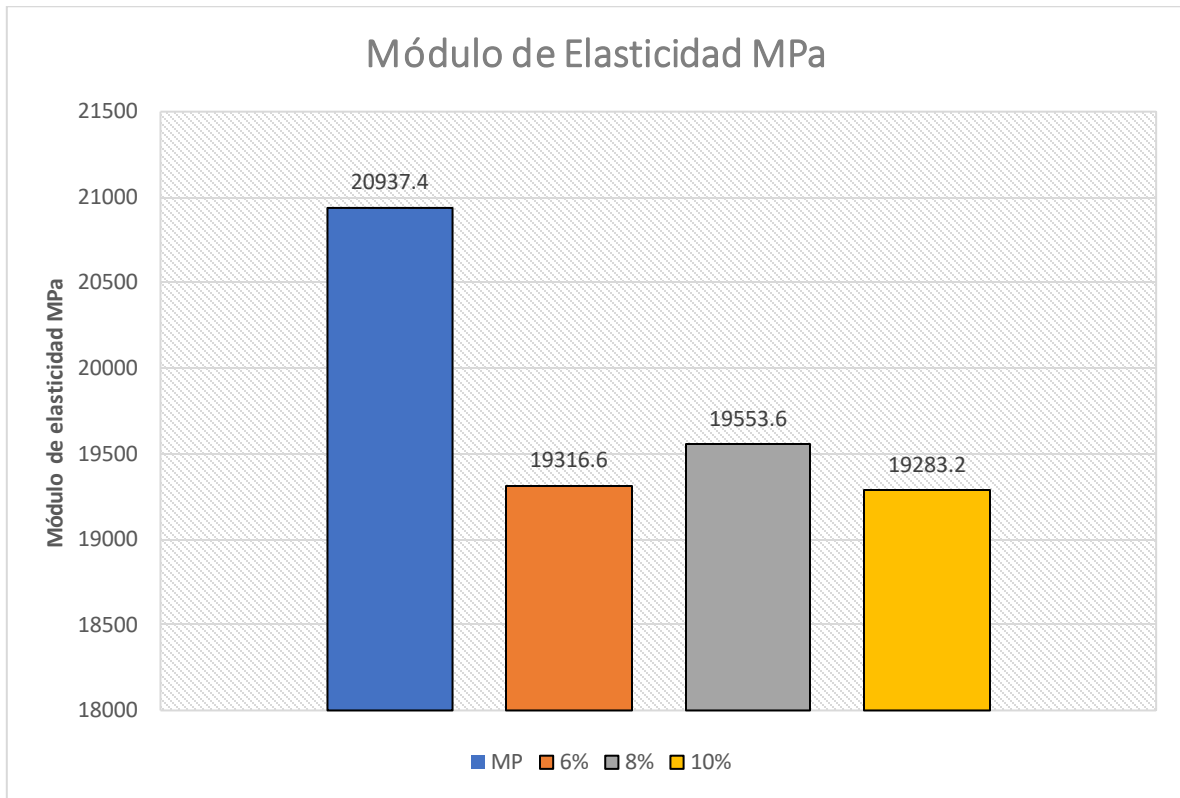
Resultados de módulo de elasticidad en cilindros con agregado reciclado al 10%

Identificación del cilindro	Módulo de elasticidad (Mpa)	Módulo de elasticidad (Kg/cm2)	Módulo de elasticidad promedio (Mpa)	Módulo de elasticidad promedio (Kg/cm2)
1.4	19785	201751.602		
2.4	19378	197601.3416		
3.4	19209	195878.0148	19283.2	196634.647
4.4	19572	199579.5984		
4.5	18472	188362.6784		

Nota. Adaptado de Fuente Propia

Figura 30

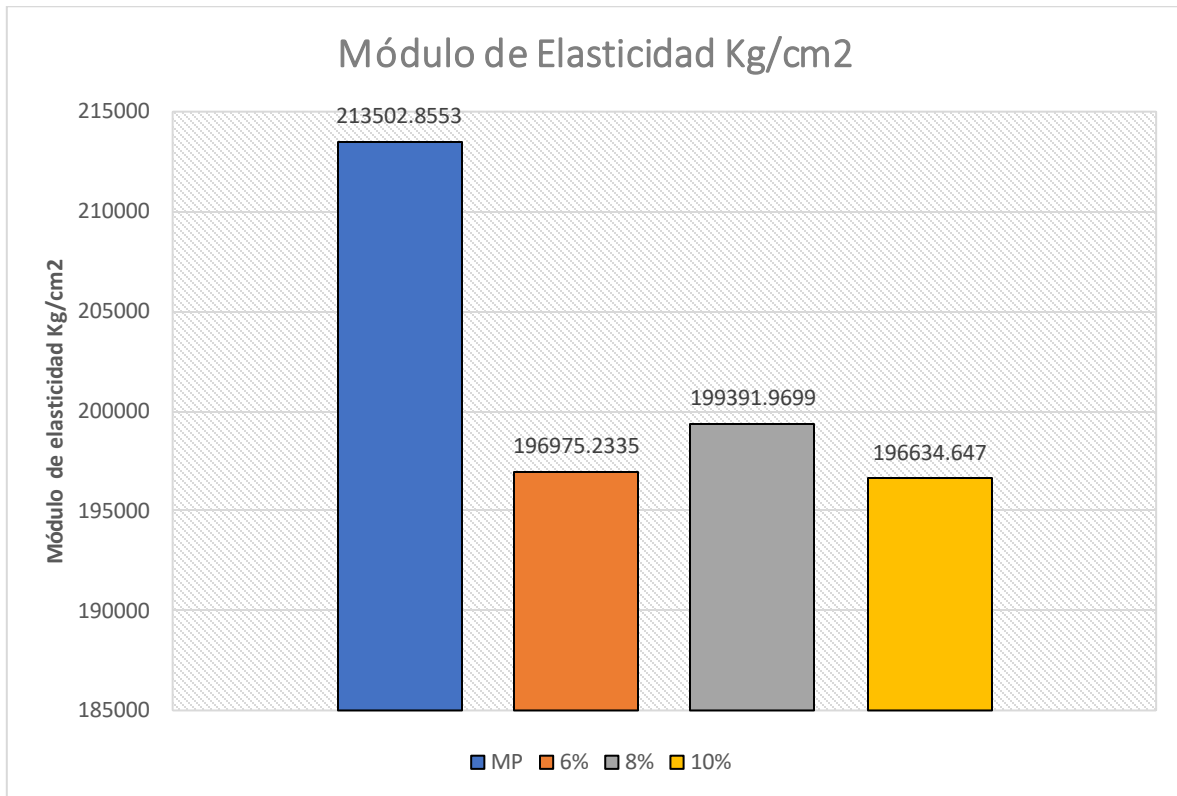
Diagrama de resultados de módulo de elasticidad en MPa



Nota. Adaptado de Fuente Propia

Figura 31

Diagrama de resultados de módulo de elasticidad en Kg/cm²



Nota. Adaptado de Fuente Propia

3.4.1. CÁLCULO DEL FACTOR DE MÓDULO DE ELASTICIDAD

Para poder determinar el factor para el cálculo del módulo de elasticidad tal y como se describe en la normativa American Concrete Institute (ACI), utilizamos la siguiente fórmula y despejamos el factor.

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

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

Tabla 29

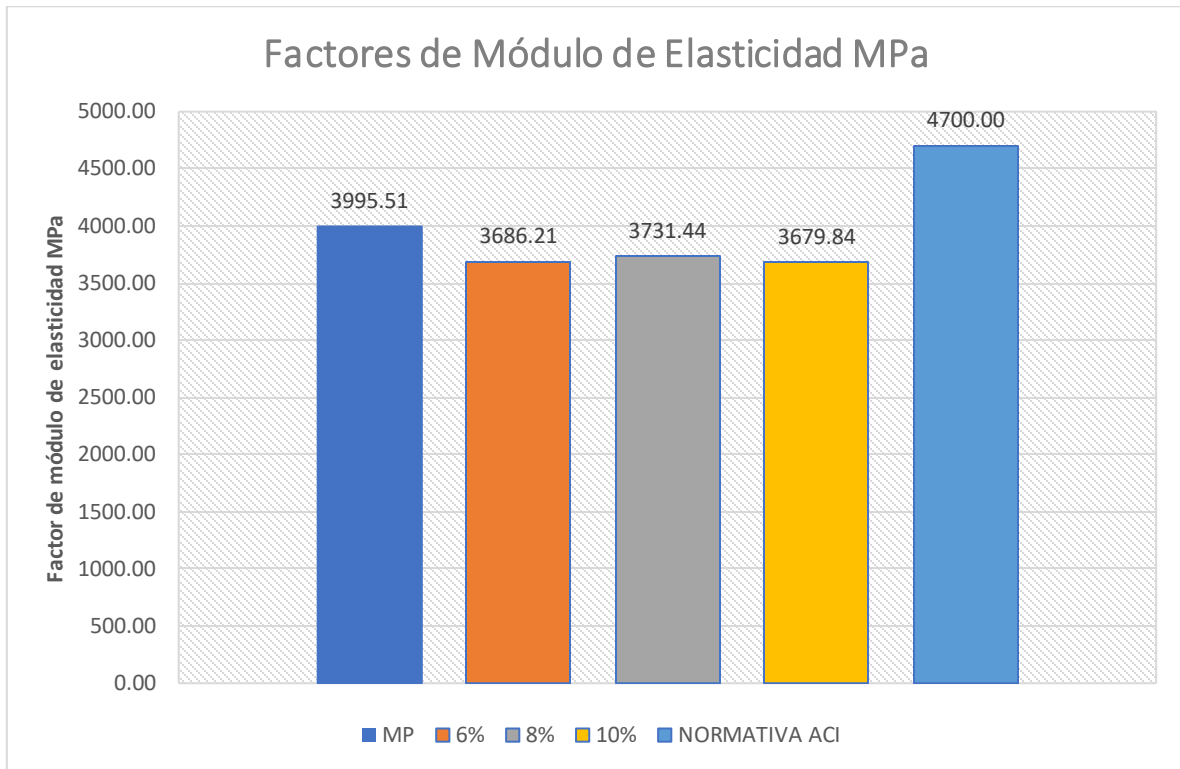
Factores de módulo de elasticidad

Identificación	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	27.46	280	20937.40	213502.86	3995.51	12759.24
6%	27.46	280	19316.60	196975.23	3686.21	11771.52
8%	27.46	280	19553.60	199391.97	3731.44	11915.95
10%	27.46	280	19283.20	196634.65	3679.84	11751.17

Nota. Adaptado de Fuente Propia

Tabla 30

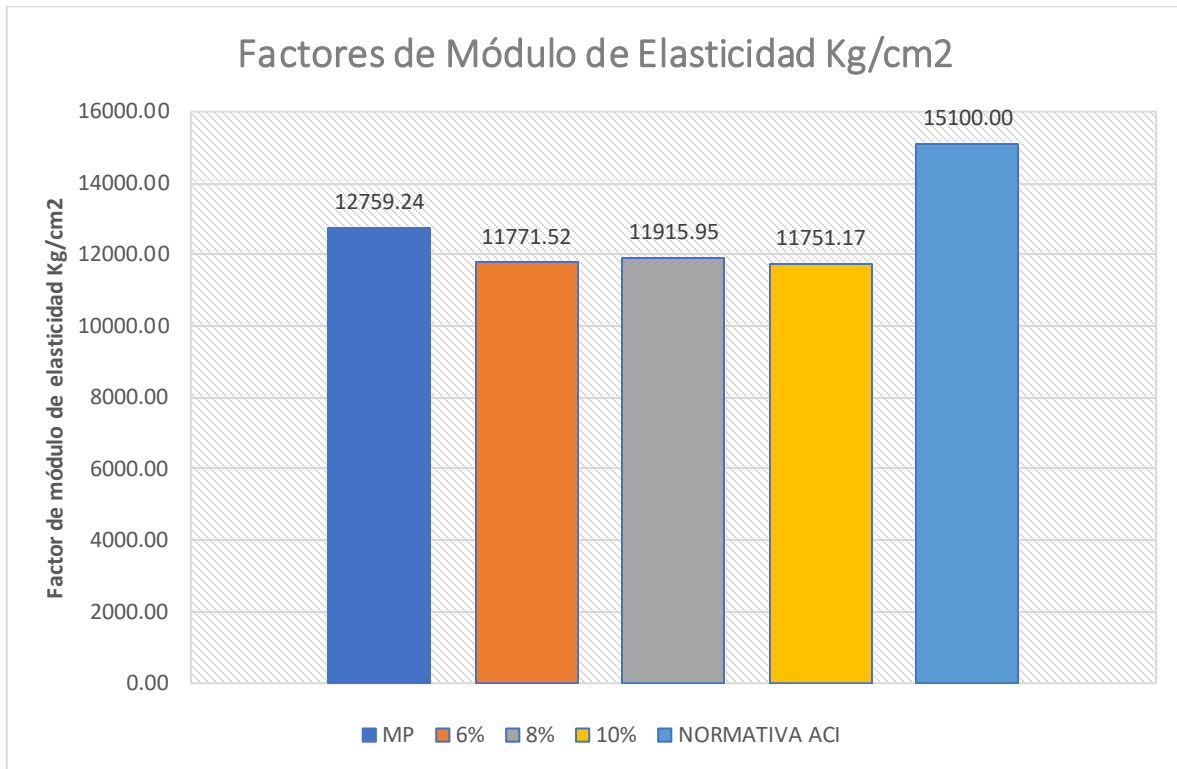
Factores de módulo de elasticidad (MPa)



