

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

## FACULTAD DE INGENIERÍA

### ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



“INFLUENCIA DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO  
EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL CONCRETO  
F’C=210KG/CM2 EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA”

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

AUTOR:

Bach.: CRISTHIAN GABRIEL MARTÍNEZ DOMÍNGUEZ

ASESOR:

Dr. Ing. HERMES ROBERTO MOSQUEIRA RAMÍREZ

CAJAMARCA, PERÚ

2024

## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

### - FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador: **CRISTHIAN GABRIEL MARTÍNEZ DOMÍNGUEZ**  
DNI: 71322433  
Escuela Profesional: Ingeniería Civil
  
2. Asesor: **Dr. Ing. Hermes Roberto Mosqueira Ramirez**  
Facultad: Ingeniería  
DNI : 26673916
  
3. Grado académico o título profesional  
 Bachiller       Título profesional       Segunda especialidad  
 Maestro       Doctor
  
4. Tipo de Investigación:  
 Tesis       Trabajo de Investigación       Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
  
5. Título de Trabajo de Investigación: **"INFLUENCIA DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL CONCRETO F'C=210KG/CM2 EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"**
  
6. Fecha de evaluación: 15 de octubre del 2024
  
7. Software antiplagio:       TURNITIN       URKUND (OURIGINAL) (\*)
  
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 18 %
  
9. Código Documento: oid:3117:393196869
  
10. Resultado de la Evaluación de Similitud: 18 %  
 **APROBADO**       **PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO**

Fecha Emisión: 15/10/2024

 <hr/> <b>FIRMA DEL ASESOR</b> Nombres y Apellidos: <b>Hermes Roberto Mosqueira Ramirez</b> DNI: 26673916	 <hr/> <b>UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI</b>
---	---

\* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

## **DEDICATORIA**

A Dios, por darme sabiduría y fortaleza para seguir adelante en todo momento.

A mis padres, Carlos Martínez y Elena Domínguez, quienes siempre confiaron en mí y me brindaron su amor incondicional.

A mi hermana, Kiara Martínez, por tener palabras de aliento.

A mi pareja Jessi, por ser mi compañera en la buenas y en las malas.

A mi familia y amigos quienes contribuyeron para la realización de esta investigación.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer profundamente en primer lugar a Dios por darme, fortaleza, salud y los medios necesarios para seguir adelante.

A mis padres Carlos Martínez y Elena Domínguez, por sus palabras de aliento, su amor infinito, por su paciencia y ejemplo de vida.

A mi hermana Kiara Martínez, por estar en los momentos complicados y ser siempre un apoyo.

A mi pareja Jessi Lezma, por su amor incondicional y por acompañarme en este proceso.

A mi asesor Dr. Ing. Hermes Roberto Mosqueira Ramírez, por la orientación brindada para la realización de este trabajo de investigación.

A mis amigos, Robin Vera, Paisano Gustavo, Kevin Altamirano, Ever Anticona y Nicson Vásquez, gracias por los consejos y su apoyo para realizar los ensayos.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT .....	xii
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN .....	13
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	13
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.3. HIPÓTESIS GENERAL .....	14
1.4. JUSTIFICACIÓN .....	14
1.5. ALCANCES O DELIMITACIÓN .....	14
1.6. LIMITACIONES .....	15
1.7. OBJETIVOS .....	15
1.7.1. Objetivo general .....	15
1.7.2. Objetivos específicos.....	15
1.8. VARIABLES .....	15
1.8.1. Variables dependientes.....	15
1.8.2. Variables independientes.....	15
1.9. DESCRIPCIÓN DE LOS CAPÍTULOS .....	16
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	17
2.1. ANTECEDENTE TEÓRICOS .....	17
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	17
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	18
2.2. BASES TEÓRICAS.....	20
2.2.1. Tamaño máximo nominal del agregado grueso.....	20
2.2.2. Concreto.....	20
2.2.3. Propiedades de concreto fresco .....	20

2.2.3.1.	Trabajabilidad o manejabilidad.....	20
2.2.3.2.	Segregación.....	21
2.2.3.3.	Exudación o sangrado.....	21
2.2.3.4.	Masa unitaria.....	21
2.2.4.	Propiedades del concreto endurecido.....	22
2.2.4.1.	Resistencia a la compresión.....	22
2.2.4.2.	Peso unitario.....	23
2.2.4.3.	Relación esfuerzo – deformación.....	23
2.2.4.4.	Módulo de elasticidad.....	23
2.2.4.5.	Variables que afectan el Módulo de Elasticidad.....	24
2.2.4.6.	Fórmulas y métodos para determinar el Módulo de Elasticidad.....	25
2.2.5.	Componentes del concreto.....	26
2.2.5.1.	Cemento Portland.....	26
2.2.5.2.	Agregados.....	26
2.2.5.3.	Agua.....	26
2.2.6.	Propiedades físicas de agregados.....	27
2.2.6.1.	Contenido de humedad.....	27
2.2.6.2.	Peso unitario.....	27
2.2.6.3.	Finos que pasan la malla N° 200.....	27
2.2.6.4.	Resistencia a la abrasión.....	27
2.2.6.5.	Absorción.....	27
2.2.6.6.	Densidad.....	28
2.2.6.7.	Análisis granulométrico.....	28
2.2.7.	Diseño de mezclas por el método de módulo de fineza de la combinación de los agregados.....	30
2.3.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	31
CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....		32

3.1.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	32
3.1.1.	Ubicación geográfica de la investigación.....	32
3.1.2.	Ubicación geográfica de la cantera de estudio .....	32
3.2.	TIEMPO DE REALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	32
3.3.	MATERIALES Y EQUIPOS .....	32
3.4.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	33
3.4.1.	Tipo, nivel y diseño de la investigación .....	33
3.4.2.	Método de investigación.....	33
3.4.3.	Población, muestra, unidad de observación y unidad de análisis.....	33
3.4.4.	Procedimiento de la investigación.....	35
3.4.4.1.	Propiedades físicas – mecánicas de los agregados.....	36
3.4.4.2.	Diseño de mezclas.....	47
3.4.4.3.	Elaboración y curado de probetas de concreto.....	49
3.4.4.4.	Determinación del módulo de elasticidad estático del concreto .....	49
3.5.	TÉCNICAS E INSTRUMENTACIÓN PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS .....	50
3.6.	TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS .....	50
3.7.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....	50
3.7.1.	Resultados de las propiedades físico-mecánicas de los agregados.....	50
3.7.2.	Resultado de los diseños de mezclas .....	51
3.7.3.	Resultado de la resistencia a compresión .....	52
3.7.4.	Módulo de elasticidad según ASTM C 469-02 y la norma E.060.....	52
	CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	54
4.1.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE LOS AGREGADOS ...	54
4.1.1.	Propiedades físicas y mecánicas de los agregados .....	54
4.2.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE DISEÑOS DE MEZCLAS .....	54

4.3.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN.....	55
4.4.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD SEGÚN ASTM C 469-02 Y LA NORMA E.060 .....	55
4.5.	CONTRASTACIÓN CON LA HIPÓTESIS .....	56
4.6.	CONTRASTACIÓN CON ANTECEDENTE TEÓRICOS.....	57
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		58
5.1.	CONCLUSIONES .....	58
5.2.	RECOMENDACIONES.....	58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		59
APÉNDICE .....		61
ANEXOS .....		97



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva de resistencia a la compresión en función del tiempo .....	22
Figura 2. Diagrama típico esfuerzo vs deformación unitaria del concreto.....	23
Figura 3. Curva característica del Módulo de Elasticidad.....	24
Figura 4. Límites granulométricos para el agregado grueso .....	29
Figura 5. Diagrama de flujo del procedimiento usado en la investigación .....	35
Figura 6. Contenido de aire .....	48
Figura 7. Ensayo de propiedades físico-mecánicas de agregados (granulometría).....	97
Figura 8. Ensayo de propiedades físico-mecánicas de agregados (peso unitario) .....	97
Figura 9. Medición de asentamiento para probetas de estudio.....	98
Figura 10. Llenado de probetas de estudio .....	98
Figura 11. Golpeo con martillo de goma durante el llenado en probetas de estudio.....	99
Figura 12. Elaboración de probetas de estudio.....	99
Figura 13. Refrentado de probetas con pasta de cemento .....	100
Figura 14. Desmolde de probetas de estudio.....	100
Figura 15. Ensayo de probetas de estudio .....	101
Figura 16. Rotura de probetas de estudio .....	101
Figura 17. Ensayo de probeta midiendo la deformación unitaria.....	102
Figura 18. Probetas de estudio ensayadas .....	102

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Módulo de fineza de la combinación de agregados.....	30
Tabla 2. Coordenadas UTM de la planta trituradora de los agregados en estudio .....	32
Tabla 3. Distribución de la muestra.....	34
Tabla 4. Tamaño de la muestra de agregado para el ensayo de contenido de humedad	36
Tabla 5. Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso, ensayo de granulometría	37
Tabla 6. Capacidad de recipientes .....	38
Tabla 7. Cantidad mínima de muestra para la determinación de materiales más finos que pasan por el tamiz No. 200.....	40
Tabla 8. Masa de acuerdo a la gradación de la muestra para el ensayo de abrasión .....	41
Tabla 9. Gradación de las muestras para el ensayo de abrasión.....	41
Tabla 10. Masa mínima a usar para el ensayo de densidad relativa .....	42
Tabla 11. Masa mínima a usar para el ensayo de absorción.....	44
Tabla 12. Relación de agua/cemento por resistencia.....	48
Tabla 13. Agua para diferentes tamaños máximos nominales de agregados y asentamientos.....	48
Tabla 14. Propiedades físico - mecánicas de los agregados .....	51
Tabla 15. Materiales de diseño corregidos por metro cúbico.....	51
Tabla 16. Resistencia a compresión del concreto a los 28 días para diferentes TMN de agregado grueso .....	52
Tabla 17. Módulo de elasticidad estático del concreto a 28 días según ASTM C469 ...	52
Tabla 18. Módulo de elasticidad del concreto a los 28 días según norma E.060 .....	53