Nota. Adaptado de Fuente Propia

Tabla 31

Factores de módulo de elasticidad (Kg/cm²)



Nota. Adaptado de Fuente Propia

3.4.2. ECUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD

A continuación, se presenta las ecuaciones para el cálculo de módulo de elasticidad de acuerdo con todo el estudio realizado:

Tabla 32

Ecuaciones de módulo de elasticidad (MPa)

Ecuación	Descripción
$E = 4700.00 * \sqrt{f'c}$ (MPa)	Módulo de elasticidad Normativa
$E = 3995.51.00 * \sqrt{f'c}$ (MPa)	Módulo de elasticidad Muestra Patrón
$E = 3686.21 * \sqrt{f'c}$ (MPa)	Módulo de elasticidad Agregado Reciclado al 6%
$E = 3731.44 * \sqrt{f'c}$ (MPa)	Módulo de elasticidad Agregado Reciclado al 8%
$E = 3679.84 * \sqrt{f'c}$ (MPa)	Módulo de elasticidad Agregado Reciclado al 10%

Nota. Adaptado de Fuente Propia

Tabla 33

Ecuaciones de módulo de elasticidad (Kg/cm2)

Ecuación	Descripción
$E = 15100.00 * \sqrt{f'c}$ (Kg/cm2)	Módulo de elasticidad Normativa
$E = 12759.24 * \sqrt{f'c}$ (Kg/cm2)	Módulo de elasticidad Muestra Patrón
$E = 11771.52 * \sqrt{f'c}$ (Kg/cm2)	Módulo de elasticidad Agregado Reciclado al 6%
$E = 11915.95 * \sqrt{f'c}$ (Kg/cm2)	Módulo de elasticidad Agregado Reciclado al 8%
$E = 11751.17 * \sqrt{f'c}$ (Kg/cm2)	Módulo de elasticidad Agregado Reciclado al 10%

Nota. Adaptado de Fuente Propia

CAPÍTULO IV

4.1. CONCLUSIONES

- Los ensayos de caracterización de los agregados son de suma importancia al momento de realizar el diseño de la mezcla, ya que, aunque se cuente con ensayos previos, siempre parámetros como el contenido de humedad varía dependiendo de las condiciones en las que se encuentren los agregados.
- La sobreestimación inicial del método ACI para el diseño de mezclas tiene factores altos para asegurar la resistencia especificada, en este caso se buscaba el diseño de hormigones con una resistencia de 280 (kg/cm^2), sin embargo, con la sobreestimación nos daba hormigón con una resistencia de 364 (kg/cm^2), al momento de ensayar los cilindros a compresión el valor promedio oscila entre 350 (kg/cm^2), lo que indica la apreciación y exactitud del método.
- Al sustituir agregado reciclado pasante por el tamiz No.04 por agregado fino en la mezcla se evidencia una reducción de la resistencia a la compresión del hormigón como se evidencia en la figura 29, es decir mientras más reciclado ingrese a la mezcla, menor resistencia tendrá el hormigón.
- La sustitución directa del reciclado no detalla lineamientos de parámetros de caracterización, es decir el agregado reciclado tiene sus propias características, por lo que se tendría que realizar ensayos al agregado reciclado en cuestión y a partir de allí diseñar un hormigón adecuado con esos resultados, por que una simple sustitución directa evidencia resultados insatisfactorios.

- Se obtuvo el módulo de elasticidad utilizando los agregado grueso de la mina “Bonilla”, agregado fino de la cantera “Claudio” e incluyendo los diferentes porcentajes de material reciclado “hormigón triturado”; Como se observa en la tabla 33, el valor más alto obtenido fue de $E=127593.24*\sqrt{f'c}$ (kg/cm^2), correspondiente a la muestra patrón sin reciclado incluido, pero aun así tiene una gran diferencia frente a la ecuación presentada en el ACI 318-19 que es de : $E=15100.00*\sqrt{f'c}$ (kg/cm^2).
- El módulo de elasticidad mayor después del correspondiente a la muestra patrón, fue adicionándole agregado reciclado al 8%, dándonos un resultado de $E=199391.9699$ (kg/cm^2), sin embargo, aún se encuentra lejos del resultado de la muestra patrón y aún más del estipulado de acuerdo con normativa.

4.2. RECOMENDACIONES

- Es necesario realizar ensayos de caracterización a los agregados, tanto fino como grueso, no basarse únicamente a ensayos previos, ya que las características propias varían dependiendo de factores y condiciones externas, lo que arrojará resultados erróneos al momento de hacer el diseño del hormigón.
- Es importante realizar los ensayos de caracterización también al agregado reciclado, ya que este tiene sus propias características físicas como: contenido de humedad y porcentaje de absorción entre otras, y diseñar la dosificación de acuerdo con ello, ya que una simple sustitución directa varía parámetros de resultado como resistencia y obtención de módulo de elasticidad.

- Es importante la precisión al momento de obtener los datos fuerza vs deformación al momento de construir la curva de módulo de elasticidad, ya que una mala apreciación puede arrojar resultados erróneos.
- Es importante construir una base de datos correspondiente módulos de elasticidad adecuados en Ecuador, ya que asumir una formula desarrollada en otro país con agregados de características muy diferentes nos da como resultado modelos erróneos y resultados insatisfactorios al momento de diseñar.

BIBLIOGRAFÍA

ASTM C 127. (2001). Método Estándar para la Determinación de la Gravedad Específica y Absorción de los Agregados.

ASTM C469. (s.f.). Método de Ensayo Estándar para determinar El Módulo de elasticidad Estático y Relación de Poisson del concreto a compresión¹.

Bolaños, J. (Diciembre de 2015). Estudio del uso de materiales reciclados como hormigones, cerámicas y otros productos de derrocamiento o desperdicio de obra como agregados para un hormigon. Universidad Internacional del Ecuador, Quito.

BROOKS, A. N. (2010). CONCRETE TECHNOLOGY. Malaysia.

C40/C40M-20, A. (2020). Método de prueba estándar para impurezas orgánicas en agregados finos para concreto.

Construmática. (15 de Mayo de 2018). Construmática. Obtenido de https://www.construmatica.com/construpedia/Residuos_Generados_en_las_Obras_de_Construcción

Cordero Estévez, G. D. (2019). Diseño de mezclas de concreto aplicando el método ACI. Bogotá, Colombia.

EVALUACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD ESTATICO OBTENIDO EN MEZCLAS DE CONCRETO. (s.f.).

Guaño, E. (2015). MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 21 MPa, ELABORADO CON

AGREGADOS DEL SECTOR LA PROVIDENCIA Y CEMENTO CHIMBORAZO.
Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo.

Guimaraes, L. (02 de Julio de 2021). El reciclaje de hormigón gana cada vez más fuerza. Obtenido de Construcción Latinoamericana:
<https://www.construccionlatinoamericana.com/news/el-reciclaje-de-hormigon-gana-cada-vez-mas-fuerza/8013322.article>

INEN. (2010). ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LAS IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL ÁRIDO FINO PARA HORMIGÓN. En I. E. NORMALIZACIÓN.

INEN. (2011). ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD. En I. E. NORMALIZACIÓN.

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

ISAN A. (05 de Mayo de 2018). Ecología Verde. Obtenido de <https://www.ecologiaverde.com/definicion-de-reciclaje-240.html>

Lauritzen, E. K. (s.f.). Producción de residuos de construcción y reciclaje. RESIDUOS.

Londoño et al. (2019). Determinación de la ecuación del módulo de elasticidad del hormigón en la provincia de Pichincha elaborado con materiales de la mina Holcim, ubicada en la parroquia Pifo y cemento Holcim. Quito.

Mastropietro, M. (2019). Tecnología del hormigón armado. Buenos Aires.

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

- NTE INEN 695. (2010). Muestro Áridos. Quito.
- NTE INEN 696. (2011). Áridos, Análisis Granulométrico de los áridos Finos y Gruesos. Quito.
- NTE INEN 858. (2010). Áridos, Determinación de la Masa Unitaria y el Porcentaje de Vacíos. Quito.
- NTE INEN 861. (2011). Áridos, Dterminación del Valor de la Degradación del Árido Grueso de Partículas Mayore a 19mm Mediante el Uso de la Máquina de los Ángeles. Quito.
- NTE INEN 862. (2011). Áridos para Hormigón, Determinación del Contenido Total de Humedad. Quito.
- NTE INEN 872. (2011). Áridos para Hormigón Requisitos. Quito.
- Oghenerukome Akponovo, L. I. (2023). A Review on Recycled Materials Used in Construction. World Academy of Science, Engineering and Technology, 7.
- Producción de residuos de construcción y reciclaje. (2021). *Demex*, 8, ISSN: 1578-097X.
- Reixach, F. M. (2000). Manual de minimización y gestión de residuos en las obras de construcción y demolición. Catalunya.
- Romo, M. (2008). Temas de Hormigón Armado. Quito.
- Ronquillo, G., & Verdugo, M. (2019). USO DE HORMIGONES RECICLADOS DE RESIDUOS DE CONSTRUCCION Y DEMOLICION COMO AGREGADOS PARA HORMIGON. UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL, Guayaquil.

Serrano, M., & Pérez, D. (2010). ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PARA ESTIMAR EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL CONCRETO. *Concreto y Cemento. Investigación y Desarrollo*, 17-30.

Steven H. Kosmatka, B. K. (2008). *Design and Control of Concrete Mixtures*. Portland Cement Association.

Structuralia. (18 de Mayo de 2018). Structuralia. Obtenido de <https://blog.structuralia.com/el-reciclado-del-hormigon-y-sus-enormes-ventajas-medioambientales>

ANEXOS

5.1. ENAYOS DE CARACTERIZACIÓN

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Laboratorio de Materiales de Construcción

ÁREA DE HORMIGONES
ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE ARIDOS
DISEÑO DE HORMIGÓN

Orden de Trabajo No. _____

Granulometría completa - Material combinado		
Tamiz (φ)	Masa retenida parcial (gr)	Masa retenida parcial (gr)
Identificación Material		
3		
2 1/2		
2		
1 1/2		
1		
3/4	297	
1/2	1565	
3/8	3415	
No. 4	3679	
Pasa No. 4	3676	
No. 8		
No. 16		
No. 30		
No. 50		
No. 100		
No. 200		
Pasa No. 100/200		

Granulometría Árido Grueso		
Tamiz (φ)	Masa retenida parcial (gr)	Masa retenida parcial (gr)
Identificación Material		
3		
2 1/2		
2		
1 1/2		
1		
3/4		
1/2		
3/8		
No. 4		
No. 8		
Pasa No. 4		

Granulometría Árido Fino		
Tamiz (φ)	Masa retenida parcial (gr)	Masa retenida parcial (gr)
Identificación Material		
1/2		
3/8		
No. 4		
No. 8		
No. 16		
No. 30		
No. 50		
No. 100		
No. 200		
Pasa No. 100/200		

Gravedad específica árido fino	
Muestra No.	
Masa molde (gr)	
Min + 1/2N - Muestra (gr)	
Masa (gr)	
Masa seca (gr)	

Peso unitario árido fino	
Muestra No.	
Masa molde (gr)	
Volumen molde (cm ³)	
Min + M. suelto (gr)	
Min + M. compacto (gr)	

Contenido orgánico	
Muestra No.	
Valor en la escala	

CONTENIDO DE HUMEDAD	
Muestra No.	
Masa natural (gr)	
Masa seca (gr)	

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD	
Ensayo	
Informe	

Gravedad específica árido grueso	
Muestra No.	
Masa molde (gr)	
Masa (gr)	
Masa aparente (gr)	

Peso unitario árido grueso	
Muestra No.	1
Masa molde (gr)	3814
Volumen molde (cm ³)	6878
Min + M. suelto (gr)	12440
Min + M. compacto (gr)	13100

Abrasión	
Muestra No.	A
Tipo	B
Masa inicial (gr)	5001
Masa retenida (gr)	3211

Materia Reciclado



AREA DE HORMIGONES
ENSAYOS DE CARACTERIZACION DE ARIDOS
DISEÑO DE HORMIGÓN



Orden de Trabajo No. _____

Granulometría completa - Material combinado		
Tamiz (pulg)	Masa retenida parcial (gr)	Masa retenida parcial (gr)
Identificación Material		
3		
2 1/2		
2		
1 1/2		
1		
3/4		
1/2		
3/8		
No. 4		
Pasa No. 4		
No. 8		
No. 16		
No. 30		
No. 50		
No. 100		
No. 200		
Pasa No. 100/200		

(Arena)

Gravedad específica árido fino		
Muestra No.	1	
Masa matríz (gr)	159.7	
Mm + H ₂ O - Muestra (gr)	957.0	
Masa sss (gr)	500.0	
Masa seca (gr)	479.2	