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Dosificación de materiales para concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ .....	51
Gráfico 2. Resistencia a compresión del concreto $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ a los 28 días.....	52
Gráfico 3. Módulo de elasticidad estático del concreto $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ según ASTM C 469-02 a los 28 días .....	52
Gráfico 4. Módulo de elasticidad del concreto a los 28 días según norma E.060.....	53
Gráfico 5. Comparación del módulo de elasticidad del concreto obtenido mediante la Norma ASTM C469-02 y la Norma E.060.....	53
Gráfico 6. Curva granulométrica del ensayo 01 .....	61
Gráfico 7. Curva granulométrica del agregado fino, ensayo 02.....	62
Gráfico 8. Curva granulométrica del agregado fino, ensayo 03.....	63
Gráfico 9. Curva granulométrica agregado grueso TMN 1", ensayo 01 .....	66
Gráfico 10. Curva granulométrica agregado grueso TMN 1", ensayo 02.....	67
Gráfico 11. Curva granulométrica agregado grueso TMN 1", ensayo 03.....	68
Gráfico 12. Curva granulométrica agregado grueso TMN 3/4", ensayo 01 .....	69
Gráfico 13. Curva granulométrica agregado grueso TMN 3/4", ensayo 02.....	70
Gráfico 14. Curva granulométrica agregado grueso TMN 3/4", ensayo 03.....	71
Gráfico 15. Curva granulométrica agregado grueso TMN 1/2", ensayo 01 .....	72
Gráfico 16. Curva granulométrica agregado grueso TMN 1/2", ensayo 02.....	73
Gráfico 17. Curva granulométrica agregado grueso TMN 1/2", ensayo 03.....	74

## RESUMEN

El módulo de elasticidad es un parámetro muy importante dentro del diseño estructural, sin embargo la norma E.060 relaciona este valor solo con la resistencia del concreto y no toma en cuenta el tamaño máximo nominal del agregado grueso generando incertidumbre sobre la subestimación o sobreestimación de este valor la cual repercute enormemente en la calidad y durabilidad de las estructuras, es por ello que la presente investigación tiene como objetivo principal evaluar cómo influye el tamaño máximo nominal de los agregados grueso (1/2", 3/4" y 1") en el módulo de elasticidad estático del concreto  $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$  en la ciudad de Cajamarca, para lo cual, se llevaron a cabo ensayos usando agregados de la cantera Aguilar provenientes del río Cajamarquino; se fabricaron 21 especímenes de cada tamaño de agregado teniendo un total de 63 probetas que fueron sometidas a ensayos de compresión a los 28 días para medir el módulo de elasticidad estático, los resultados mostraron que las probetas elaboradas con agregado de TMN de 1/2" obtuvieron un valor promedio de  $214890.70 \text{ kg/cm}^2$  siendo superior en comparación con aquellos fabricados con agregados de TMN de 3/4" con un valor de  $200949.95 \text{ kg/cm}^2$  y  $187414.621 \text{ kg/cm}^2$  para 1", teniendo una variación de -6.49% y -12.79% para TMN de 3/4" y 1" respectivamente comparándolo con el de 1/2", de la misma manera, presentan también un variación entre -30% y -37% con respecto a la norma E.060, llegando a la conclusión que el tamaño máximo nominal del agregado grueso influye de manera negativa en el módulo de elasticidad estático del concreto ya que a medida que aumenta el tamaño del agregado el valor del módulo de elasticidad estático va disminuyendo.

**Palabras clave:** Módulo de elasticidad estático, Tamaño Máximo Nominal, agregado grueso, resistencia a la compresión, diseño de mezclas.

## ABSTRACT

The modulus of elasticity is a very important parameter in structural design. However, the E.060 standard relates this value solely to the compressive strength of the concrete and does not consider the nominal maximum size of the coarse aggregate, leading to uncertainty regarding the underestimation or overestimation of this value, which significantly affects the quality and durability of structures. Therefore, the main objective of this research is to evaluate how the nominal maximum size of coarse aggregates (1/2", 3/4", and 1") influences the static modulus of elasticity of concrete with  $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$  in the city of Cajamarca. For this, tests were carried out using aggregates from the Aguilar quarry, sourced from the Cajamarquino river. A total of 21 specimens were made for each aggregate size, with a total of 63 specimens, which were subjected to compression tests at 28 days to measure the static modulus of elasticity. The results showed that the specimens made with 1/2" nominal maximum size aggregate achieved an average value of  $214,890.70 \text{ kg/cm}^2$ , which was higher compared to those made with 3/4" aggregates, with a value of  $200,949.95 \text{ kg/cm}^2$ , and  $187,414.621 \text{ kg/cm}^2$  for 1". There was a variation of -6.49% and -12.79% for 3/4" and 1" nominal maximum size aggregates, respectively, compared to the 1/2" aggregate. Additionally, the results showed a variation of -30% and -37% compared to the E.060 standard. The conclusion is that the nominal maximum size of coarse aggregates negatively influences the static modulus of elasticity of concrete, as the modulus of elasticity decreases as the aggregate size increases.

**Keywords:** Static modulus of elasticity, Nominal Maximum Size, coarse aggregate, compressive strength, mix design.

## CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el diseño estructural, el comportamiento del concreto bajo cargas es fundamental para garantizar la seguridad y durabilidad de las edificaciones. El módulo de elasticidad del concreto es un parámetro crítico que afecta la deformación, el comportamiento ante cargas permanentes y la distribución de esfuerzos en estructuras de concreto (Vakhshouri y Nejadi, 2018). Este valor está influenciado por varios factores, entre ellos, el tamaño máximo nominal (TMN) del agregado grueso, que afecta directamente la rigidez y la resistencia del concreto (Sun y Fanourakis, 2022).

En investigaciones previas han demostrado que el TMN del agregado grueso puede afectar tanto a la resistencia a la compresión como la rigidez del concreto lo que impacta directamente en su módulo de elasticidad (Kumar y Monteiro (2014), así mismo el uso de agregados más grandes en la elaboración del concreto es común en proyectos debido a la disponibilidad y la percepción de que agregados de mayor tamaño mejoran la resistencia mecánica y reducen costos al disminuir la pasta de cemento requerida (Meththa y Monteiro, 2014). No obstante estudios como Taico (2020) sugiere que agregados más grandes, como el de 1", pueden resultar en una menor compactación del concreto, generando una matriz menos homogénea que afecta la transmisión de esfuerzo, lo que podría reducir su módulo de elasticidad en comparación con agregados de menor tamaño, como 3/4" o 1/2".

Para el diseño de estructuras las normativas internacionales como el ACI 318 establecen ecuaciones empíricas que relacionan la resistencia a la compresión del concreto con su módulo de elasticidad, sin embargo, estas ecuaciones no consideran de manera explícita las variaciones con respecto al TMN del agregado grueso (Haaman y Huamán, 2020).

En América latina, Serpa y Vásquez (2018) mencionan que en Ecuador han adoptado las fórmulas empíricas propuestas por el ACI para estimar el módulo de elasticidad del concreto, la cual ha presentado una variabilidad importante en diferentes partes del mundo, teniendo como principal factor los agregados. De igual modo, también ha identificado una variabilidad entre el 80% y 120% de los valores medidos del módulo de elasticidad.

A nivel nacional, Ruiz (2021) menciona que en el Perú no se tienen estudios propios del módulo de elasticidad del concreto ( $E_c$ ) y que se emplea la fórmula americana la cual podría darnos valores erróneos respecto a este parámetro. Esta fórmula se presenta en la Norma E.60 Concreto Armado del Reglamento Nacional de edificaciones (2020), la cual tiene como valor de  $E_c = 15000\sqrt{f'_c}$  para concretos de peso unitario normal; es importante mencionar que este estudio fue realizado por el American Concrete Institute (2015) con agregados de su propio territorio.

En la ciudad de Cajamarca, la falta de estudios específicos sobre como el TMN del agregado grueso puede afectar el módulo de elasticidad del concreto genera incertidumbre en los diseños estructurales; en la práctica se tiende a utilizar tamaños de agregados basados en la disponibilidad o conveniencia sin considerar adecuadamente las implicaciones en el comportamiento mecánico del concreto. Esto puede derivar diseños conservadores o, por el contrario, estructuras con insuficiente capacidad para soportar cargas de diseño lo que compromete su durabilidad y seguridad a largo plazo.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuál es la influencia del tamaño máximo nominal del agregado grueso en el módulo de elasticidad estático del concreto  $f'_c=210\text{kg/cm}^2$  en la ciudad de Cajamarca?

## **1.3. HIPÓTESIS GENERAL**

El tamaño máximo nominal del agregado grueso influye de manera negativa en el módulo de elasticidad estático del concreto  $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$  en la ciudad de Cajamarca.

## **1.4. JUSTIFICACIÓN**

La presente investigación contribuye al ámbito académico al abordar una limitación en la normativa E.060, que no considera el tamaño máximo nominal del agregado grueso para determinar el módulo de elasticidad del concreto.

También este estudio proporciona valores reales del módulo de elasticidad estático del concreto los cuales ayudaran a tener diseños estructurales más óptimos.

## **1.5. ALCANCES O DELIMITACIÓN**

La investigación se desarrolló en la ciudad de Cajamarca dentro de las instalaciones del laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca entre los meses de marzo y mayo.

Para la obtención del módulo de elasticidad estático del concreto se usaron agregados provenientes del río Cajamarquino los cuales son procesados en la cantera Aguilar que está ubicada en Baños del Inca; se usaron tres tamaños máximos nominales de agregado grueso de 1/2", 3/4" y 1" y cemento Pacasmayo Tipo I (ASTM 150).

## **1.6. LIMITACIONES**

No se realizó el estudio del módulo de elasticidad dinámico del concreto

## **1.7. OBJETIVOS**

### **1.7.1. Objetivo general**

- Evaluar la influencia del tamaño máximo nominal del agregado grueso en el módulo de elasticidad estático del concreto  $f'_c=210$  kg/cm<sup>2</sup> en la ciudad de Cajamarca

### **1.7.2. Objetivos específicos**

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados de la cantera Aguilar provenientes del río Cajamarquino.
- Elaborar diseño de mezclas para concreto de resistencia 210 kg/cm<sup>2</sup> con tamaño máximo nominal de 1/2", 3/4" y 1".
- Determinar la resistencia a compresión del concreto  $f'_c= 210$  kg/cm<sup>2</sup> para cada tamaño máximo nominal del agregado grueso (1/2", 3/4" y 1") a los 28 días
- Determinar el módulo de elasticidad estático del concreto  $f'_c= 210$  kg/cm<sup>2</sup> para cada tamaño máximo nominal del agregado grueso (1/2", 3/4" y 1") a los 28 días.
- Comparar el módulo de elasticidad estático obtenido en laboratorio con la fórmula mostrada en la Norma E.060

## **1.8. VARIABLES**

### **1.8.1. Variables dependientes**

- Módulo de elasticidad estático del concreto

### **1.8.2. Variables independientes**

- Tamaño máximo nominal de 1/2", 3/4" y 1" de agregado grueso de la cantera Aguilar provenientes del río Cajamarquino de la ciudad de Cajamarca



## 1.9. DESCRIPCIÓN DE LOS CAPÍTULOS

- **Capítulo I: Introducción**

El problema, la justificación, los alcances o delimitación, las limitaciones, los objetivos, la hipótesis y las variables de la investigación.