Peso unitario árido fino (Arena)		
Muestra No.	1	
Masa molde (gr)	5050	
Volumen molde (cm ³)	2980	
Mm + M. suelto (gr)	9070	
Mm + M. compacto (gr)	9320	

Contenido orgánico (Arena)		
Muestra No.	Arena	
Valor en la escala	1	

CONTENDIO DE HUMEDAD		
Muestra No.		
Masa natural (gr)		
Masa seca (gr)		

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD		
Ensayo		
Informe		

Granulometría Árido Grueso		
Tamiz (pulg)	Masa retenida parcial (gr)	Masa retenida parcial (gr)
Identificación Material		
3		
2 1/2		
2		
1 1/2		
1		
3/4	37.6	
1/2	6635	
3/8	5371	
No. 4	3315	
Pasa No. 4	226	

(Material 3/4)

Granulometría Árido Fino		
Identificación Material		
1/2		
3/8		
No. 4	13.6	
No. 8	41.5	
No. 16	72.4	
No. 30	88.7	
No. 50	132.1	
No. 100	115.3	
No. 200		
Pasa No. 100/200	208.2	

(Arena)

Gravedad específica árido grueso		
Muestra No.	1	
Masa seca (gr)	3847	
Masa sss (gr)	3950	
Masa aparente (gr)	2368	

(Material 3/4)

Peso unitario árido grueso		
Muestra No.	1	
Masa molde (gr)	3814	
Volumen molde (cm ³)	6878	
Mm + M. suelto (gr)	11990	
Mm + M. compacto (gr)	12660	

Material 3/4

Abrasión		
Muestra No.	1	
Tipo	B	
Masa inicial (gr)	5001	
Masa retenida tamiz N°12 (gr)	3788	

Material 3/4



PUCE

LABORATORIO DE HORMIGONES
ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE ÁRIDOS
DISEÑO DE HORMIGÓN



Orden de Trabajo No. _____

Material Reciclado

Granulometría completa - Material combinado		
Tamiz (φg)	Masa retenida parcial (gr)	Masa retenida parcial (gr)
Identificación Material		
3		
2 1/2		
2"		
1 1/2"		
1"		
3/4"	997	
1/2"	1565	
3/8"	3445	
No. 4	3679	
Pasa No. 4	3616	
No. 8		
No. 16		
No. 30		
No. 50		
No. 100		
No. 200		
Pasa No. 100/200		

Granulometría Árido Grueso		
Tamiz (φg)	Masa retenida parcial (gr)	Masa retenida parcial (gr)
Identificación Material		
3		
2 1/2		
2"		
1 1/2"		
1"		
3/4"		
1/2"		
3/8"		
No. 4		
Pasa No. 4		

Gravedad específica árido fino		
Muestra No.		
Masa matraz (gr)		
Min + H ₂ O + Muestra (gr)		
Masa sss (gr)		
Masa seca (gr)		

Gravedad específica árido grueso		
Muestra No.	1	<i>Material reciclado</i>
Masa seca (gr)	3510	
Masa sss (gr)	3801	
Masa aparente (gr)	2130	

Peso unitario árido fino		
Muestra No.		
Masa molde (gr)		
Volumen molde (cm ³)		
Min + M suelto (gr)		
Min + M compacto (gr)		

Peso unitario árido grueso		
Muestra No.	1	<i>Material reciclado</i>
Masa molde (gr)	3814	
Volumen molde (cm ³)	6878	
Min + M suelto (gr)	12440	
Min + M compacto (gr)	13100	

Contenido orgánico		
Muestra No.		
Valor en la escala		

Abrasión		
Muestra No.	1	
Tipo	B	<i>Material reciclado</i>
Masa inicial (gr)	500.1	
Masa retenida tamiz N°12 (gr)	37.11	

CONTENIDO DE HUMEDAD		
Muestra No.		
Masa natural (gr)		
Masa seca (gr)		

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD		
Ensayo		
Interno		

(Arena)

Gravedad específica árido fino		
Muestra No.	1	
Masa matraz (gr)	159.7	
Min + H ₂ O + Muestra (gr)	957.0	
Masa sss (gr)	500.0	
Masa seca (gr)	479.2	

5.1. ENAYOS DE MÓDULO DE ELASTICIDAD

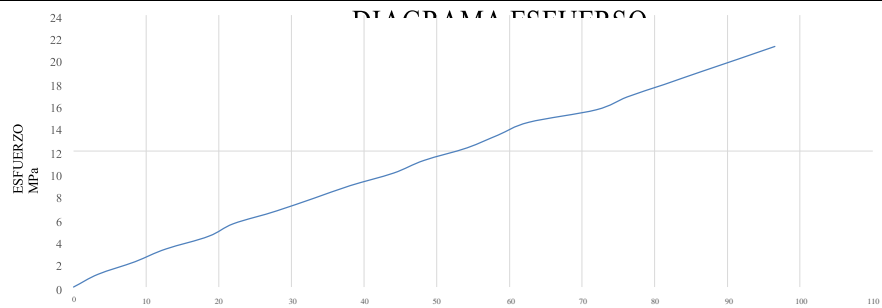
DATOS DEL PROYECTO		DATOS EQUIPO Y ENSAYOS	
"Desarrollo de la Ecuación del Módulo de Elasticidad para Homigones de			
PROYECTO:	Resistencia $f_c=280$ kg/cm ² Utilizando Material Granular de la Mina	NORMAS:	ASTM C-469
SOLICITADO	Pintag, Fino del	FECHA DE	MARZO.2025
POR:	Chasqui, Homigón Reciclado y Cemento tipo HE"	ENSAYO:	MUESTRA: 1B
UBICACIÓN:	ING. FRANKLIN ANDRÉS PÉREZ BARRIONUEVO		
APROBADO	D.M. QUITO		
POR:	ING. LUIS GAVILANES		
TÉCNICO:	SR. EDUARDO GUAMAN		

MODULO DE ELASTICIDAD

L	DIAMETRO	f_c	ARE	CAR
m	mm	M	mm ²	kg
300	151	28	17908	6322
60% RESISTENCIA MAXIMA		40	APRECIACION	
Mpa		% s.	DEFORMIMETRO	
21,18		M	pulg.	
		pa	0,0001	
		14,		
		12		

#	CARGA	DEFORMACION	ESFUERZO	DEFORMACION ESPECIFICA
	kg	N	Mpa	mm/mm
1	0	0	0	0
2	20	19600	1,12	3,4
3	40	39200	2,23	8,5
4	60	58800	3,35	12,7
5	80	78400	4,47	18,6
6	100	98000	5,58	22,0

7	12	117600	33	83,82	6,70	27,9
8	14	137200	39	99,06	7,82	33,0
9	16	156800	45	114,30	8,93	38,1
10	18	176400	52	132,08	10,05	44,0
11	20	196000	57	144,78	11,17	48,3
12	22	215600	64	162,56	12,28	54,2
13	24	235200	69	175,26	13,40	58,4
14	26	254800	74	187,96	14,52	62,7
15	28	274400	85	215,90	15,64	72,0
16	30	294000	90	228,60	16,75	76,2
17	32	313600	96	243,84	17,87	81,3
18	34	333200	10	259,08	18,99	86,4
19	36	352800	10	274,32	20,10	91,4
20	38	372400	11	289,56	21,22	96,5
ROTUR A	63	619566			35,30	



DEFORMACION 1 X 10⁻⁵ mm/mm

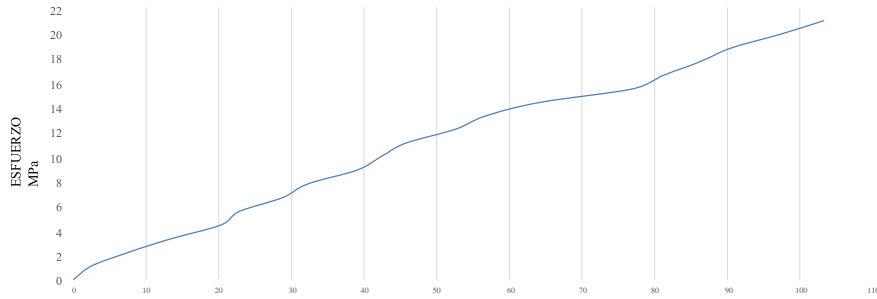
CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD				TICIDAD
40% sr (Mpa)	σ(0.000050)(Mpa)	ε40%sr(1x10 ⁻⁵ mm/mm)	(MPa)	E
14,12	2,37	61,16		20926
DATOS DEL PROYECTO			DATOS EQUIPO Y ENSAYOS	
<p>"Desarrollo de la Ecuación del Módulo de Elasticidad para Homigones de</p> <p>PROYECTO: Resistencia f_c=280kg/cm² Utilizando Material Granular de la Mina</p> <p>SOLICITADO Pintag, Fino del</p> <p>POR: Chasqui, Homigón Reciclado y Cemento tipo HE"</p> <p>UBICACIÓN: ING. FRANKLIN ANDRÉS PÉREZ BARRIONUEVO</p> <p>APROBADO D.M. QUITO</p> <p>POR: ING. LUIS GAVILANES</p> <p>TÉCNICO: SR. EDUARDO GUAMAN</p>			<p>NORMAS: ASTM C-469</p> <p>FECHA DE ENSAYO: MARZO.2025</p> <p>MUESTRA: 2B</p>	

MODULO DE ELASTICIDAD

L	DIAMETRO	f _c	ARE	CAR
m	mm	M	mm ²	kg
3,00	152	28	18146,00	6547,7
60% RESISTENCIA MAXIMA		40	APRECIACION	
Mpa		M	DEFORMIMETRO	
21,65		14,43	pulg.	
			0,0001	
#	CARGA	DEFORMACION	ESFUERZO	DEFORMACION ESPECIFICA
	kg	1x10 ⁻⁴	Mpa	1 X 10 ⁻⁵ mm/mm
1	0	0,00	0	0
2	2000	19600	1,10	2,5
3	4000	39200	2,20	7,6

4	00	60	58800	16	40,64	3,31	13,5
5	00	80	78400	24	60,96	4,41	20,3
6	000	10	98000	27	68,58	5,51	22,9
7	000	12	117600	34	86,36	6,61	28,8
8	000	14	137200	38	96,52	7,72	32,2
9	000	16	156800	46	116,84	8,82	38,9
10	000	18	176400	50	127,00	9,92	42,3
11	000	20	196000	54	137,16	11,02	45,7
12	000	22	215600	62	157,48	12,12	52,5
13	000	24	235200	67	170,18	13,23	56,7
14	000	26	254800	76	193,04	14,33	64,3
15	000	28	274400	91	231,14	15,43	77,0
16	000	30	294000	96	243,84	16,53	81,3
17	000	32	313600	10	259,08	17,63	86,4
18	000	34	333200	10	271,78	18,74	90,6
19	000	36	352800	11	292,10	19,84	97,4
20	000	38	372400	12	309,88	20,94	103,3
ROTUR A	477	65	641675			36,08	

DIAGRAMA ESFUERZO vs DEFORMACION



DEFORMACION 1 X 10⁻⁵ mm/mm

CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD				TICIDAD
40% sr (Mpa)	s(0.000050)(Mpa)	ε40%sr(1x10 ⁻⁵ mm/mm)		E (MPa)
14,43	1,64	65,45		21164
DATOS DEL PROYECTO			DATOS EQUIPO Y ENSAYOS	
<p>"Desarrollo de la Ecuación del Módulo de Elasticidad para Homigones de</p> <p>PROYECTO: Resistencia f_c=280kg/cm² Utilizando Material Granular de la Mina</p> <p>SOLICITADO Pintag, Fino del</p> <p>POR: Chasqui, Homigón Reciclado y Cemento tipo HE"</p> <p>UBICACIÓN: ING. FRANKLIN ANDRÉS PÉREZ BARRIONUEVO</p> <p>APROBADO D.M. QUITO</p> <p>POR: ING. LUIS GAVILANES</p> <p>TÉCNICO: SR. EDUARDO GUAMAN</p>			<p>NORMAS: ASTM C-469</p> <p>FECHA DE ENSAYO: MARZO.2025</p> <p>MUESTRA: 3B</p>	

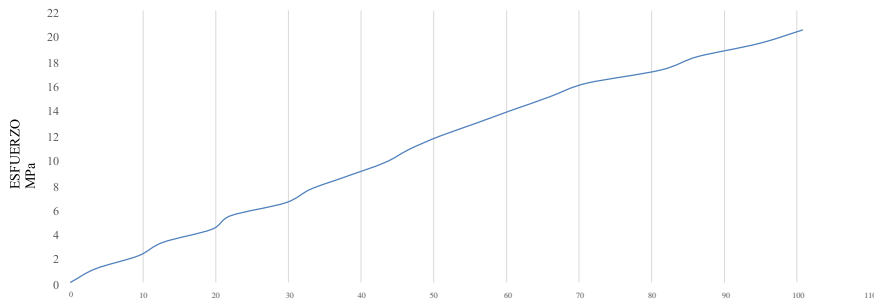
MODULO DE ELASTICIDAD

L	DIAMETRO	f _c	ARE	CAR
m	mm	M	mm ²	kg
300	154	28	18626	6677
60% RESISTENCIA MAXIMA		40	APRECIACION	
		% s.	DEFORMIMETRO	
Mpa		M	pulg.	
		pa		
21,51		14,	0,0001	
		34		
#	C	D	ESFUERZO	DEFORMACION
AR	GA	EF	ORMACION	ACION

					ESPECIFIC	
	kg	N	10 ⁻⁴	1 X 10 ⁻³ mm	Mpa	1 X 10 ⁻⁵ mm/mm
1	0	0	0,0	0,00	0	0
2	20	19600	4,0	10,16	1,07	3,4
3	40	39200	8,0	20,32	2,15	6,8
4	60	58800	12,0	30,48	3,22	10,2
5	80	78400	16,0	40,64	4,29	13,5
6	100	98000	20,0	50,80	5,37	16,8
7	120	117600	24,0	60,96	6,44	20,1
8	140	137200	28,0	71,12	7,52	23,4
9	160	156800	32,0	81,28	8,59	26,7
10	180	176400	36,0	91,44	9,66	30,0
11	200	196000	40,0	101,60	10,74	33,3
12	220	215600	44,0	111,76	11,81	36,6
13	240	235200	48,0	121,92	12,88	39,9
14	260	254800	52,0	132,08	13,96	43,2
15	280	274400	56,0	142,24	15,03	46,5
16	300	294000	60,0	152,40	16,11	49,8
17	320	313600	64,0	162,56	17,18	53,1
18	340	333200	68,0	172,72	18,25	56,4
19	360	352800	72,0	182,88	19,33	59,7

	20	38	372400	11	302,26	20,40	100,8
	000			9,0			
A	ROTUR	66	654415			35,85	
	777						

DIAGRAMA ESFUERZO vs DEFORMACION



DEFORMACION 1 X 10⁻⁵ mm/mm

CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD				TICIDAD
40% sr (Mpa)	s(0.000050)(Mpa)	e40%sr(1x10 ⁻⁵ mm/mm)		E (MPa)
14,34	1,82	62,78		21669
DATOS DEL PROYECTO			DATOS EQUIPO Y ENSAYOS	
<p>"Desarrollo de la Ecuación del Módulo de Elasticidad para Homígones de</p> <p>PROYECTO: Resistencia f_c=280kg/cm² Utilizando Material Granular de la Mina</p> <p>SOLICITADO Pintag, Fino del</p> <p>POR: Chasqui, Homígon Reciclado y Cemento tipo HE"</p> <p>UBICACIÓN: ING. FRANKLIN ANDRÉS PÉREZ BARRIONUEVO</p> <p>APROBADO D.M. QUITO</p> <p>POR: ING. LUIS GAVILANES</p> <p>TÉCNICO: SR. EDUARDO GUAMAN</p>			<p>NORMAS: ASTM C-469</p> <p>FECHA DE ENSAYO: MARZO 2025</p> <p>MUESTRA: 4B</p>	

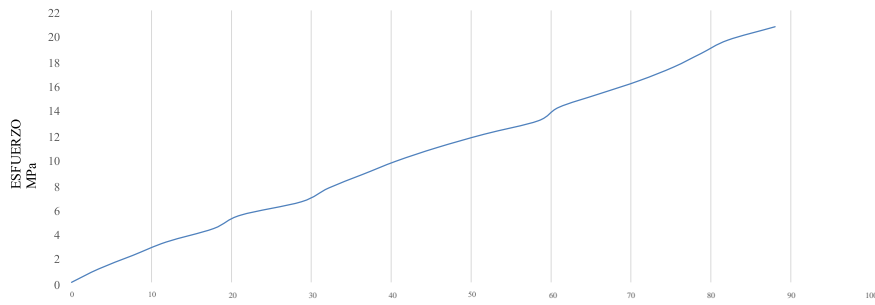
MODULO DE ELASTICIDAD

L	DIAMETR	f _c	ARE	CAR
O			A	GA ROTURA
m	mm	M	mm ²	kg
m		pa		

00	3	153	28		18385	6214
					,55	7
60% RESISTENCIA MAXIMA		40		APRECIACION		
		% s.		DEFORMIMETRO		
Mpa		M		pulg.		
		pa				
20,28		13,		0,0001		
		52				
#	C		D		ESFUERZO	DEFORMACION
	AR	GA	EF	ORMACION		ESPECIFICA
	kg	N	1 x 10 ⁻⁴	1 X 10 ⁻³ mm	Mpa	1 X 10 ⁻⁵ mm/mm
1	0	0	0,	0,00	0	0
2	20	19600	4,	10,16	1,09	3,4
3	40	39200	9,	22,86	2,18	7,6
4	60	58800	14	35,56	3,26	11,9
5	80	78400	21	53,34	4,35	17,8
6	10	98000	25	63,50	5,44	21,2
7	12	117600	34	86,36	6,53	28,8
8	14	137200	38	96,52	7,61	32,2
9	16	156800	43	109,22	8,70	36,4
10	18	176400	48	121,92	9,79	40,6
11	20	196000	54	137,16	10,88	45,7
12	22	215600	61	154,94	11,97	51,6
13	24	235200	69	175,26	13,05	58,4
14	26	254800	72	182,88	14,14	61,0

15	28	274400	78	198,12	15,23	66,0
16	30	294000	84	213,36	16,32	71,1
17	32	313600	89	226,06	17,40	75,4
18	34	333200	93	236,22	18,49	78,7
19	36	352800	97	246,38	19,58	82,1
20	38	372400	100	264,16	20,67	88,1
ROTUR	62	609041			33,80	
A	147					

DIAGRAMA ESFUERZO vs DEFORMACION



DEFORMACION 1 X 10⁻⁵ mm/mm

CALCULO DEL MODULO DE ELAS				TICIDAD
40% sr (Mpa)	s(0.000050)(Mpa)	ε40%sr(1x10 ⁻⁵ mm/mm)		E (MPa)
13,52	2,01	59,53		21109
DATOS DEL PROYECTO				DATOS EQUIPO Y ENSAYOS

"Desarrollo de la Ecuación del Módulo de Elasticidad para Homígones de			
PROYECTO:	Resistencia $f_c=280\text{kg/cm}^2$ Utilizando Material Granular de la Mina		
SOLICITADO	Pintag, Fino del		
POR:	Chasqui, Homígon Reciclado y Cemento tipo HE"		
UBICACIÓN:	ING. FRANKLIN ANDRÉS PÉREZ BARRIONUEVO	NORMAS:	
APROBADO	D.M. QUITO	FECHA DE	ASTM C-469
POR:	ING. LUIS GAVILANES	ENSAYO:	MARZO.2025
TÉCNICO:	SR. EDUARDO GUAMAN	MUESTRA:	5B

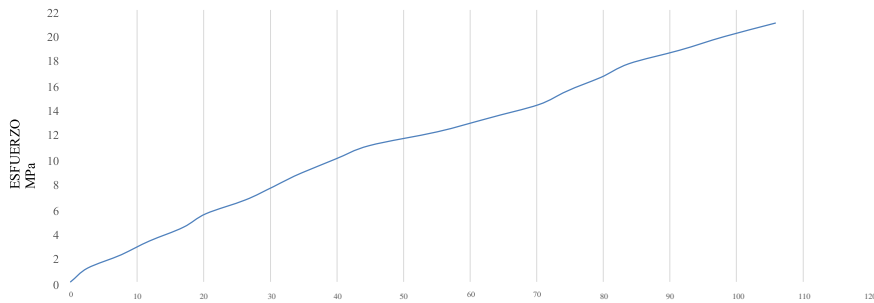
MODULO DE ELASTICIDAD

L	DIAMETRO	f_c	ARE	CAR
m	mm	M	mm ²	kg
300	152	28	18146	6198
60% RESISTENCIA MAXIMA		40	APRECIACION	
Mpa		M	DEFORMIMETRO	
20,50		13,66	pulg.	
			0,0001	

#	CARGA	DEFORMACION	ESFUERZO	DEFORMACION ESPECIFICA
	kg	N	Mpa	mm/mm
1	0	0	0	0
2	2000	19600	1,10	2,5
3	4000	39200	2,20	7,6
4	6000	58800	3,31	11,9
5	8000	78400	4,41	16,9
6	10000	98000	5,51	20,3
7	12000	117600	6,61	26,2
8	14000	137200	7,72	30,5

9	16	156800	41	104,14	8,82	34,7
10	18	176400	47	119,38	9,92	39,8
11	20	196000	53	134,62	11,02	44,9
12	22	215600	65	165,10	12,12	55,0
13	24	235200	74	187,96	13,23	62,7
14	26	254800	83	210,82	14,33	70,3
15	28	274400	88	223,52	15,43	74,5
16	30	294000	94	238,76	16,53	79,6
17	32	313600	99	251,46	17,63	83,8
18	34	333200	10	274,32	18,74	91,4
19	36	352800	11	294,64	19,84	98,2
20	38	372400	12	317,50	20,94	105,8
ROTUR A	61	607473			34,16	

DIAGRAMA ESFUERZO vs DEFORMACION



DEFORMACION 1 X 10⁻⁵ mm/mm

CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD			
40% sr (Mpa)	$\sigma(0.000050)(Mpa)$	$\epsilon(0\%sr)(10^{-3})$	E (MPa)
13,66	1,64	65,67	19819

DATOS DEL PROYECTO		DATOS EQUIPO Y ENSAYOS	
<p>"Desarrollo de la Ecuación del Módulo de Elasticidad para Homigones de</p> <p>PROYECTO: Resistencia $f_c=280\text{kg/cm}^2$ Utilizando Material Granular de la Mina SOLICITADO Pintag, Fino del</p> <p>POR: Chasqui, Homigón Reciclado y Cemento tipo HE"</p> <p>UBICACIÓN: ING. FRANKLIN ANDRÉS PÉREZ BARRIONUEVO</p> <p>APROBADO D.M. QUITO</p> <p>POR: ING. LUIS GAVILANES</p> <p>TÉCNICO: SR. EDUARDO GUAMAN</p>		<p>NORMAS: ASTM C-469</p> <p>FECHA DE ENSAYO: MARZO.2025</p> <p>MUESTRA: 1.6%</p>	

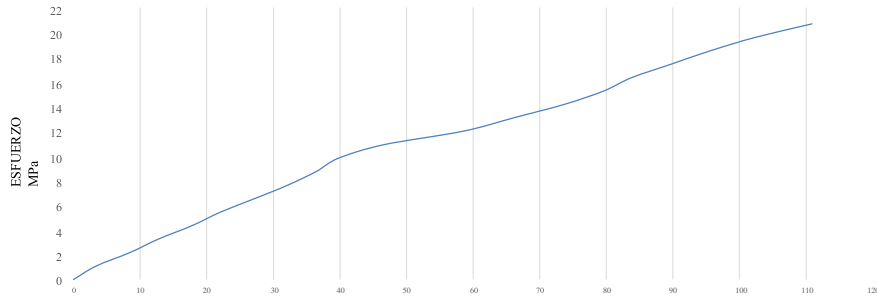
MODULO DE ELASTICIDAD

L	DIAMETRO	f_c	AREA	CARGA ROTURA
m	mm	Mpa	mm ²	kg
300	153	28	18385	6044
60% RESISTENCIA MAXIMA		40	APRECIACION DEFORMIMETRO	
Mpa		Mpa	pulg.	
19,73		13,15	0,0001	

#	CARGA	DEFORMACION	ESFUERZO	DEFORMACION ESPECIFICA
	kg	10^{-4}	Mpa	1×10^{-5} mm/mm
1	0	0	0	0
2	2000	19600	1,09	3,4
3	4000	39200	2,18	8,5
4	6000	58800	3,26	12,7

5	80	78400	21	53,34	4,35	17,8
6	10	98000	26	66,04	5,44	22,0
7	12	117600	32	81,28	6,53	27,1
8	14	137200	38	96,52	7,61	32,2
9	16	156800	43	109,22	8,70	36,4
10	18	176400	47	119,38	9,79	39,8
11	20	196000	55	139,70	10,88	46,6
12	22	215600	69	175,26	11,97	58,4
13	24	235200	78	198,12	13,05	66,0
14	26	254800	87	220,98	14,14	73,7
15	28	274400	94	238,76	15,23	79,6
16	30	294000	99	251,46	16,32	83,8
17	32	313600	10	269,24	17,40	89,7
18	34	333200	11	287,02	18,49	95,7
19	36	352800	12	307,34	19,58	102,4
20	38	372400	13	332,74	20,67	110,9
ROTUR A	60	592351			32,88	