- **Capítulo II: Marco Teórico**

Antecedentes teóricos internacional, nacionales y locales de investigaciones realizadas las cuales tengan similitud con el tema tratado, así mismo, se presentan las bases teóricas y definición de términos los cuales tienen relación con las variables de la investigación.

- **Capítulo III: Materiales y Métodos**

Ubicación geográfica de la cantera de donde han sido obtenidos los agregados, también, el intervalo de tiempo en la cual ha sido posible el desarrollo de la investigación, así mismo, se describe el procedimiento, las técnicas y métodos empleados en la recolección, el análisis y procesamiento de los datos.

- **Capítulo IV: Análisis y Discusión de Resultados**

Resultados obtenidos describiéndolos y explicándolos de acuerdo a los objetivos planteados y a otros trabajos realizados.

- **Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones**

Conclusiones de acuerdo a los objetivos planteados y las recomendaciones para futuras investigaciones en torno al planteamiento del problema presentado.

- **Apéndice**

- **Anexos**

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. ANTECEDENTE TEÓRICOS

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

En Colombia, Orozco (2016) en su trabajo de investigación titulado “Determinación de la relación de Poisson y Módulo de Elasticidad para concretos de 21 y 28 Megapascales en concretos de la ciudad de Villavicencio” tuvo como objetivo evaluar el comportamiento de los valores del módulo de elasticidad y relación de Poisson en concretos de resistencia de 21 y 28 Mega Pascales utilizados en obras en la ciudad de Villavicencio, Meta, el tipo de investigación fue netamente experimental y utilizó 42 probetas para la obtención del módulo de elasticidad ensayándolas 21 probetas a los 14 días y 21 probetas a los 28 días. Para el diseño de mezclas tubo como TMN 3/4" encontrando como resultados para 14 días un valor del módulo de elasticidad de 19192.27 Mpa y para 28 días un valor del módulo de elasticidad de 20543.90 Mpa.

Según Flores (2020), en su trabajo de investigación “Análisis del módulo de elasticidad estático del hormigón estructural en base a su resistencia a la compresión, fabricado con materiales de las minas Trópico de Capricornio y Santa Isabel, ubicadas en el sector el Barranco Cantón Mera en la Provincia de Pastaza” realizada en Ecuador, tuvo como objetivo determinar las propiedades físico mecánicas fundamentales de los agregados de las minas “Trópico de Capricornio” y “Santa Isabel” requeridas para la dosificación de hormigón, realizó el diseño de mezclas para una resistencia de 21 Mpa teniendo como TMN 3/4" para ambas canteras, elaborando 9 probetas para realizar el ensayo de módulo de elasticidad estático obteniendo como resultado un valor de  $E=20805.79$  Mpa y un porcentaje de variación del 16% comparándolo con el módulo de elasticidad estático de acuerdo al ACI 318-14 para la cantera de Santa Isabel, así mismo obtuvo un valor de  $E=22931.55$  Mpa y un porcentaje de variación del 15% comparándolo con el módulo de elasticidad estático de acuerdo al ACI 318-14 para la cantera Trópico de Capricornio. Concluyendo que el módulo de elasticidad estático del hormigón no solo depende de la resistencia a la compresión del concreto sino también de las propiedades físico mecánicas de los agregados que lo componen, además, también encontraron que los valores encontrados en laboratorio difieren de los valores del código ACI 318-14.

Serpa y Vázquez (2018) en su trabajo de investigación titulado “Determinación del módulo de elasticidad y la resistencia a compresión del hormigón en función de la

variabilidad y caracterización de los agregados” realizada en Ecuador, tuvieron como objetivo determinar el módulo de elasticidad y la resistencia a compresión del hormigón en función de la variabilidad y caracterización de los agregados. El método de basó en realizar 12 tipos de hormigón en función del agregado más utilizado por las hormigoneras de cuenca, relación agua cemento y la relación agregado fino agregado grueso. Los datos fueron procesados mediante un análisis de varianzas para determinar si los factores ejercen efectos sobre las variables. El diseño de mezcla se realizó para una resistencia de 21 Mpa teniendo como TMN 3/4", el resultado del módulo de elasticidad estático promedio del concreto fue de  $E=25906.92$  Mpa. Finalmente concluyeron que la relación agregado fino agregado grueso influye significativamente en el módulo de elasticidad.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Según Neira (2023) en su trabajo de investigación “Estudio del Módulo de Elasticidad del Concreto en la Región Lambayeque” tuvo como objetivo principal estudiar el comportamiento del módulo de elasticidad del concreto  $f'c=175$  kg/cm<sup>2</sup>;  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>;  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup> utilizando una metodología de enfoque experimental para ello evaluó 5 canteras de la región Lambayeque encontrando que la cantera con mejores resultados fue la denominada Tres Tomas. El diseño de mezclas para esta cantera fue realizado con un TMN de 3/4" ensayando 6 probetas solo para la obtención del módulo de elasticidad, los resultados obtenidos para los valores del módulo de elasticidad a los 28 días de curado del concreto fueron de 181063.9 kg/cm<sup>2</sup>, 1947795 kg/cm<sup>2</sup> y 246811.2 kg/cm<sup>2</sup> para los diseños de mezcla de  $f'c=175$  kg/cm<sup>2</sup>;  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>;  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

Haaman y Huamán (2020) en su trabajo de investigación titulado “Evaluación y Comparación del Módulo de Elasticidad del Concreto ( $E_c$ ) en el Tiempo en la Ciudad de Arequipa” tuvo como objetivo evaluar y comparar experimentalmente el módulo de elasticidad estático a compresión de muestras cilíndricas de concreto, estas fueron fabricadas con materiales característicos de la ciudad de Arequipa (Cemento Yura, Cemento Mishky, Cementos Wari, Arena gruesa y Piedra chancada de 3/4" de las canteras: La Poderosa, Chiguata y San Lázaro) y ensayados bajo la Norma ASTM C-469, logró comparar dichos resultados con el Reglamento Nacional de Edificaciones E. 0.60 y analizó el módulo de elasticidad del concreto en el tiempo de fraguado (3,7 y 28 días).

La obtención de datos se realizó de forma experimental haciendo uso de la Norma ASTM-C-469 y los cálculos según el Reglamento Nacional de Edificaciones E 0.60, para la

investigación se analizaron 432 testigos de concreto llegando a los siguientes resultados: Del cálculo del módulo de elasticidad a 28 días para las resistencias a la compresión de  $f'_c$  210 kg/cm y  $f'_c$  280 kg/cm se identificó que el agregado de la cantera de La Poderosa es el que tuvo mayor rendimiento, ya que se obtuvo valores mayores al módulo de elasticidad obtenido teóricamente con la fórmula brindada por la norma E 0.60 en un rango de +20% a +38%, sin embargo el agregado de la cantera de San Lázaro tuvo menor rendimiento ya que obtuvo valores menores en un rango de -8% a -21%, también, identificó que el agregado de la cantera La Poderosa en combinación con el cemento Yura tipo HE para las resistencias a la compresión de diseño de  $f'_c=210$  kg/cm<sup>2</sup> y  $f'_c=280$  kg/cm<sup>2</sup> a 28 días de edad, tuvo el mayor rendimiento en cuanto al cálculo del módulo de elasticidad ya que este aumenta en +37.63% y +37.77% respectivamente del módulo de elasticidad teórico aplicando la fórmula brindada por la E 0.60, sin embargo, el agregado de la cantera de San Lázaro en combinación con el cemento Frontera IP tuvo el menor rendimiento en cuanto al cálculo del módulo de elasticidad ya que este disminuye en -19.40% y -21.65%.

Vargas (2017) en su trabajo de investigación titulado “Determinación de la Ecuación del módulo de elasticidad del concreto en base a la resistencia a la compresión simple. Elaborado con los agregados de las canteras Isla y Yocara de la ciudad de Juliaca” tuvo como objetivo ajustar la ecuación del módulo de elasticidad del concreto de acuerdo a nuestra realidad, para la elección de los materiales usó las canteras Isla y Yocara ya que son las más usadas en el medio, así mismo para el diseño de mezclas usó el método ACI con un TMN del agregado grueso de 1 ½” para la cantera Yocara y 1” como TMN del agregado grueso para la cantera Isla. Para la obtención del valor del módulo de elasticidad realizó 20 probetas llegando a los siguientes resultados: para la cantera Isla un valor de 13330.23 MPa y para las canteras Yocara 11347.77 MPa. Concluyendo que existe variación en el valor del módulo de elasticidad comparando los ensayos de laboratorio con la fórmula propuesta por el ACI 318 del 58% y 52.52% para la cantera Isla y la Cantera Yocara respectivamente.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Tamaño máximo nominal del agregado grueso**

Según la NTP 400.037 (2020) es un parámetro que se deriva del análisis granulométrico y se define como el menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido. La mayoría de los especificadores granulométricos se dan en función del tamaño máximo nominal, así mismo, este parámetro afecta las proporciones relativas de los agregados, así como la demanda de agua y de cemento, trabajabilidad, bombeabilidad, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto.

La norma E.060 menciona que el tamaño máximo nominal del agregado grueso no debe ser superior a ninguna de:

- a)  $1/5$  de la menor separación entre los lados del concreto.
- b)  $1/3$  de altura de la losa, de ser el caso.
- c)  $3/4$  del espaciamiento mínimo libre entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones individuales, paquetes de tendones o ductos.