DIAGRAMA ESFUERZO vs DEFORMACION



DEFORMACION 1 X 10⁻⁵ mm/mm

CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD				TICIDAD
40% sr (Mpa)	s(0.000050)(Mpa)	ε40%sr(1x10 ⁻⁵ mm/mm)		E (MPa)
13,15	1,43	66,71		18993
DATOS DEL PROYECTO			DATOS EQUIPO Y ENSAYOS	
<p>"Desarrollo de la Ecuación del Módulo de Elasticidad para Homigones de</p> <p>PROYECTO: Resistencia f_c=280kg/cm² Utilizando Material Granular de la Mina</p> <p>SOLICITADO Pintag, Fino del</p> <p>POR: Chasqui, Homigón Reciclado y Cemento tipo HE"</p> <p>UBICACIÓN: ING. FRANKLIN ANDRÉS PÉREZ BARRIONUEVO</p> <p>APROBADO D.M. QUITO</p> <p>POR: ING. LUIS GAVILANES</p> <p>TÉCNICO: SR. EDUARDO GUAMAN</p>			<p>NORMAS: ASTM C-469</p> <p>FECHA DE ENSAYO: MARZO.2025</p> <p>MUESTRA: 2.6%</p>	

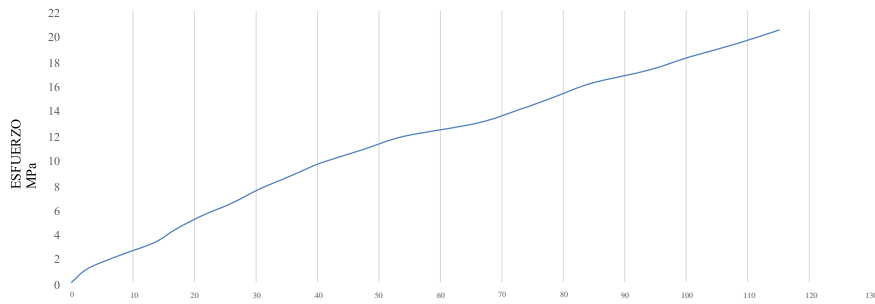
MODULO DE ELASTICIDAD

L	DIAMETRO	f _c	ARE	CAR
m	mm	M	mm ²	kg
300	154	28	18626	6187
60% RESISTENCIA MAXIMA		40	APRECIACION	
		% s.	DEFORMIMETRO	
Mpa		M	pulg.	
		pa		
19,93		13,29	0,0001	
#	C	D	ESFUERZO	DEFORMACION
AR	GA	EF	ORMACION	ACION

					ESPECIFIC	
	kg	N	10 ⁻⁴	1 X 10 ⁻³ mm	Mpa	1 X 10 ⁻⁵ mm/mm
1	0	0	0,	0,00	0	0
2	20	19600	3,	7,62	1,07	2,5
3	40	39200	9,	22,86	2,15	7,6
4	60	58800	16,	40,64	3,22	13,5
5	80	78400	20,	50,80	4,29	16,9
6	10	98000	25,	63,50	5,37	21,2
7	12	117600	31,	78,74	6,44	26,2
8	14	137200	36,	91,44	7,52	30,5
9	16	156800	42,	106,68	8,59	35,6
10	18	176400	48,	121,92	9,66	40,6
11	20	196000	56,	142,24	10,74	47,4
12	22	215600	64,	162,56	11,81	54,2
13	24	235200	78,	198,12	12,88	66,0
14	26	254800	86,	218,44	13,96	72,8
15	28	274400	93,	236,22	15,03	78,7
16	30	294000	10,	254,00	16,11	84,7
17	32	313600	11,	281,94	17,18	94,0
18	34	333200	11,	302,26	18,25	100,8
19	36	352800	12,	325,12	19,33	108,4

	20	38	372400	13	345,44	20,40	115,1
	000			6,0			
A	ROTUR	61	606355			33,22	
	873						

DIAGRAMA ESFUERZO vs DEFORMACION



DEFORMACION 1 X 10⁻⁵ mm/mm

CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD				TICIDAD
40% sr (Mpa)	s(0.000050)(Mpa)	e40%sr(1x10 ⁻⁵ mm/mm)		E (MPa)
13.29	1.60	68.58		18382
DATOS DEL PROYECTO			DATOS EQUIPO Y ENSAYOS	
<p>"Desarrollo de la Ecuación del Módulo de Elasticidad para Homígones de</p> <p>PROYECTO: Resistencia f_c=280kg/cm² Utilizando Material Granular de la Mina</p> <p>SOLICITADO Pintag, Fino del</p> <p>POR: Chasqui, Homígon Reciclado y Cemento tipo HE"</p> <p>UBICACIÓN: ING. FRANKLIN ANDRÉS PÉREZ BARRIONUEVO</p> <p>APROBADO D.M. QUITO</p> <p>POR: ING. LUIS GAVILANES</p> <p>TÉCNICO: SR. EDUARDO GUAMAN</p>			<p>NORMAS: ASTM C-469</p> <p>FECHA DE ENSAYO: MARZO 2025</p> <p>MUESTRA: 3.6%</p>	

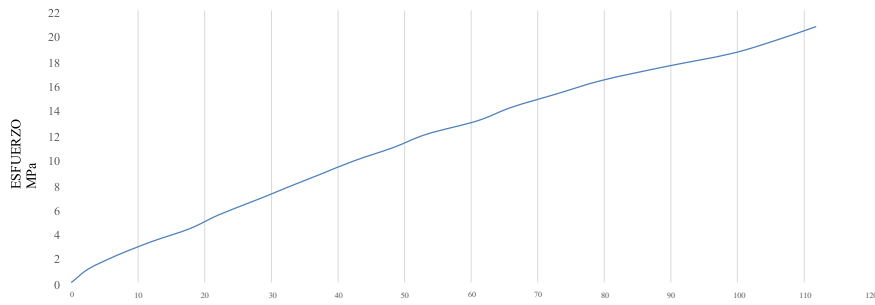
MODULO DE ELASTICIDAD

L	DIAMETR	f _c	ARE	CAR
O			A	GA ROTURA
m	mm	M	mm ²	kg
m		pa		

00	3	153	28		18385	6382
		60% RESISTENCIA MAXIMA	40		APRECIACION	
		Mpa	% s.		DEFORMIMETRO	
		20,83	M		pulg.	
			pa			
			13,		0,0001	
			89			
#	C		D		ESFUERZO	DEFORMACION
	AR	GA	EF	ORMACION		ESPECIFICA
	kg	N	1 x 10 ⁻⁴	1 X 10 ⁻³ mm	Mpa	1 X 10 ⁻⁵ mm/mm
1	0	0	0,	0,00	0	0
2	20	19600	3,	7,62	1,09	2,5
3	40	39200	8,	20,32	2,18	6,8
4	60	58800	14	35,56	3,26	11,9
5	80	78400	21	53,34	4,35	17,8
6	10	98000	26	66,04	5,44	22,0
7	12	117600	32	81,28	6,53	27,1
8	14	137200	38	96,52	7,61	32,2
9	16	156800	44	111,76	8,70	37,3
10	18	176400	50	127,00	9,79	42,3
11	20	196000	57	144,78	10,88	48,3
12	22	215600	63	160,02	11,97	53,3
13	24	235200	72	182,88	13,05	61,0
14	26	254800	78	198,12	14,14	66,0

15	28	274400	86	218,44	15,23	72,8
16	30	294000	94	238,76	16,32	79,6
17	32	313600	10	266,70	17,40	88,9
18	34	333200	11	297,18	18,49	99,1
19	36	352800	12	317,50	19,58	105,8
20	38	372400	13	335,28	20,67	111,8
ROTUR	63	625446			34,71	
A	821					

DIAGRAMA ESFUERZO vs DEFORMACION



DEFORMACION 1 X 10⁻⁵ mm/mm

CALCULO DEL MODULO DE ELAS				TICIDAD
40% sr (Mpa)	s(0.000050)(Mpa)	e40%sr(1x10 ⁻⁵ mm/mm)	(MPa)	E
13,89	1,72	64,85		20326
DATOS DEL PROYECTO				DATOS EQUIPO Y ENSAYOS

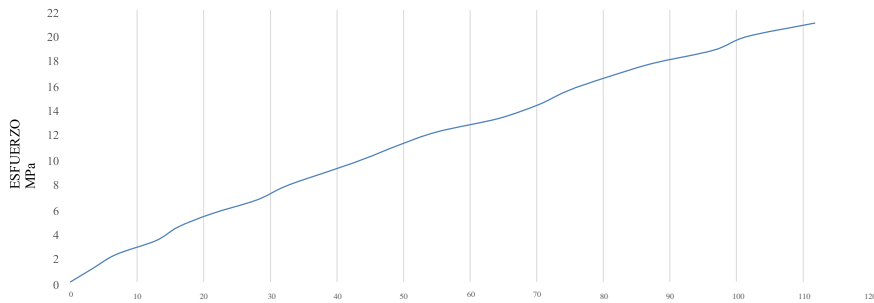
"Desarrollo de la Ecuación del Módulo de Elasticidad para Homígones de					
PROYECTO:	Resistencia $f_c=280\text{kg/cm}^2$ Utilizando Material Granular de la Mina				
SOLICITADO	Pintag, Fino del				
POR:	Chasqui, Homígon Reciclado y Cemento tipo HE"				
UBICACIÓN:	ING. FRANKLIN ANDRÉS PÉREZ BARRIONUEVO			NORMAS:	
APROBADO	D.M. QUITO			FECHA DE	ASTM C-469
POR:	ING. LUIS GAVILANES			ENSAYO:	MARZO.2025
TÉCNICO:	SR. EDUARDO GUAMAN			MUESTRA:	4.6%

MODULO DE ELASTICIDAD

L	DIAMETRO	f_c		AREA	CARGA
m	mm	Mpa		mm ²	kg
300	152	28		18146	6001
60% RESISTENCIA MAXIMA		40	APRECIACION		
Mpa		M	DEFORMIMETRO		
19,84		13,	pulg.		
		23	0,0001		
#	CARGA	DEFORMACION	ESFUERZO	DEFORMACION ESPECIFICA	
	kg	N	Mpa	mm/mm	
1	0	0	0	0	
2	20	19600	1,10	3,4	
3	40	39200	2,20	6,8	
4	60	58800	3,31	12,7	
5	80	78400	4,41	16,1	
6	100	98000	5,51	21,2	
7	120	117600	6,61	27,9	
8	140	137200	7,72	32,2	

9	16	156800	45	114,30	8,82	38,1
10	18	176400	52	132,08	9,92	44,0
11	20	196000	58	147,32	11,02	49,1
12	22	215600	65	165,10	12,12	55,0
13	24	235200	76	193,04	13,23	64,3
14	26	254800	83	210,82	14,33	70,3
15	28	274400	88	223,52	15,43	74,5
16	30	294000	95	241,30	16,53	80,4
17	32	313600	10	261,62	17,63	87,2
18	34	333200	11	289,56	18,74	96,5
19	36	352800	12	304,80	19,84	101,6
20	38	372400	13	335,28	20,94	111,8
ROTURA	60	588108			33,07	

DIAGRAMA ESFUERZO vs DEFORMACION



DEFORMACION 1 X 10⁻⁵ mm/mm

CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD			
40% sr (Mpa)	$\sigma(0.000050)(Mpa)$	$\epsilon 40\%sr(1x10^{-5} mm/mm)$	E (MPa)
13,23	1,62	64,30	19576

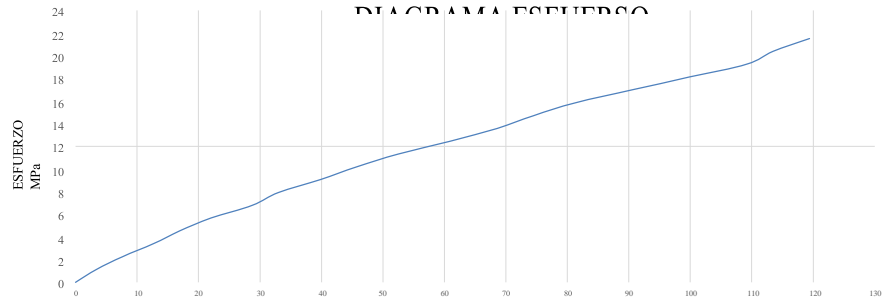
DATOS DEL PROYECTO		DATOS EQUIPO Y ENSAYOS	
<p>"Desarrollo de la Ecuación del Módulo de Elasticidad para Homigones de</p> <p>PROYECTO: Resistencia $f_c=280kg/cm^2$ Utilizando Material Granular de la Mina</p> <p>SOLICITADO Pintag, Fino del</p> <p>POR: Chasqui, Homigón Reciclado y Cemento tipo HE"</p> <p>UBICACIÓN: ING. FRANKLIN ANDRÉS PÉREZ BARRIONUEVO</p> <p>APROBADO D.M. QUITO</p> <p>POR: ING. LUIS GAVILANES</p> <p>TÉCNICO: SR. EDUARDO GUAMAN</p>			
		NORMAS:	ASTM C-469
		FECHA DE ENSAYO:	MARZO.2025
		MUESTRA:	5.6%

MODULO DE ELASTICIDAD

L	DIAMETRO	f_c	AREA	CARGA ROTURA
m	mm	Mpa	mm ²	kg
300	150	28	17671	5614
60% RESISTENCIA MAXIMA		40	APRECIACION DEFORMIMETRO	
Mpa		Mpa	pulg.	
19,06		12,71	0,0001	

#	CARGA	DEFORMACION	ESFUERZO	DEFORMACION ESPECIFICA
	kg	10^{-4}	Mpa	1×10^{-5} mm/mm
1	0	0	0	0
2	2000	19600	1,13	3,4
3	4000	39200	2,26	7,6
4	6000	58800	3,40	12,7

5	80	78400	20	50,80	4,53	16,9
6	10	98000	26	66,04	5,66	22,0
7	12	117600	34	86,36	6,79	28,8
8	14	137200	39	99,06	7,92	33,0
9	16	156800	47	119,38	9,05	39,8
10	18	176400	54	137,16	10,19	45,7
11	20	196000	62	157,48	11,32	52,5
12	22	215600	72	182,88	12,45	61,0
13	24	235200	81	205,74	13,58	68,6
14	26	254800	88	223,52	14,71	74,5
15	28	274400	96	243,84	15,84	81,3
16	30	294000	10	271,78	16,98	90,6
17	32	313600	11	299,72	18,11	99,9
18	34	333200	12	327,66	19,24	109,2
19	36	352800	13	340,36	20,37	113,5
20	38	372400	14	358,14	21,50	119,4
ROTUR	56	550250			31,77	
A	148					



DEFORMACION 1 X 10⁻⁵ mm/mm

CALCULO DEL MODULO DE ELAS			TICIDAD	
(Mpa)	40% s _r	s(0.000050)(Mpa)	e40%sr(h30)	E (MPa)
		5 mm/mm)		
	12.71	1.56	62.75	19306

DATOS DEL PROYECTO		DATOS EQUIPO Y ENSAYOS	
"Desarrollo de la Ecuación del Módulo de Elasticidad para Homigones de			
PROYECTO:	Resistencia f _c =280 kg/cm ² Utilizando Material Granular de la Mina		
SOLICITADO	Pintag, Fino del		
POR:	Chasqui, Homigón Reciclado y Cemento tipo HE"		
UBICACIÓN:	ING. FRANKLIN ANDRÉS PÉREZ BARRIONUEVO	NORMAS:	ASTM C-469
APROBADO	D.M. QUITO	FECHA DE	MARZO.2025
POR:	ING. LUIS GAVILANES	ENSAYO:	MARZO.2025
TÉCNICO:	SR. EDUARDO GUAMAN	MUESTRA:	1.8%

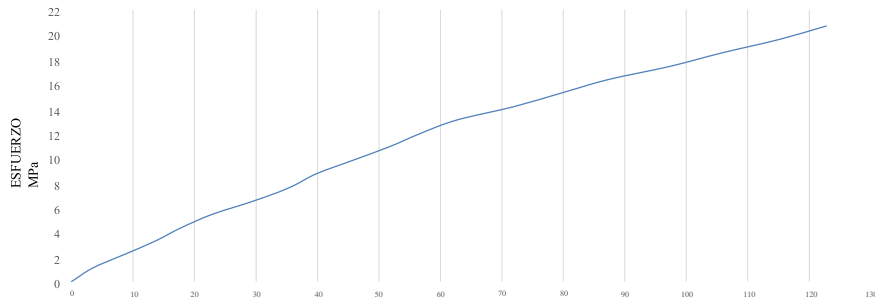
MODULO DE ELASTICIDAD

L	DIAMETR	f _c	ARE	CAR
O			A	GA ROTURA
m	mm	M	mm ²	kg
3	153	28	18385	5788
00			,55	9
60% RESISTENCIA MAXIMA		40	APRECIACION	
		% s _r	DEFORMIMETRO	
Mpa		M	pulg.	
		pa		

18,89		12,		0,0001		
#	C		D		ESFUERZO	DEFORMACION
	AR	GA	EF	ORMACION	ACION	ESPECIFICA
	kg	N	1 x 10 ⁻⁴	1 X 10 ⁻³ mm	Mpa	1 X 10 ⁻⁵ mm/mm
1	0	0	0,	0,00	0	0
2	20	19600	4,	10,16	1,09	3,4
3	40	39200	10	25,40	2,18	8,5
4	60	58800	16	40,64	3,26	13,5
5	80	78400	21	53,34	4,35	17,8
6	10	98000	27	68,58	5,44	22,9
7	12	117600	35	88,90	6,53	29,6
8	14	137200	42	106,68	7,61	35,6
9	16	156800	47	119,38	8,70	39,8
10	18	176400	54	137,16	9,79	45,7
11	20	196000	61	154,94	10,88	51,6
12	22	215600	67	170,18	11,97	56,7
13	24	235200	74	187,96	13,05	62,7
14	26	254800	85	215,90	14,14	72,0
15	28	274400	94	238,76	15,23	79,6
16	30	294000	10	261,62	16,32	87,2
17	32	313600	11	292,10	17,40	97,4

18	34	333200	12	317,50	18,49	105,8
19	36	352800	13	345,44	19,58	115,1
20	38	372400	14	368,30	20,67	122,8
A	57	567312			31,49	

DIAGRAMA ESFUERZO vs DEFORMACIÓN



DEFORMACION 1 X 10 -5 mm/mm

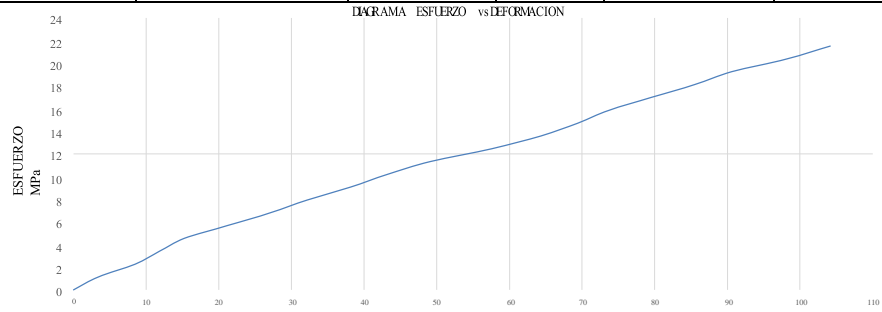
CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD				TICIDAD
40% sr (Mpa)	$\sigma(0.000050)(Mpa)$	$\epsilon 40\%sr(1000)$	5 mm/mm	E (MPa)
12,59	1,43	60,14		20247
DATOS DEL PROYECTO			DATOS EQUIPO Y ENSAYOS	
<p>"Desarrollo de la Ecuación del Módulo de Elasticidad para Homigones de</p> <p>PROYECTO: Resistencia $f_c=280\text{kg/cm}^2$ Utilizando Material Granular de la Mina</p> <p>SOLICITADO Pintag, Fino del</p> <p>POR: Chasqui, Homigón Reciclado y Cemento tipo HE"</p> <p>UBICACIÓN: ING. FRANKLIN ANDRÉS PÉREZ BARRIONUEVO</p> <p>APROBADO D.M. QUITO</p> <p>POR: ING. LUIS GAVILANES</p> <p>TÉCNICO: SR. EDUARDO GUAMAN</p> <p>NORMAS: ASTM C-469</p> <p>FECHA DE ENSAYO: MARZO.2025</p> <p>MUESTRA: 2.8%</p>				

MODULO DE ELASTICIDAD

L	DIAMETR	f_c	ARE	CAR
O			A	GA ROTURA

m	mm	M		mm ²	kg	
3	150	28		17671	5541	
00				,62	1	
60% RESISTENCIA MAXIMA		40	APRECIACION			
		% s _r	DEFORMIMETRO			
Mpa		M	pulg.			
		pa				
18,81		12,	0,0001			
		54				
#	AR	GA	EF	DEFORMACION	ESFUERZO	DEFORMACION ESPECIFICA
	kg	N	1 x 10 ⁻⁴	1 X 10 ⁻³ mm	Mpa	1 X 10 ⁻⁵ mm/mm
1	0	0	0,	0,00	0	0
2	20	19600	4,	10,16	1,13	3,4
3	40	39200	10	25,40	2,26	8,5
4	60	58800	14	35,56	3,40	11,9
5	80	78400	18	45,72	4,53	15,2
6	10	98000	25	63,50	5,66	21,2
7	12	117600	32	81,28	6,79	27,1
8	14	137200	38	96,52	7,92	32,2
9	16	156800	45	114,30	9,05	38,1
10	18	176400	51	129,54	10,19	43,2
11	20	196000	58	147,32	11,32	49,1
12	22	215600	68	172,72	12,45	57,6
13	24	235200	76	193,04	13,58	64,3

14	26	254800	82	208,28	14,71	69,4
15	28	274400	87	220,98	15,84	73,7
16	30	294000	94	238,76	16,98	79,6
17	32	313600	10	256,54	18,11	85,5
18	34	333200	10	271,78	19,24	90,6
19	36	352800	11	294,64	20,37	98,2
20	38	372400	12	312,42	21,50	104,1
ROTURA	55	543028			31,36	



DEFORMACION 1 X 10⁻⁵ mm/mm

CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD				TICIDAD
40% sr (Mpa)	$\sigma(0.000050)(Mpa)$	$\epsilon 40\%sr(1x10^{-5} mm/mm)$		E (MPa)
12,54	1,48	58,13		20821

DATOS DEL PROYECTO	DATOS EQUIPO Y ENSAYOS
--------------------	------------------------

"Desarrollo de la Ecuación del Módulo de Elasticidad para Homígones de			
PROYECTO:	Resistencia $f_c=280\text{kg/cm}^2$ Utilizando Material Granular de la Mina		
SOLICITADO	Pintag, Fino del		
POR:	Chasqui, Homígon Reciclado y Cemento tipo HE"		
UBICACIÓN:	ING. FRANKLIN ANDRÉS PÉREZ BARRIONUEVO	NORMAS:	
APROBADO	D.M. QUITO	FECHA DE	ASTM C-469
POR:	ING. LUIS GAVILANES	ENSAYO:	MARZO.2025
TÉCNICO:	SR. EDUARDO GUAMAN	MUESTRA:	3.8%

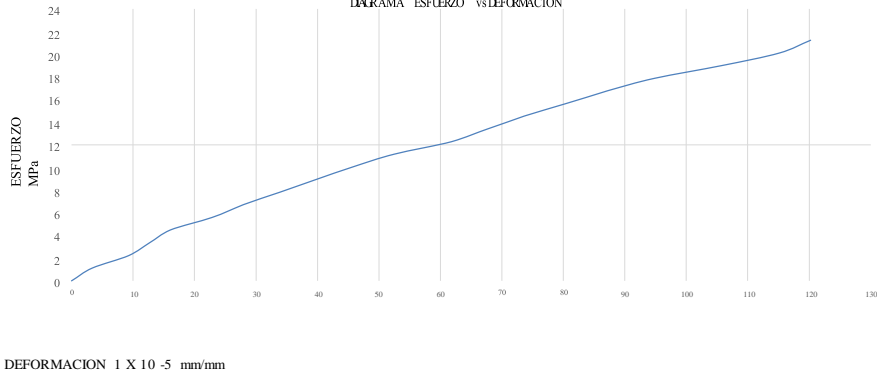
MODULO DE ELASTICIDAD

L	DIAMETRO	f_c	ARE	CAR
m	mm	M	mm ²	kg
300	151	28	17908	5498
60% RESISTENCIA MAXIMA		40	APRECIACION	
Mpa		% s.	DEFORMIMETRO	
18,42		M	pulg.	
		pa	0,0001	
		28		

#	CARGA	DEFORMACION	ESFUERZO	DEFORMACION ESPECIFICA
	kg	N	Mpa	mm/mm
1	0	0	0	0
2	20	19600	1,12	3,4
3	40	39200	2,23	9,3
4	60	58800	3,35	12,7
5	80	78400	4,47	16,1
6	100	98000	5,58	22,9
7	120	117600	6,70	27,9
8	140	137200	7,82	33,9

9	16	156800	47	119,38	8,93	39,8
10	18	176400	54	137,16	10,05	45,7
11	20	196000	62	157,48	11,17	52,5
12	22	215600	73	185,42	12,28	61,8
13	24	235200	80	203,20	13,40	67,7
14	26	254800	87	220,98	14,52	73,7
15	28	274400	95	241,30	15,64	80,4
16	30	294000	10	261,62	16,75	87,2
17	32	313600	11	284,48	17,87	94,8
18	34	333200	12	317,50	18,99	105,8
19	36	352800	13	345,44	20,10	115,1
20	38	372400	14	360,68	21,22	120,2
ROTUR A	54	538873			30,71	

DIAGRAMA ESFUERZO vs DEFORMACION



40% sr (Mpa)	σ(0.00050)(Mpa)	ε40%sr (x10 ⁻³) 5 mm/mm	E (MPa)
12,28	1,42	61,80	19123