### **2.2.2. Concreto**

Cordero et al. (2019) define al concreto como un material compuesto, cemento Portland y las partículas agregadas son, por lo general arena y grava. La mezcla se hace en presencia de agua y en algunas ocasiones, también se adicionan aditivos para conseguir ciertas propiedades. Es un material de gran durabilidad y con alta resistencia a la compresión y baja resistencia a la tracción. Las propiedades mecánicas y la resistencia final de concreto están relacionadas con los componentes que se agreguen a la mezcla, sus cantidades y con el control que se tenga del proceso de fraguado.

### **2.2.3. Propiedades de concreto fresco**

Porrero et al. (2014) mencionan que el concreto fresco es el material mientras permanece en estado fluido, es decir desde el momento cuando todos los componentes son mezclados hasta que se inicia el endurecimiento de la masa (periodo plástico).

Niño (2018) el concreto fresco tiene las siguientes propiedades:

#### ***2.2.3.1. Trabajabilidad o manejabilidad***

Es aquella que determina cual es el trabajo utilizado a vencer la fricción entre los componentes del concreto, entre el encofrado y el refuerzo para lograr una compactación

adecuada. En otras palabras, es la capacidad que tiene para ser colocado y compactado apropiadamente sin que se produzca segregación alguna.

Las propiedades tales como cohesión y adhesión son las que determinan el grado de manejabilidad y usualmente son juzgadas por examen visual y manipulación del concreto con herramientas para dar acabados. El ensayo de asentamiento es el más conocido para determinar la trabajabilidad y este se realiza a través del Cono de Abrams.

#### ***2.2.3.2.Segregación***

Se define como la tendencia de separación de las partículas gruesas de la fase mortero del concreto y la colección de esas partículas deficientes de mortero en el perímetro del concreto colocado, esto por su falta de posesividad, con lo cual su distribución y comportamiento deja de ser uniforme y homogéneo. Esto conduce a que la segregación sea una condición implícita del concreto para mantener una trabajabilidad adecuada.

La segregación se puede presentar de do formas. Una de ellas ocurre cuando se usan mezclas pobres y demasiado secas, de tal manera que las partículas gruesas tienden a separarse, bien sea, porque se desplazan a lo largo de una pendiente o poque se asientan más que las partículas finas. El segundo tipo se presenta particularmente en mezclas húmedas, y se manifiesta por la separación de una parte de los agregados

#### ***2.2.3.3.Exudación o sangrado***

Es una forma de segregación o sedimentación, en la cual parte del agua de mezclado tiende a elevarse a la superficie de una mezcla de concreto recién colocado. Esto se da debido a que los constituyentes sólidos de la mezcla no pueden retener toda el agua cuando se asientan durante el proceso de fraguado.

La exudación del concreto está influenciada por las propiedades de la mezcla y las características de los materiales, el contenido de aire, el uso de aditivos convencionales o minerales y particularmente por la angularidad gradación de los agregados.

#### ***2.2.3.4.Masa unitaria***

La masa unitaria del concreto fresco depende del tamaño máximo, granulometría y densidad de los agregados, así mismo de la cantidad de aire atrapado e incorporado del contenido de agua y cemento.

La densidad y la cantidad de cada agregado afecta la masa unitaria del concreto en estado fresco cuando estos son de muy alta porosidad, la masa unitaria del concreto puede variar dependiendo del grado de saturación de los agregados antes de la mezcla.

## 2.2.4. Propiedades del concreto endurecido

### 2.2.4.1. Resistencia a la compresión

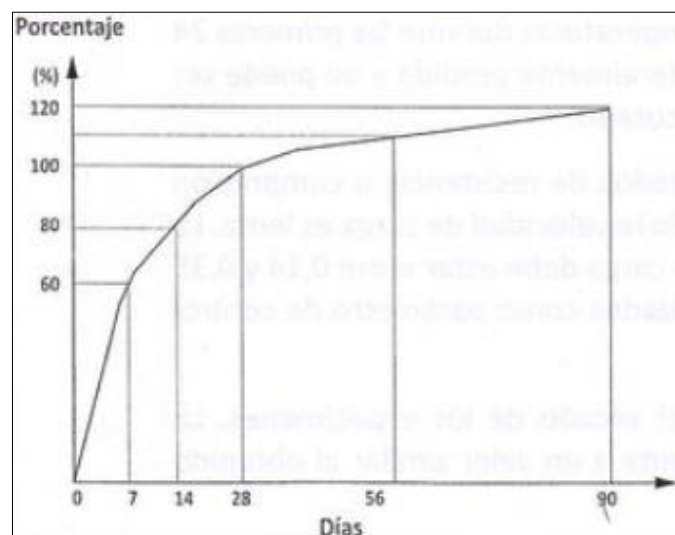
En términos generales, la gran mayoría de estructuras de concreto son diseñadas bajo la suposición de que este resiste únicamente esfuerzos de compresión, por consiguiente, para propósitos de diseño estructural, la resistencia a la compresión es el criterio de calidad, y de allí que los esfuerzos de trabajo estén prescritos por los códigos en términos de porcentajes de la resistencia.

La resistencia a la compresión se mide con una prensa, que aplica carga sobre la superficie superior del cilindro a una velocidad especificada mientras ocurre la falla. La operación tarda entre 2 y 3 minutos y la carga a la que falla queda registrada en un tablero anexo a la máquina; este valor se divide por el área de la sección transversal del cilindro obteniéndose así el esfuerzo de rotura del concreto (Niño, 2018).

$$f'c = \frac{P_{max}}{\text{Área}}$$

Se toma como base la resistencia máxima a la compresión a los 28 días, el aumento promedio de la resistencia con el tiempo es como se muestra en la figura 2.

Figura 1. Curva de resistencia a la compresión en función del tiempo



Fuente: Niño (2018).

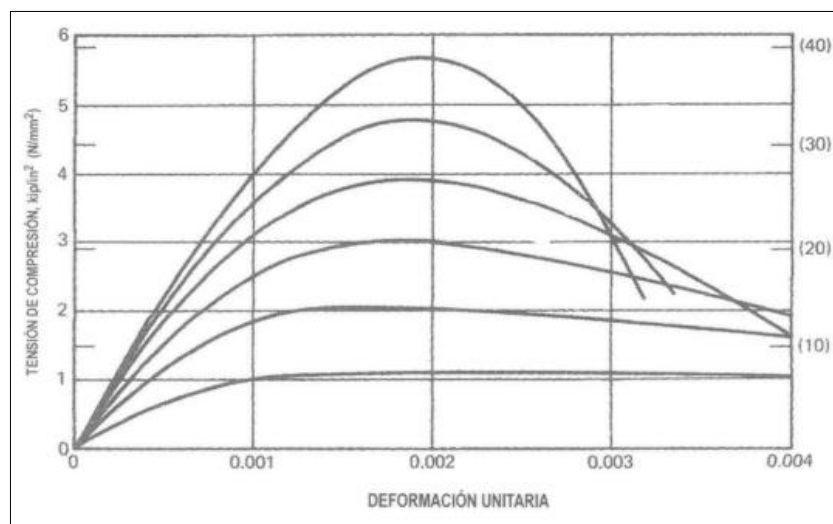
#### **2.2.4.2. Peso unitario**

El peso unitario, peso específico y las variaciones de estas designaciones, se refieren al peso del material por unidad de volumen. Es igual a la masa del concreto recién mezclado, menos el agua evaporable. El líquido que permanece en el concreto es que se combina químicamente con el cemento y el que bajo condiciones normales no se evapora, permaneciendo retenida herméticamente en los poros y capilares, la cantidad de agua evaporable a una humedad relativa del 50, es del orden del 2.5% de la masa del concreto y depende del contenido inicial de agua de las características de absorción de los agregados y del tamaño de la estructura (Niño, 2018)

#### **2.2.4.3. Relación esfuerzo – deformación**

Según Porrero et al. (2014) una de las propiedades más importantes del concreto, es su deformabilidad bajo esfuerzos de compresión. Esta se obtiene por medio de ensayos a la compresión, en los cuales se incrementa el esfuerzo y se mide el cambio de longitud  $\Delta L$  de una base de medición  $L_0$ ; el cociente  $\Delta L/L_0$  se designa como  $\epsilon$  y se denomina deformación unitaria.

*Figura 2. Diagrama típico esfuerzo vs deformación unitaria del concreto*



Fuente: Porrero et. Al (2014)

#### **2.2.4.4. Módulo de elasticidad**

Porrero et al. (2014) menciona lo siguientes acerca del módulo de elasticidad del concreto:



Se denomina módulo de elasticidad ( $E_c$ ) a la relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación unitaria producida. El esfuerzo se mide en  $\text{kg/cm}^2$  y la deformación unitaria ( $\epsilon$ ) es adimensional ( $\text{mm/mm}$ ), por lo que las unidades del módulo son las mismas que las del esfuerzo. Además de su comportamiento elástico, los materiales pueden presentar en algún tramo de la curva representativa otro comportamiento inelástico, en el cual la deformación producida por la carga no desaparece totalmente al efectuar la descarga.

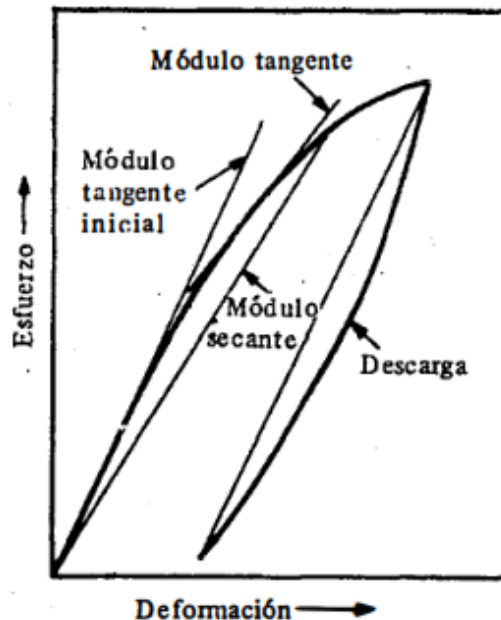
- a) Módulo tangente en el origen: este módulo se define como la pendiente de la recta tangente a la curva en ese punto.

$$E_c = \frac{d\sigma}{d\epsilon}$$

- b) Módulo secante: es la pendiente de la recta que pasa por el origen y corta a la curva en dicho punto.

$$E_c = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Figura 3. Curva característica del Módulo de Elasticidad



Fuente: Neville (2014)

#### 2.2.4.5. Variables que afectan el Módulo de Elasticidad

La velocidad de aplicación de la carga, la cual afecta, de manera importante y en el mismo sentido, la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad estático; esta es la razón por lo cual en las normas de ensayo se establecen límites a dicha velocidad. El reacomodo de las partes internas del concreto requiere un cierto tiempo, pues no se efectúa de manera

instantánea, por lo que, al cargarlo en forma rápida, aparenta mayor resistencia y módulo de elasticidad.