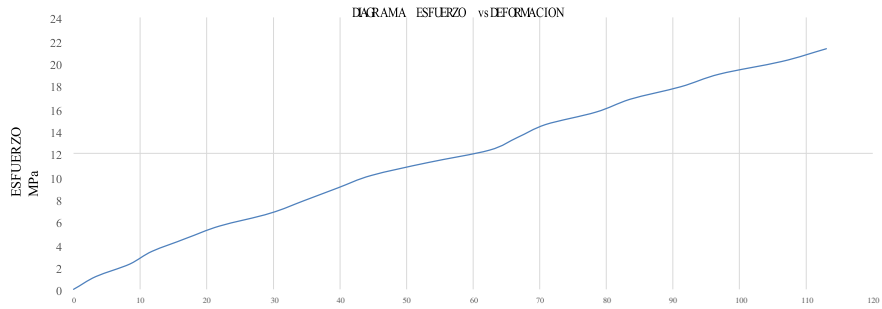
DATOS DEL PROYECTO		DATOS EQUIPO Y ENSAYOS	
"Desarrollo de la Ecuación del Módulo de Elasticidad para Homigones de			
PROYECTO:	Resistencia f _c =280kg/cm ² Utilizando Material Granular de la Mina		
SOLICITADO	Pintag, Fino del		
POR:	Chasqui, Homigón Reciclado y Cemento tipo HE"		
UBICACIÓN:	ING. FRANKLIN ANDRÉS PÉREZ BARRIONUEVO		
APROBADO	D.M. QUITO		
POR:	ING. LUIS GAVILANES		ENSAYO: MARZO.2025
TÉCNICO:	SR. EDUARDO GUAMAN		MUESTRA: 4.8%
		NORMAS:	ASTM C-469
		FECHA DE	

MODULO DE ELASTICIDAD

L	DIAMETRO	f _c	AREA	CARGA ROTURA
m	mm	pa	mm ²	kg
3	151	28	17908	5789
01			,03	9
60% RESISTENCIA MAXIMA		40	APRECIACION	
		% s.	DEFORMIMETRO	
Mpa		M	pulg.	
		pa		
19,40		12,	0,0001	
		93		

#	CARGA	DEFORMACION	ESFUERZO	DEFORMACION ESPECIFICA
	kg	N	1 X 10 ⁻³ mm	1 X 10 ⁻⁵ mm/mm
1	0	0	0,00	0
2	20	19600	10,16	3,4
3	40	39200	25,40	8,4
4	60	58800	35,56	11,8
5	80	78400	50,80	16,9

6	10	98000	26	66,04	5,58	21,9
000			0			
7	12	117600	35	88,90	6,70	29,5
000			0			
8	14	137200	41	104,14	7,82	34,6
000			0			
9	16	156800	47	119,38	8,93	39,7
000			0			
10	18	176400	53	134,62	10,05	44,7
000			0			
11	20	196000	63	160,02	11,17	53,2
000			0			
12	22	215600	74	187,96	12,28	62,4
000			0			
13	24	235200	79	200,66	13,40	66,7
000			0			
14	26	254800	84	213,36	14,52	70,9
000			0			
15	28	274400	93	236,22	15,64	78,5
000			0			
16	30	294000	99	251,46	16,75	83,5
000			0			
17	32	313600	10	274,32	17,87	91,1
000			8,0			
18	34	333200	11	292,10	18,99	97,0
000			5,0			
19	36	352800	12	320,04	20,10	106,3
000			6,0			
20	38	372400	13	340,36	21,22	113,1
000			4,0			
ROTUR	57	567410			32,33	
A	899					



DEFORMACION 1 X 10⁻⁵ mm/mm

CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD				UNIDAD
40% sr (Mpa)	s(0.000050)(Mpa)	e40%sr(1x10 ⁻⁵ mm/mm)	(Mpa)	E
12,93	1,48	64,90		19128
DATOS DEL PROYECTO			DATOS EQUIPO Y ENSAYOS	
<p style="text-align: center;">"Desarrollo de la Ecuación del Módulo de Elasticidad para Homigones de</p> <p>PROYECTO: Resistencia f_c=280kg/cm² Utilizando Material Granular de la Mina</p> <p>SOLICITADO Pintag, Fino del</p> <p>POR: Chasqui, Homigón Reciclado y Cemento tipo HE"</p> <p>UBICACIÓN: ING. FRANKLIN ANDRÉS PÉREZ BARRIONUEVO</p> <p>APROBADO D.M. QUITO</p> <p>POR: ING. LUIS GAVILANES</p> <p>TÉCNICO: SR. EDUARDO GUAMAN</p>			<p>NORMAS: ASTM C-469</p> <p>FECHA DE ENSAYO: MARZO.2025</p> <p>MUESTRA: 5.8%</p>	

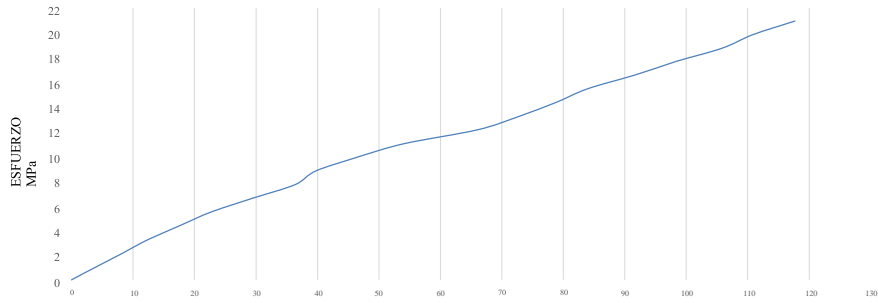
MODULO DE ELASTICIDAD

L	DIAMETRO	f _c	ARE	CAR
m	mm	M	mm ²	kg
3,00	152	28	18146,00	5300
60% RESISTENCIA MAXIMA		40	APRECIACION	
		% s.	DEFORMIMETRO	
Mpa		M	pulg.	
		pa		
17,52		11,68	0,0001	
#	C	D	ESFUERZO	DEFORMACION
AR	GA	EF	ORMACION	ESPECIFIC

	kg	N	10 ⁻⁴ "	1 X 10 ⁻³ mm	Mpa	1 X 10 ⁻⁵ mm/mm
1	0	0	0	0,00	0	0
2	2000	19600	5,0	12,70	1,10	4,2
3	4000	39200	10,0	25,40	2,20	8,5
4	6000	58800	15,0	38,10	3,31	12,7
5	8000	78400	20,0	53,34	4,41	17,8
6	10000	98000	27,0	68,58	5,51	22,9
7	12000	117600	35,0	88,90	6,61	29,6
8	14000	137200	43,0	109,22	7,72	36,4
9	16000	156800	47,0	119,38	8,82	39,8
10	18000	176400	55,0	139,70	9,92	46,6
11	20000	196000	64,0	162,56	11,02	54,2
12	22000	215600	78,0	198,12	12,12	66,0
13	24000	235200	86,0	218,44	13,23	72,8
14	26000	254800	93,0	236,22	14,33	78,7
15	28000	274400	98,0	251,46	15,43	83,8
16	30000	294000	108,0	274,32	16,53	91,4
17	32000	313600	116,0	294,64	17,63	98,2
18	34000	333200	125,0	317,50	18,74	105,8
19	36000	352800	133,0	332,74	19,84	110,9
20	38000	372400	141,0	353,06	20,94	117,7

A	ROTURA	53	519410		29,21	
	001					

DIAGRAMA ESFUERZO vs DEFORMACION



DEFORMACION 1 X 10⁻⁵ mm/mm

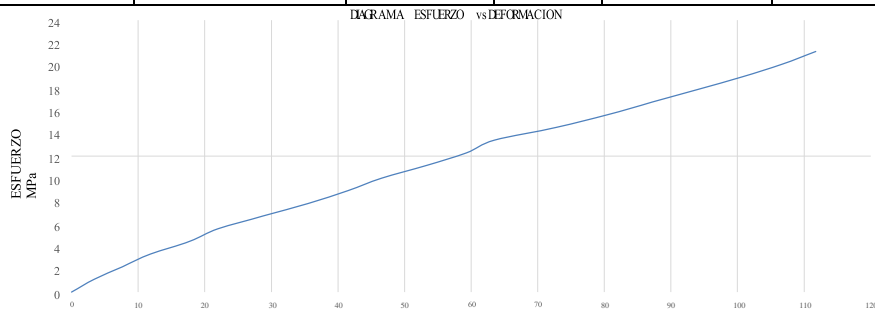
CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD				TICIDAD
40% sr (Mpa)	$\sigma(0.000050)(Mpa)$	$\epsilon(0\%sr)(10^{-5})$	5 mm/mm	E (MPa)
11.68	1.30	61.28		18449
DATOS DEL PROYECTO			DATOS EQUIPO Y ENSAYOS	
<p>"Desarrollo de la Ecuación del Módulo de Elasticidad para Homigones de</p> <p>PROYECTO: Resistencia $f_c=280\text{kg/cm}^2$ Utilizando Material Granular de la Mina</p> <p>SOLICITADO Pintag, Fino del</p> <p>POR: Chasqui, Homigón Reciclado y Cemento tipo HE"</p> <p>UBICACIÓN: ING. FRANKLIN ANDRÉS PÉREZ BARRIONUEVO</p> <p>APROBADO D.M. QUITO</p> <p>POR: ING. LUIS GAVILANES</p> <p>TÉCNICO: SR. EDUARDO GUAMAN</p>			<p>NORMAS: ASTM C-469</p> <p>FECHA DE ENSAYO: MARZO.2025</p> <p>MUESTRA: 1.10%</p>	

MODULO DE ELASTICIDAD

L	DIAMETRO	f_c	ARE	CARGA ROTURA
m	mm	Mpa	mm ²	kg
3.00	151	28	17908	5479
60% RESISTENCIA MAXIMA		40	APRECIACION	
		% s.	DEFORMIMETRO	

Mpa		M		pulg.			
18,36		24	12,		0,0001		
#	C		D		ESFUERZO	DEFORMACION	
	AR	GA	EF	ORMACION		ESPECIFICA	
	kg	N	10 ⁻⁴ "	1 x	1 X 10 ⁻³ mm	Mpa	1 X 10 ⁻⁵ mm/mm
1	0	0	0,	0,	0,00	0	0
2	20	19600	0,	4,	10,16	1,12	3,4
3	40	39200	0,	9,	22,86	2,23	7,6
4	60	58800	0,	14,	35,56	3,35	11,9
5	80	78400	0,	21,	53,34	4,47	17,8
6	10	98000	0,	26,	66,04	5,58	22,0
7	12	117600	0,	34,	86,36	6,70	28,8
8	14	137200	0,	42,	106,68	7,82	35,6
9	16	156800	0,	49,	124,46	8,93	41,5
10	18	176400	0,	55,	139,70	10,05	46,6
11	20	196000	0,	63,	160,02	11,17	53,3
12	22	215600	0,	70,	177,80	12,28	59,3
13	24	235200	0,	75,	190,50	13,40	63,5
14	26	254800	0,	86,	218,44	14,52	72,8
15	28	274400	0,	95,	241,30	15,64	80,4
16	30	294000	3,0	10,	261,62	16,75	87,2

17	32	313600	11	281,94	17,87	94,0
18	34	333200	11	302,26	18,99	100,8
19	36	352800	12	320,04	20,10	106,7
20	38	372400	13	335,28	21,22	111,8
A	54	537020			30,60	



DEFORMACION 1×10^{-5} mm/mm

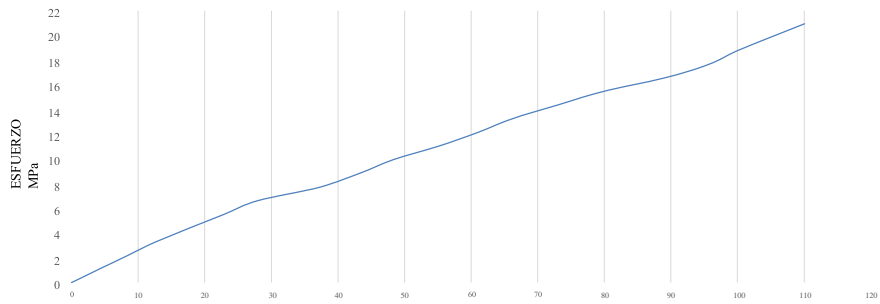
CALCULO DEL MODULO DE ELAS				TICIDAD
40% sr (Mpa)	$\sigma(0.000050)$ (Mpa)	$\epsilon 40\%$ (1×10^{-5} mm/mm)		E (MPa)
12.24	1.54	59.08		19785
DATOS DEL PROYECTO			DATOS EQUIPO Y ENSAYOS	
<p>"Desarrollo de la Ecuación del Módulo de Elasticidad para Homigones de</p> <p>PROYECTO: Resistencia $f_c=280$kg/cm² Utilizando Material Granular de la Mina</p> <p>SOLICITADO Pintag, Fino del</p> <p>POR: Chasqui, Homigón Reciclado y Cemento tipo HE"</p> <p>UBICACIÓN: ING. FRANKLIN ANDRÉS PÉREZ BARRIONUEVO</p> <p>APROBADO D.M. QUITO</p> <p>POR: ING. LUIS GAVILANES</p> <p>TÉCNICO: SR. EDUARDO GUAMAN</p>			<p>NORMAS:</p> <p>FECHA DE: ASTM C-469</p> <p>ENSAYO: MARZO.2025</p> <p>MUESTRA: 2.10%</p>	