El tipo de agregado, especialmente el grueso, también influye en el módulo de elasticidad. A igual de resistencias, los agregados que tienen más altos módulo de elasticidad producen concretos que también los tienen más altos. Los granitos y los cuarzos dan módulos más altos que las calizas y esquistos. Finalmente, la humedad también afecta el módulo de elasticidad, aumenta el estático al igual que las resistencias (Porrero et al., 2014).

#### **2.2.4.6. Fórmulas y métodos para determinar el Módulo de Elasticidad**

La Norma Técnica Peruana en la Norma E.060 recomienda usar las siguientes fórmulas para estimar el módulo de elasticidad del concreto:

Para concretos de peso unitario comprendido entre 1450 y 2500 kg/cm<sup>2</sup>:

$$E_c = wc^{1.5} 0.136 \sqrt{f'_c}$$

Para concretos de peso unitario normal ( $wc \approx 2300$  kg/cm<sup>2</sup>):

$$E_c = 15000 \sqrt{f'_c}$$

Estas ecuaciones solo están en función del peso unitario y de la resistencia del concreto, no consideran el tamaño del agregado grueso.

Así mismo la norma ASTM C-469 brinda un método experimental para hallar el módulo de elasticidad estático del concreto, la cual se resume en la siguiente fórmula.

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0.000050}$$

Donde:

- $E_c$ : módulo de elasticidad del concreto
- $S_2$ : esfuerzo correspondiente al 40% de la carga última
- $S_1$ : esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria de 0.000050
- $\epsilon_2$ : deformación unitaria producida por el esfuerzo  $S_2$ .

## **2.2.5. Componentes del concreto**

### **2.2.5.1. Cemento Portland**

Se refiere al cemento hidráulico de silicato de calcio, producido por el calentamiento de los materiales que contienen calcio, silicio, aluminio y hierro (Portland Cement Association 2016).

- **Cemento Portland Tipo I:** es el tipo más común de cemento Portland y es ampliamente utilizado en una variedad de aplicaciones de construcción. Se clasifica como un cemento de uso general y se emplea en estructuras de concreto donde no se requieren propiedades especiales, como alta resistencia a sulfatos o resistencia a altas temperaturas.

### **2.2.5.2. Agregados**

Según Cordero et al. (2019) el 70% del concreto es ocupado por los agregados, estos comúnmente son de origen natural obtenidos a través del procesamiento de rocas como lo son la arena y la grava. De acuerdo con el origen de los agregados, su composición, tamaño de sus partículas, forma y densidad, estos difieren de una fuente a otra; de ahí la importancia de estudiar detenidamente los materiales previamente al diseño de la mezcla, pues estos, al conformar la mayor parte del cuerpo del concreto, deben a su vez aportar una resistencia propia suficiente para garantizar la resistencia a las que estará sometido el elemento.

La NTP 400.011 (2020) menciona lo siguiente:

#### **a) Agregado grueso**

Agregado retenido en el tamiz normalizado 4.75 mm (No. 4) que cumple los límites establecidos en la NTP 400.037, proveniente de la disgregación natural o artificial de la roca.

#### **b) Agregado fino**

Es el agregado proveniente de la desintegración natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 9.5 mm (3/8 pulg) y queda retenido en el tamiz normalizado 75  $\mu$ m (No. 200) y que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037.

### **2.2.5.3. Agua**

El agua, en conjunto con el cemento, forma una pasta aglutinante que embebe las partículas de agregado para la conformación del concreto al desarrollar sus propiedades;

así mismo la cantidad de agua adicionada a la mezcla determina la fluidez, trabajabilidad y manejabilidad de la misma. Se considera que la cantidad de agua necesaria para la hidratación del cemento está entre el 25% y el 30%, sin embargo, para que la mezcla tenga un fácil manejo, la adición de agua debe ser riguroso, pues aquella agua que no conforma la pasta cementante que endurece, queda libre en la mezcla, evaporándose normalmente, dejando cierta porosidad en el concreto, lo que a futuro puede afectar su resistencia (Cordero et al. 2019).

#### **2.2.6. Propiedades físicas de agregados**

A continuación, se describen las propiedades físicas de los agregados finos y gruesos necesarias para la investigación, estos conceptos son abordados de acuerdo a

##### ***2.2.6.1. Contenido de humedad***

Es el porcentaje que expresa la cantidad de agua en un material, esta se calcula en función de una muestra seca (NTP 339.115, 2021).

##### ***2.2.6.2. Peso unitario***

La masa unitaria hace referencia a la relación peso entre un volumen determinado, calculada para un material, que varía de acuerdo a si este se encuentra suelto o con algún grado de compactación, por lo que puede suele ser usada para determinar la cantidad en volumen para compra y dosificación (Cordero et al 2019).

##### ***2.2.6.3. Finos que pasan la malla N° 200***

Es la cantidad de material fino (arcillas o limos) del agregado que pasa por el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No 200) (NTP 400.018, 2020).

##### ***2.2.6.4. Resistencia a la abrasión***

Es la resistencia de los agregados frente al desgaste la cual se puede dar manera mecánica, este ensayo se realiza en la máquina de Los Ángeles y posteriormente es tamizado para determinar el porcentaje de desgaste (NTP 400.019, 2020)

##### ***2.2.6.5. Absorción***

Se conoce como absorción al incremento en masa del agregado debido a la penetración de agua en los poros de las partículas durante un periodo de tiempo prescrito sin incluir el agua adherida en la superficie de las partículas, expresado como porcentaje de la masa seca, los valores son usados para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al

agua absorbida en los espacios de poro en el interior de las partículas constituyentes (Cordero et al 2019).

#### ***2.2.6.6.Densidad***

La densidad, de un material se define como la masa por unidad de volumen de un material expresada en  $\text{kg/m}^3$ , para el caso de los agregados puede obtenerse distintos valores en función de la condición en que la masa se esté considerando en el cálculo, pudiéndose encontrar los agregados en las siguientes condiciones:

Densidad relativa (gravedad específica) es la característica generalmente usada para el cálculo de volumen ocupado por el agregado en mezclas de concreto.

Densidad relativa (gravedad específica SSS) se usada en la determinación de la humedad superficial del agregado fino por desplazamiento de agua.

La densidad aparente (gravedad específica aparente) pertenece al material solido de partículas constituyente, no incluyendo el espacio de poros entre partículas que es accesible el agua (Cordero et al 2019).

#### ***2.2.6.7.Análisis granulométrico***

El análisis por tamizado permite conocer la distribución física, por tamaños, de las partículas que componen tanto un agregado fino como uno grueso, conocer su gradación, usada para correlacionar e identificar requisitos específicos de aplicación, suministrando información necesaria para el control de producción de materiales y mezclas hechas a partir de los agregados (Cordero et al 2019)

Figura 4. Límites granulométricos para el agregado grueso

Huso	Tamaño máximo nominal	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados													
		100 mm (4 pulg)	90 mm (3 ½ pulg)	75 mm (3 pulg)	63 mm (2 ½ pulg)	50 mm (2 pulg)	37,5 mm (1 ½ pulg)	25,0 mm (1 pulg)	19,0 mm (¾ pulg)	12,5 mm (½ pulg)	9,5 mm (3/8 pulg)	4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)	1,18 mm (No. 16)	300 µm (No. 50)
1	90 mm a 37,5mm (3 ½ pulg a 1 ½ pulg)	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...	
2	63 mm a 37,5 mm (2 ½ pulg a 1 ½ pulg)	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...	
3	50 mm a 25,0 mm (2 pulg a 1 pulg)	...	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	
357	50 mm a 4,75 mm (2 pulg a No. 4)	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	...	0 a 5	...	...	
4	37,5 mm a 19,0 mm (1 ½ pulg a ¾ pulg)	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	...	0 a 5	...	...	...	
467	37,5 mm a 4,75 mm (1 ½ pulg a No. 4)	...	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	0 a 5	...	...	
5	25,0 mm a 12,5mm (1 pulg a ½ pulg)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...	...	
56	25,0 mm a 9,5 mm (1 pulg a 3/8 pulg)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	...	...	
57	25,0 mm a 4,75mm (1 pulg a No. 4)	...	...	...	...	...	100	95 a 100	...	25 a 60	...	0 a 10	0 a 5	...	
6	19,0 mm a 9,5 mm (¾ pulg a 3/8 pulg)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	...	...	
67	19,0 mm a 4 mm (¾ pulg a No. 4)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	...	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	
7	12,5 mm a 4,75 mm (1/2 pulg a No. 4)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	...	
8	9,5 mm a 2,36 mm (3/8 pulg a No. 8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	
89	12,5 mm a 9,5 mm (1/2 pulg a 3/8 pulg)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	
9 <sup>A</sup>	4,75 mm a 1,18 mm (No. 4 a No. 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	

Fuente. NTP 400.037

### 2.2.7. Diseño de mezclas por el método de módulo de fineza de la combinación de los agregados

Según el Portland Cement Association (2016) el diseño de mezclas es el proceso para la determinación de las cantidades de ingredientes del concreto, usando materiales para lograr características especificadas como, propiedades del concreto fresco, propiedades del concreto endurecido y la inclusión, exclusión o límites de ingredientes específicos. El método de módulo de finura de la combinación de agregados, surge por el cuestionamiento del método de diseño del ACI ya que esta no considera el contenido de pasta en función de la relación agua cemento. El contenido de agregado grueso y agregado fino en el método del módulo de fineza de la combinación de agregados está principalmente en función de la resistencia, la relación agua cemento y del contenido total del agua, la cual está expresado en través de la cantidad de cemento que contiene la mezcla. Para hallar el módulo de fineza de la combinación de agregados se usa la siguiente formula:

$$r_f = \frac{m_g - m}{m_g - m_f}$$

Donde:

m: Módulo de fineza de la combinación de agregados

m<sub>f</sub>: Módulo de fineza del agregado fino

m<sub>g</sub>: Módulo de fineza del agregado grueso

r<sub>f</sub>: Porcentaje de agregado fino en con respecto al volumen total del agregado.

Para determinar el módulo de fineza de la combinación de los agregados de acuerdo al tamaño máximo nominal y al contenido de cemento por sacos, se utiliza la siguiente tabla.

*Tabla 1. Módulo de fineza de la combinación de agregados*

Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso		Módulo de fineza de la combinación de agregados que da las mejores condiciones de trabajabilidad para contenido de cemento en sacos/metro cúbico indicados				
mm	Pulg.	5	6	7	8	9
10	3/8	3.88	3.96	4.04	4.11	4.19
12.5	1/2	4.38	4.46	4.54	4.61	4.69
20	3/4	4.88	4.96	5.04	5.11	5.19
25	1	5.18	5.26	5.34	5.41	5.49
40	1 ½	5.48	5.56	5.64	5.71	5.79
50	2	5.78	5.86	5.94	6.01	6.09
70	3	6.08	6.16	6.24	6.31	6.39

Fuente: Comité ACI 211

### 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

➤ **Módulo de elasticidad:**

La relación entre el esfuerzo y la deformación correspondiente por debajo del límite proporcional.

➤ **Tamaño máximo nominal del agregado grueso.**

Se define como el menor tamiz de la serie utilizada en el análisis granulométrico que produce el primer retenido.

➤ **Concretos  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ :**

Es un concreto diseñado para alcanzar una resistencia a la compresión de 210 kilogramos por centímetro cuadrado ( $\text{kg/cm}^2$ ) a los 28 días de edad, que es el periodo estándar de curado.



## CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

#### 3.1.1. Ubicación geográfica de la investigación

La presente investigación se realizó en la ciudad de Cajamarca en el laboratorio de ensayo de materiales “Carlos Esparza Diaz” de la Universidad Nacional de Cajamarca, ubicada en la Av. Atahualpa N°1050.

#### 3.1.2. Ubicación geográfica de la cantera de estudio

Los agregados usados se obtuvieron de la planta trituradora “Aguilar”, para su obtención los materiales son extraídos de la cantera “Rio Cajamarquino”. La planta trituradora “Aguilar” se encuentra ubicada en el distrito Baños del Inca con coordenadas UTM 779873.74 E y 9208887.32 N.

*Tabla 2. Coordenadas UTM de la planta trituradora de los agregados en estudio*

PLANTA TRITURADORA	COORDENADAS UTM	
	Este	Norte
Aguilar	779873.74	9208887.32

Fuente: elaboración propia.

### 3.2. TIEMPO DE REALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se realizó entre los meses de marzo y mayo del año 2024.

### 3.3. MATERIALES Y EQUIPOS

#### **Materiales:**

Cemento Portland tipo I Pacasmayo, Agregado grueso tamaño máximo nominal de 1/2", 3/4" y 1", agregado fino de la cantera Aguilar y agua potable de la zona.

#### **Equipos e instrumentos:**

Balanza con precisión de 0.001g, estufa con capacidad de mantener una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , recipientes, tamices de 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", No 4, No 8, No 16, No 30, No 50, No 100 y No 200, varilla lisa de apisonado de 5/8", máquina de los Ángeles, picnómetro de 500 ml, placa de vidrio de 6 mm, grasa, termómetro con rango de 10 °C a 32 °C, estos fueron adquiridos y usados de acuerdo a las normas correspondiente.

### 3.4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.4.1. Tipo, nivel y diseño de la investigación

- ✓ **Tipo de investigación:** Aplicada. Debido a que se busca resolver problemas o situaciones en un tiempo determinado.
- ✓ **Nivel de investigación:** Correlacional. Porque busca establecer e identificar un grado de asociación o relación entre la variable dependiente (módulo de elasticidad estático del concreto) y la variable independiente (tamaño máximo nominal del agregado grueso de 1/2", 3/4" y 1")
- ✓ **Diseño:** Experimental. Porque busca verificar la hipótesis mediante la manipulación de las variables.
- ✓ **Enfoque:** Cuantitativa. Ya que se analiza y recopila datos, empleando mediciones y estadísticas.

#### 3.4.2. Método de investigación

El método de investigación fue hipotético – deductivo, ya que se partió de un problema inicial para luego plantear una hipótesis la cual fue comprobado mediante la verificación del estudio en el laboratorio, este proceso se llevó a cabo considerando las variables correspondientes.

#### 3.4.3. Población, muestra, unidad de observación y unidad de análisis

##### ✓ Población

La población estuvo conformada por el conjunto de probetas cilíndricas de concreto con resistencia  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  elaboradas con diferentes tamaños máximos nominales de agregado grueso de río de 1/2", 3/4" y 1".

##### ✓ Muestra

Se consideró realizar probetas de concreto cilíndricas con medidas estándares de diámetro 15 cm y altura 30 cm para pruebas a compresión de donde se halló el módulo de elasticidad. Para la elección del tamaño de la muestra se hizo mediante un muestreo probabilístico usando la siguiente formula.

$$n = \frac{Z_a^2 * p * q}{e^2}$$

Donde:

n: Tamaño de la muestra

$Z\alpha$ : Parámetro estadístico que depende del nivel de confianza

p: Probabilidad de que ocurra el evento estudiado

q: Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado

e: Error de estimación máximo aceptado

Teniendo:

Nivel de confianza (NC) = 93%  $\rightarrow Z\alpha = 1.81$

P = 90%

q = 10%

e = 7%

Reemplazando en la formula se obtiene un tamaño de muestra  $n = 60.17$ , tomando una muestra final de 63 probetas, distribuyéndose de la siguiente manera:

Tabla 3. Distribución de la muestra

Canteras	$f^c = 210$ (kg/cm <sup>2</sup> )	TMN	N° de probetas a ensayar a compresión de acuerdo a la edad (días)	Subtotal
			28	
Cantera "Río Cajamarquino"	Módulo de elasticidad	1/2"	21	21
		3/4"	21	21
		1"	21	21
Total				63

Fuente: elaboración propia.

✓ **Unidad de observación**

Probetas cilíndricas elaboradas con concreto  $f^c=210$  kg/cm<sup>2</sup> las cuales serán sometidas a ensayos para la obtención del módulo de elasticidad

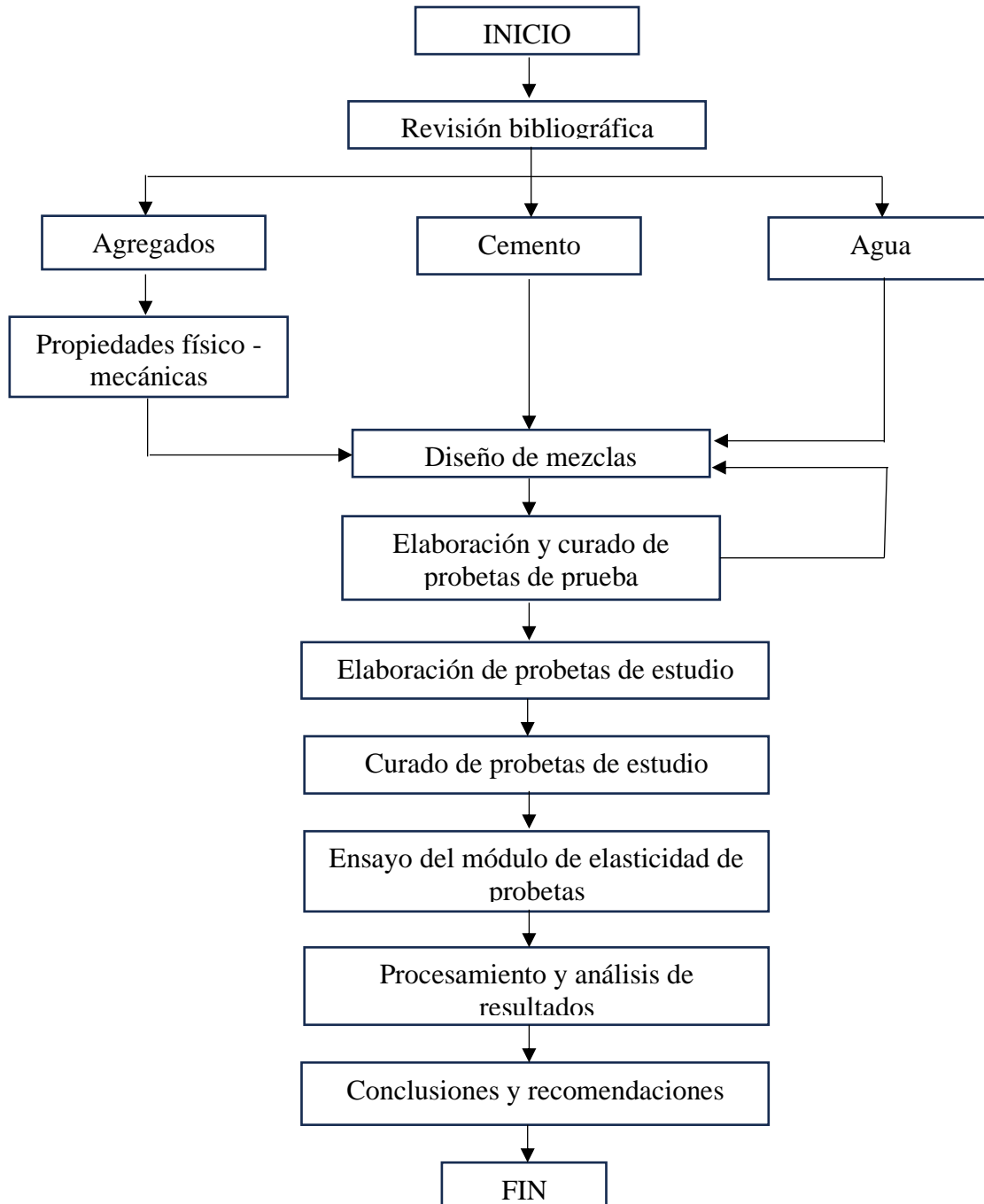
✓ **Unidad de análisis**

El módulo de elasticidad estático de las probetas de concreto  $f^c = 210$ kg/cm<sup>2</sup> con diferentes tamaños máximos nominales de agregado.