MODULO DE ELASTICIDAD

L	DIAMETRO	f _c		AREA	CARGA ROTURA
m	mm	Mpa		mm ²	kg
300	152	28		18146,00	5244,4
60% RESISTENCIA MAXIMA		40 % s _r		APRECIACION DEFORMIMETRO	
Mpa		M pa		pulg.	
17,34		11, 56		0,0001	
#	CARGA	DEFORMACION	ESFUERZO	DEFORMACION ESPECIFICA	
	kg	N	1 X 10 ⁻³ mm	Mpa	
1	0	0	0,00	0	
2	2000	19600	12,70	1,10	
3	4000	39200	25,40	2,20	
4	6000	58800	38,10	3,31	
5	8000	78400	53,34	4,41	
6	10000	98000	68,58	5,51	
7	12000	117600	83,82	6,61	
8	14000	137200	101,76	7,72	
9	16000	156800	129,54	8,82	
10	18000	176400	144,78	9,92	
11	20000	196000	165,10	11,02	
12	22000	215600	182,88	12,12	

13	24	235200	78	198,12	13,23	66,0
14	26	254800	86	218,44	14,33	72,8
15	28	274400	94	238,76	15,43	79,6
16	30	294000	102	266,70	16,53	88,9
17	32	313600	110	287,02	17,63	95,7
18	34	333200	118	299,72	18,74	99,9
19	36	352800	126	314,96	19,84	105,0
20	38	372400	134	330,20	20,94	110,1
ROTUR A	52	513951			28,90	

DIAGRAMA ESFUERZO vs DEFORMACION



DEFORMACION 1 X 10⁻⁵ mm/mm

CALCULO DEL MODULO DE ELAS				TICIDAD
40% sr (Mpa)	$\sigma(0.000050)$ (Mpa)	$\epsilon 40\%$ (1x10 ⁻⁵ mm/mm)		E
11,56	1,30	57,95		19378

DATOS DEL PROYECTO	DATOS EQUIPO Y ENSAYOS
--------------------	------------------------

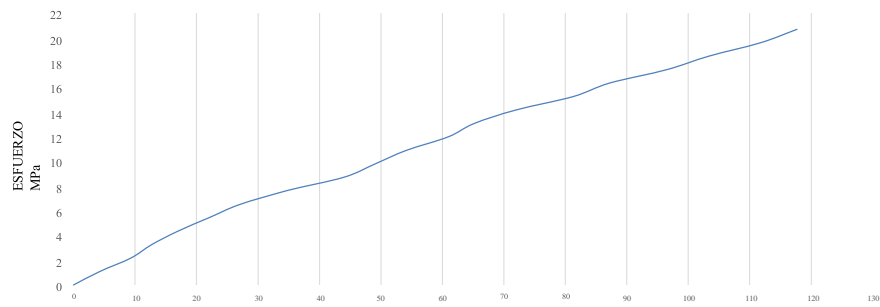
"Desarrollo de la Ecuación del Módulo de Elasticidad para Homígones de						
PROYECTO:	Resistencia $f_c=280\text{kg/cm}^2$ Utilizando Material Granular de la Mina					
SOLICITADO	Pintag, Fino del					
POR:	Chasqui, Homígon Reciclado y Cemento tipo HE"					
UBICACIÓN:	ING. FRANKLIN ANDRÉS PÉREZ BARRIONUEVO			NORMAS:		
APROBADO	D.M. QUITO			FECHA DE	ASTM C-469	
POR:	ING. LUIS GAVILANES			ENSAYO:	MARZO.2025	
TÉCNICO:	SR. EDUARDO GUAMAN			MUESTRA:	3.10%	

MODULO DE ELASTICIDAD

L	DIAMETRO	f_c		AREA	CARGA	
m	mm	Mpa		mm ²	kg	
300	153	28		18385	5588	
60% RESISTENCIA MAXIMA		40	APRECIACION DEFORMIMETRO			
Mpa		Mpa	pulg.			
18,24		12,	0,0001			
		16				
#	CARGA	DEFORMACION	ESFUERZO	DEFORMACION ESPECIFICA		
	kg	N	Mpa	mm/mm		
1	0	0	0	0		
2	20	19600	1,09	4,2		
3	40	39200	2,18	9,3		
4	60	58800	3,26	12,7		
5	80	78400	4,35	16,9		
6	100	98000	5,44	22,0		
7	120	117600	6,53	27,1		
8	140	137200	7,61	34,7		

9	16	156800	52	132,08	8,70	44,0
10	18	176400	58	147,32	9,79	49,1
11	20	196000	64	162,56	10,88	54,2
12	22	215600	72	182,88	11,97	61,0
13	24	235200	77	195,58	13,05	65,2
14	26	254800	85	215,90	14,14	72,0
15	28	274400	96	243,84	15,23	81,3
16	30	294000	10	261,62	16,32	87,2
17	32	313600	11	289,56	17,40	96,5
18	34	333200	12	309,88	18,49	103,3
19	36	352800	13	335,28	19,58	111,8
20	38	372400	13	353,06	20,67	117,7
ROTUR A	55	547702			30,40	

DIAGRAMA ESFUERZO vs DEFORMACION



DEFORMACION 1 X 10⁻⁵ mm/mm

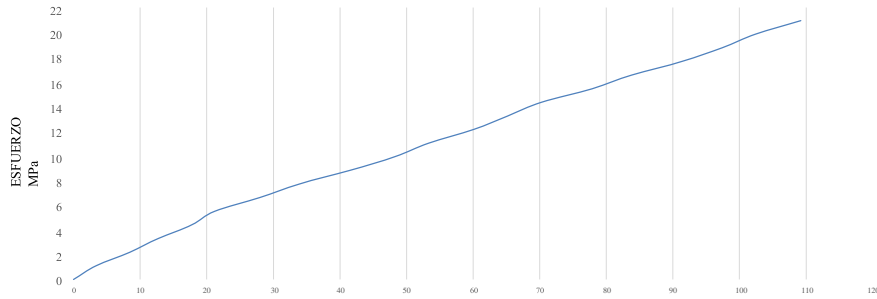
CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD				TICIDAD
40% sr (Mpa)	σ(0.000050)(Mpa)	ε40%sr (x10 ⁻³ mm/mm)	E (MPa)	E
12,16	1,26	61,74	19209	
DATOS DEL PROYECTO			DATOS EQUIPO Y ENSAYOS	
<p>"Desarrollo de la Ecuación del Módulo de Elasticidad para Homigones de</p> <p>PROYECTO: Resistencia f_c=280kg/cm² Utilizando Material Granular de la Mina</p> <p>SOLICITADO Pintag, Fino del</p> <p>POR: Chasqui, Homigón Reciclado y Cemento tipo HE"</p> <p>UBICACIÓN: ING. FRANKLIN ANDRÉS PÉREZ BARRIONUEVO</p> <p>APROBADO D.M. QUITO</p> <p>POR: ING. LUIS GAVILANES</p> <p>TÉCNICO: SR. EDUARDO GUAMAN</p>			<p>NORMAS: ASTM C-469</p> <p>FECHA DE ENSAYO: MARZO.2025</p> <p>MUESTRA: 4.10%</p>	

MODULO DE ELASTICIDAD

L	DIAMETRO	f _c	ARE	CAR
m	mm	M	mm ²	kg
300	152	28	18146	5258
60% RESISTENCIA MAXIMA		40	APRECIACION	
Mpa		% s,	DEFORMIMETRO	
17,39		M	pulg.	
		pa	0,0001	
		11,		
		59		
#	CAR	DEFORMACION	ESFUERZO	DEFORMACION ESPECIFICA
	kg	N	1 X 10 ⁻³ mm	1 X 10 ⁻⁵ mm/mm
1	0	0	0,00	0
2	2000	19600	10,16	3,4
3	4000	39200	25,40	8,5
4	6000	58800	38,10	12,7

5	80	78400	21	53,34	4,41	17,8
6	100	98000	25	63,50	5,51	21,2
7	120	117600	33	83,82	6,61	27,9
8	140	137200	40	101,60	7,72	33,9
9	160	156800	48	124,46	8,82	41,5
10	180	176400	57	144,78	9,92	48,3
11	200	196000	65	160,02	11,02	53,3
12	220	215600	71	180,34	12,12	60,1
13	240	235200	77	195,58	13,23	65,2
14	260	254800	83	210,82	14,33	70,3
15	280	274400	92	233,68	15,43	77,9
16	300	294000	99	251,46	16,53	83,8
17	320	313600	108	274,32	17,63	91,4
18	340	333200	117	292,10	18,74	97,4
19	360	352800	126	307,34	19,84	102,4
20	380	372400	135	327,66	20,94	109,2
ROTUR A	520	515362			28,98	

DIAGRAMA ESFUERZO vs DEFORMACION



DEFORMACION 1 X 10⁻⁵ mm/mm

CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD				TICIDAD
40% sr (Mpa)	s(0.000050)(Mpa)	e40%sr(1x10 ⁻⁵ mm/mm)	(MPa)	E
11.59	1.45	56.82		19572
DATOS DEL PROYECTO			DATOS EQUIPO Y ENSAYOS	
<p>"Desarrollo de la Ecuación del Módulo de Elasticidad para Homígones de</p> <p>PROYECTO: Resistencia f_c=280kg/cm² Utilizando Material Granular de la Mina</p> <p>SOLICITADO Pintag, Fino del</p> <p>POR: Chasqui, Homígon Reciclado y Cemento tipo HE"</p> <p>UBICACIÓN: ING. FRANKLIN ANDRÉS PÉREZ BARRIONUEVO</p> <p>APROBADO D.M. QUITO</p> <p>POR: ING. LUIS GAVILANES</p> <p>TÉCNICO: SR. EDUARDO GUAMAN</p> <p>NORMAS: ASTM C-469</p> <p>FECHA DE ENSAYO: MARZO 2025</p> <p>MUESTRA: 5.10%</p>				

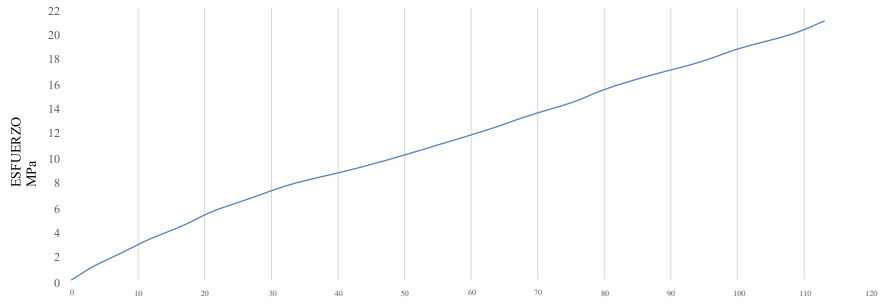
MODULO DE ELASTICIDAD

L	DIAMETRO	f _c	AREA	CARGA ROTURA
m	mm	Mpa	mm ²	kg
301	152	28	18146	5631
60% RESISTENCIA MAXIMA		40	APRECIACION	
		% s.	DEFORMIMETRO	
Mpa		M	pulg.	
18,62		12,41	0,0001	
#	CARGA	DEFORMACION	ESFUERZO	DEFORMACION ESPECIFICA

	kg	N	1 x 10 ⁻⁴ "	1 X 10 ⁻³ mm	Mpa	1 X 10 ⁻⁵ mm/mm
1	0	0	0,	0,00	0	0
2	20	19600	4,	10,16	1,10	3,4
3	40	39200	9,	22,86	2,20	7,6
4	60	58800	14	35,56	3,31	11,8
5	80	78400	20	50,80	4,41	16,9
6	10	98000	25	63,50	5,51	21,1
7	12	117600	32	81,28	6,61	27,0
8	14	137200	39	99,06	7,72	32,9
9	16	156800	49	124,46	8,82	41,3
10	18	176400	58	147,32	9,92	48,9
11	20	196000	66	167,64	11,02	55,7
12	22	215600	74	187,96	12,12	62,4
13	24	235200	81	205,74	13,23	68,4
14	26	254800	89	226,06	14,33	75,1
15	28	274400	95	241,30	15,43	80,2
16	30	294000	10	261,62	16,53	86,9
17	32	313600	11	284,48	17,63	94,5
18	34	333200	11	302,26	18,74	100,4
19	36	352800	12	325,12	19,84	108,0
20	38	372400	13	340,36	20,94	113,1

A	ROTUR	56	551848			31,03
	B11					

DIAGRAMA ESFUERZO vs DEFORMACION



DEFORMACION 1×10^{-5} mm/mm

CALCULO DEL MODULO DE ELAS			TICIDAD	
40% sr	$\sigma(0.00050)$ (Mpa)	$\epsilon 40\%sr$ (x10 ⁻⁵ mm/mm)		E (MPa)
12,41	1,52	63,97		18472

5.1. ANEXOS FOTOGRÁFICOS



Fotografía

1

Trituración del agregado reciclado



Fotografía 2

Tamizado de agregado reciclado



Fotografía 3

Secado agregado grueso



Fotografía 4

Gravedad específica agregado fino



Fotografía 5

Peso unitario agregado grueso



Fotografía 6

Proporciones para elaboración de la mezcla de hormigón



Fotografía 7

Cilindros de hormigón



Fotografía 8

Obtención de datos de cilindros



Fotografía 9

Preparación de cilindros para módulo de elasticidad



Fotografía 10

Rotura de cilindro a carga máxima



Fotografía 11

Máquina de compresión de cilindros