### 3.4.4. Procedimiento de la investigación

A continuación, se presenta el diagrama de flujo el cual se siguió para alcanzar los objetivos propuestos, así mismo se describen los procedimientos utilizados para llegar a los objetivos propuestos.

Figura 5. Diagrama de flujo del procedimiento usado en la investigación



Fuente: elaboración propia.

### 3.4.4.1. Propiedades físicas – mecánicas de los agregados

#### 3.4.4.1.1. Contenido de humedad

El ensayo se realizó de acuerdo a la NTP 339.185, el cual describe el método para determinar el porcentaje de humedad evaporable en una muestra de agregado por secado.

#### Muestra de ensayo

Se debe de asegurar una muestra representativa de la fuente de abastecimiento y debe ser elegida según la siguiente tabla.

Tabla 4. Tamaño de la muestra de agregado para el ensayo de contenido de humedad

Tamaño máximo nominal de agregado mm (pulg)	Masa mínima de la muestra de agregado de peso normal en kg
4.75 (No 4)	0.5
9.5 (3/8")	1.5
12.5 (1/2")	2
19.0 (3/4")	3
25.0 (1")	4
37.5 (1 1/2")	6
50 (2")	8
63 (2 1/2")	10
75 (3")	13
90 (3 1/2")	16
100 (4")	25
150 (6")	50

Fuente: NTP 339.185.

#### Procedimiento

Secar la muestra durante 24 horas en un horno a  $110 \pm 5$  °C, luego retirar, dejar enfriar y pesar la muestra.

#### Cálculos

$$p = \frac{100(W - D)}{D}$$

P = Contenido total de humedad evaporable de la muestra en porcentaje.

W = Masa de la muestra húmeda original, en gramos

D = Masa de la muestra seca en gramos.

### 3.4.4.1.2. Análisis granulométrico

El ensayo se realizó de acuerdo a la NTP 400.012, el cual describe el método para determinar la distribución por tamaño de partículas del agregado fino y grueso por tamizado.

#### Muestreo

Para el agregado fino la cantidad mínima de muestra deberá ser 300 g; para el agregado grueso se deberá elegir el tamaño de muestra mediante la siguiente tabla.

Tabla 5. Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso, ensayo de granulometría

Tamaño máximo nominal Aberturas cuadradas, mm (Pulg)	Cantidad de la muestra de ensayo, mínimo kg (lb)
9.5 (3/8)	1 (2)
12.5 (1/2)	2 (4)
19.0 (3/4)	5 (11)
25.0 (1)	10 (22)
37.5 (1 ½)	15 (33)
50 (2)	20 (44)
63 (2 ½)	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 (3 ½)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
125 (5)	300 (660)

Fuente: NTP 400.012.

#### Procedimiento

Secar la muestra por 24 horas a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , retirar la muestra, enfriar y pasar por los tamices previamente seleccionados, estos deben estar ordenados progresivamente de una abertura mayor a una menor, el tamizado debe realizarse manualmente o mecánicamente hasta que no pase más del 1% de la muestra retenida en cada tamiz.

#### Cálculo

Calcular el porcentaje que pasa, los porcentajes totales retenido, o los porcentajes sobre cada tamiz; así mismo para determinar el módulo de fineza de los agregados se utilizará la siguiente fórmula.

$$M.F. = \frac{\%Ret. Acum. Tam. (3, 1\ 1/2, 3/4", 3/8", N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100}$$

### 3.4.4.1.3. Peso unitario

El ensayo se realizó de acuerdo a la NTP 400.017 la cual describe el método para determinar la densidad aparente (“peso unitario”) del agregado en condición suelto o compactado, así mismo calcula los vacíos entre partículas en agregado finos y gruesos.

Tabla 6. Capacidad de recipientes

Tamaño nominal máx. del agregado		Capacidad del recipiente	
mm	pulg	m <sup>3</sup> (L)	Pie <sup>3</sup>
12.5	½	0.0028 (2.8)	1/10
25.0	1	0.0093 (9.3)	1/3
37.5	1 ½	0.014 (14)	1/2
75	3	0.028 (28)	1
100	4	0.07 (70)	2 ½
125	5	0.100 (100)	3 ½

Fuente: NTP 400.017.

### Muestreo

La muestra se tomó de acuerdo a la NTP 400.010 y será reducida de acuerdo a la NTP.400.043, así mismo, el tamaño de la muestra debe ser aproximadamente 125% a 200% la cantidad requerida para llenar el recipiente.

### Procedimiento

#### ➤ Peso unitario compactado

Secar la muestra durante 24 h en una estufa a 110 °C ± 5 °C, pesar el recipiente vacío, posteriormente llenar el recipiente a un tercio del total y nivelar la superficie con los dedos, apisonar la capa de agregado con 25 golpes con la varilla de apisonado uniformemente distribuido sobre la superficie. Llenar a los dos tercios del total y nuevamente apisonar, concluir llenando el recipiente sobre – volumen y apisonar nuevamente. Finalmente pesar el recipiente con la muestra.

#### ➤ Peso unitario suelto

Secar la muestra durante 24 h en una estufa a 110 °C ± 5 °C, pesar el recipiente vacío, posteriormente llenar el recipiente hasta el reboce con una pala o cucharón, descargando

el agregado de una altura que no exceda 5 cm encima del borde superior del mismo. Se debe prevenir, como sea posible la segregación del tamaño de partículas que constituyen la muestra. Nivelar la superficie y pesar el recipiente con la muestra.

### **Cálculo**

Densidad de masa o peso unitario:

$$M = \frac{G - T}{V}$$

$$M = (G - T) \times F$$

Donde:

M = Densidad de masa del agregado kg/m<sup>3</sup>

G = masa de agregado más el recipiente, kg

T = masa del recipiente m<sup>3</sup>

V = volumen del recipiente m<sup>3</sup>

F = Factor para el recipiente m<sup>3</sup>

Contenido de vacíos:

$$\% \text{ Vacíos} = \frac{100[(S \times W) - M]}{S \times W}$$

Donde:

M = densidad de masa del agregado kg/m<sup>3</sup>

S = gravedad específica de masa (base seca)

W = densidad del agua 998 kg/m<sup>3</sup>

#### **3.4.4.1.4. Finos que pasan el tamiz normalizado 75µm (No. 200)**

El ensayo se realizó de acuerdo a la NTP 400.018 la cual describe el procedimiento para determinar por vía húmeda, el contenido de polvo o material que pasa el tamiz normalizado de 75 µm (No. 200) en el agregado.



## Muestreo

El tamaño de la muestra debe estar de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 7. Cantidad mínima de muestra para la determinación de materiales más finos que pasan por el tamiz No. 200

Tamaño máximo nominal del agregado	Cantidad mínima, g
4.75 mm (No. 4) o más pequeño	300
Mayor que 4.75 mm (No. 4) a 9.5 mm (3/8 pulg)	1000
Mayor que 9.5 mm (3/8 pulg) a 19 mm (3/4 pulg)	1500
Mayor a 19 mm (3/4 pulg)	5000

Fuente: NTP 400.018.

## Procedimiento

Secar la muestra, determinar la masa, luego colocar la muestra de ensayo en el recipiente y adicionar agua lo suficiente para cubrirla. Agitar la muestra vigorosamente con el fin de separar completamente todas las partículas más finas que el tamiz normalizado de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200) de las partículas gruesas, finalmente pesar la muestra.

## Cálculo

$$A = \left[ \frac{P_1 - P_2}{P_1} \right] \times 100$$

A = porcentaje del material más fino que pasa por el tamiz normalizado de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200) por vía húmeda.

$P_1$  = peso seco de la muestra original, gramos

$P_2$  = peso seco de la muestra luego del lavado, gramos

### 3.4.4.1.5. Resistencia al desgaste en agregados grueso

El ensayo se realizó de acuerdo a la NTP 400.019, establece el procedimiento para ensayar agregados y se aplica para agregados gruesos de tamaños menores a 37.5 mm (1 ½ pulg) para determinar la resistencia a degradación utilizando la máquina de los ángeles.

Tabla 8. Masa de acuerdo a la gradación de la muestra para el ensayo de abrasión

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4580 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Fuente: NTP 400.019.

### Muestreo

El tamaño de la muestra se da de acuerdo a la gradación de muestra.

Tabla 9. Gradación de las muestras para el ensayo de abrasión

Tamaño de tamiz mm (aberturas cuadradas)		Masa de tamaño indicados, g			
Que pasa	Retenido Sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37.5 mm (1 ½ pulg)	25.0 mm (1 pulg)	1250 ± 25			
25.0 mm (1 pulg)	19.0 mm (¾ pulg)	1250 ± 25			
19.0 mm (¾ pulg)	12.5 mm (½ pulg)	1250 ± 10	2500 ± 10		
12.5 mm (½ pulg)	9.5 mm (3/8 pulg)	1250 ± 10	2500 ± 10		
9.5 mm (3/8 pulg)	6.3 mm (¼ pulg)			2500 ± 10	
6.3 mm (¼ pulg)	4.75 mm (No. 4)			2500 ± 10	
4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8=)				5000 ± 10
Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Fuente: NTP 400.019.

### Procedimiento

Colocar la muestra de ensayo y la carga en la máquina de los Ángeles y rotarla a una velocidad entre 30 a 33 rpm hasta alcanzar las 500 revoluciones, luego descargar el material de la maquina y realizar una separación preliminar de la muestra sobre un tamiz de mayor abertura que el tamiz normalizado No. 12. Lavar el material más grueso que la malla No. 12 y secar al horno a 110 °C ± 5°C. Finalmente determinar la masa de la muestra.

## Cálculo

$$\text{Porcentaje de pérdida} = \left( \frac{c - y}{c} \right) \times 100$$

Donde

C = masa original de la muestra de ensayo, g

Y = masa final de la muestra de ensayo, g

### 3.4.4.1.6. Densidad relativa del agregado grueso

El ensayo se realizó de acuerdo a la NTP 400.021, establece el procedimiento para determinar la densidad relativa (gravedad específica).

## Muestreo

La masa mínima de ensayo a utilizar se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 10. Masa mínima a usar para el ensayo de densidad relativa

Tamaño máximo nominal mm (pulg)	Masa mínima de muestra de ensayo kg (lb)
12.5 (1/2) o menor	2 (4.4)
19.0 (3/4)	3 (6.6)
25.0 (1)	4 (8.8)
37.5 (1 ½)	5 (11)
50.0 (2)	8 (18)
63.0 (2 ½)	12 (26)
75.0 (3)	18 (40)
90.0 (3 ½)	25 (50)
100 (4)	40 (88)
125 (5)	75 (165)

Fuente: NTP 400.021.

## Procedimiento

Secar la muestra a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  y esperar que enfríe, luego sumergir el agregado en agua a temperatura ambiente durante  $24\text{ h} \pm 4\text{ h}$ . Retirar la muestra del agua y hacer rodar sobre un paño absorbente hasta que se elimine todas las partículas visibles de agua. Posteriormente determinar la masa de la muestra de ensayo en condiciones saturadas superficialmente seca; pesada la muestra colocar inmediatamente

en el contenedor con agua y hallar su masa. Finalmente secar la muestra de ensayo en la estufa a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , retirar la muestra esperar que seque hasta que se pueda manipular y determinar la masa.

### **Cálculo**

Peso específico de masa (Pem)

$$Pem = \frac{A}{B - C}$$

Peso específico de masa saturada con superficie seca (PeSSS)

$$Pem = \frac{B}{B - C}$$

Peso específico aparente (Pea)

$$Pem = \frac{A}{A - C}$$

Donde:

A = masa de la muestra secada al horno, g

B = Masa de la muestra saturada superficialmente seca, g

C = masa en el agua de la muestra saturada, g

#### **3.4.4.1.7. Absorción del agregado grueso**

El ensayo se realizó de acuerdo a la NTP 400.021, establece el procedimiento para determinar la absorción.

### **Muestreo**

La masa mínima de ensayo a utilizar se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 11. Masa mínima a usar para el ensayo de absorción

Tamaño máximo nominal mm (pulg)	Masa mínima de muestra de ensayo kg (lb)
12.5 (1/2) o menor	2 (4.4)
19.0 (3/4)	3 (6.6)
25.0 (1)	4 (8.8)
37.5 (1 ½)	5 (11)
50.0 (2)	8 (18)
63.0 (2 ½)	12 (26)
75.0 (3)	18 (40)
90.0 (3 ½)	25 (50)
100 (4)	40 (88)
125 (5)	75 (165)

Fuente: NTP 400.021.

### Procedimiento

Secar la muestra a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  y esperar que enfríe, luego sumergir el agregado en agua a temperatura ambiente durante  $24\text{ h} \pm 4\text{ h}$ . Retirar la muestra del agua y hacer rodar sobre un paño absorbente hasta que se elimine todas las partículas visibles de agua. Posteriormente determinar la masa de la muestra de ensayo en condiciones saturadas superficialmente seca; pesada la muestra colocar inmediatamente en el contenedor con agua y hallar su masa. Finalmente secar la muestra de ensayo en la estufa a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , retirar la muestra esperar que seque hasta que se pueda manipular y determinar la masa.

### Cálculo

Absorción (Ab)

$$P_{em} = \frac{A}{A - C}$$

Donde:

A = masa de la muestra secada al horno, g

C = masa en el agua de la muestra saturada, g

#### **3.4.4.1.8. Densidad relativa del agregado fino**

El ensayo se realizó de acuerdo a la NTP 400.022, establece el procedimiento para determinar la densidad relativa (gravedad específica).

#### **Muestreo**

Se debe reducir la muestra de ensayo aproximadamente a 1 kg.

#### **Procedimiento**

Colocar la muestra en la estufa por 24 h a una temperatura  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Retirar la muestra y esperar que enfríe a una temperatura apropiada de manipulación, cubrir con agua y dejar reposar durante  $24\text{ h} \pm 4\text{ h}$ .

Para determinar la humedad superficial se sostiene el molde firmemente sobre una superficie no absorbente de agua con el diámetro mayor hacia abajo. Colocar la muestra suelta parcialmente seca en el molde llenándolo hasta el tope y amontonar material adicional por encima de la parte superior del molde. Apisonar ligeramente el agregado fino en el molde con 25 golpes con la barra compactadora, los golpes se deben realizar aproximadamente a 5 mm por encima de la superficie superior del agregado fino, retirar la arena suelta de la base y levantar el molde verticalmente.

Para el proceso gravimétrico a través del picnómetro, se llena parcialmente el picnómetro con agua, introducir  $500\text{ g} \pm 10\text{ g}$  de agregado fino en condición SSS y llenar de agua adicional hasta aproximadamente el 90% de su capacidad. Agitar, rodar o invertir el picnómetro para eliminar las burbujas de aire visibles. Después de la eliminación de todas las burbujas de aire ajustar la temperatura del picnómetro y llevar el nivel de agua en el picnómetro a su capacidad de calibración; determinar la masa total del picnómetro, la muestra y el agua.

Retirar el agregado fino del picnómetro, secar en el horno a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , enfriar y determinar la masa, finalmente determinar la masa del picnómetro lleno a su capacidad de calibración.

#### **Cálculo**

Peso específico de masa ( $P_{em}$ )

$$P_{em} = \frac{A}{B + S - C}$$

Peso específico de masa saturada con superficie seca (PeSSS)

$$P_{em} = \frac{S}{B + S - C}$$

Peso específico aparente (Pea)

$$P_{em} = \frac{A}{B + A - C}$$

Donde:

A = masa de la muestra secada al horno, g.

B = Masa del picnómetro llenado de agua hasta la marca de calibración, g.

C = masa del picnómetro llenado de muestra y agua hasta la marca de calibración, g.

S = Masa de la muestra saturada superficialmente seca, g.

#### **3.4.4.1.9. Absorción del agregado fino**

El ensayo se realizó de acuerdo a la NTP 400.022, establece el procedimiento para determinar la absorción del agregado fino.

#### **Muestreo**

Se debe reducir la muestra de ensayo aproximadamente a 1 kg.

#### **Procedimiento**

**Sumergir la muestra en agua por  $24 \pm 4$  h**, después de pasado el tiempo, se remueve el material del agua, se seca la superficie de las partículas y se determina la masa. Se coloca la muestra en un recipiente graduado y el volumen de la muestra se determina por el método volumétrico, finalmente se seca la muestra y se determina la masa nuevamente, con los valores de la masa y el volumen se calcula la absorción.

#### **Cálculo**

Absorción (Ab)

$$P_{em} = 100 \left[ \frac{S - A}{A} \right]$$

Donde:

A = masa de la muestra secada al horno, g.

S = Masa de la muestra saturada superficialmente seca, g.

#### **3.4.4.2. Diseño de mezclas**

El método usado para la elaboración del diseño de mezclas fue el Módulo de Fineza de la combinación de los agregados para una resistencia  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  y se siguieron los siguientes pasos:

Paso 1. Elección de la resistencia promedio

Paso 2. Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso

Paso 3. Selección del asentamiento

Paso 4. Volumen unitario de agua.

Paso 5. Contenido de aire

Paso 6. Relación agua/cemento

Paso 7. Cálculo de la cantidad de cemento

Paso 8. Cálculo de los componentes de la pasta

Paso 9. Cálculo del porcentaje, peso y volumen del agregado fino a través del módulo de fineza de la combinación de agregados.

Paso 10. Cálculo del porcentaje, peso y volumen del agregado grueso

Paso 11. Materiales de diseño por  $\text{m}^3$

Paso 12. Materiales de diseño corregidos por humedad

Paso 13. Proporción por peso y volumen de los materiales.



Tabla 12. Relación de agua/cemento por resistencia

f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Relación agua/cemento 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	0.4
400	0.43	
450	0.38	

Fuente: Comité ACI 211.

Tabla 13. Agua para diferentes tamaños máximos nominales de agregados grueso y asentamientos.

	Agua en l/m <sup>3</sup> , para los tamaños máx. nominales de agregados grueso y consistencia indicada							
Asentamiento	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1 a 2 pulg	207	199	190	179	166	154	130	113
3 a 4 pulg	228	216	205	193	181	169	145	124
6 a 7 pulg	243	228	216	202	190	178	160	
Concreto con aire incorporado								
1 a 2 pulg	181	175	168	160	150	142	122	107
3 a 4 pulg	202	193	184	175	165	157	133	119
6 a 7 pulg	216	205	197	184	174	166	154	

Fuente: Comité ACI 211.

Figura 6. Contenido de aire

Tamaño máximo nominal	Aire atrapado (%)
3/8"	0.03
1/2"	2.50
3/4"	2.00
1"	1.50
1 1/2"	1.00
2"	0.50
3"	0.30
6"	0.20

Fuente: Comité ACI 211.

#### ***3.4.4.3.Elaboración y curado de probetas de concreto***

Las probetas de concreto se realizaron de acuerdo a la norma NTP 339.183.

##### **Procedimiento**

- Se preparó los materiales, agregado, cemento y agua.
- Se engrasó los moldes de cilindros para un fácil desmolde y lavado.
- Se pesó los materiales a usar, cemento agua y agregados; el mezclado se realizó en una mezcladora de concreto durante 3 minutos hasta obtener homogeneidad y consistencia.
- Se midió la consistencia de la mezcla en el cono de Abrams.
- Se llenó el concreto en los moldes cilíndricos de 150 mm de diámetro y 300mm de altura; el llenado se realizó en tres capas las cuales se varillaron con 25 golpes en cada capa y se golpeó con una comba de goma por los lados externos entre 10 a 15 veces.
- Se pesó el molde cilíndrico más el concreto.
- Después de 24 horas se desmoldó las probetas.
- Se realizó el curado de las probetas.

#### ***3.4.4.4.Determinación del módulo de elasticidad estático del concreto***

El ensayo se realizó de acuerdo al ASTM C 469-02

##### **Equipos**

- Máquina universal para ensayo a compresión.
- Deformímetro con precisión de 0.01mm

##### **Procedimiento**

- Se retiró las probetas de la poza de curado 30 minutos antes de realizar el ensayo y se dejó secando a temperatura ambiente.
- Se colocó la probeta con el equipo de medición en la máquina de ensayo, se verificó cuidadosamente el alineamiento del eje de la probeta con el centro de la rotura del cabezal de apoyo.
- Las probetas a ensayar se realizaron sin las almohadillas de neoprene para obtener la deformación únicamente del concreto.

## Cálculos

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0.000050}$$

Donde:

$E_c$ : módulo de elasticidad estático

$S_2$ : esfuerzo correspondiente al 40% de la carga última.

$S_1$ : Esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria longitudinal de 50 millonésimas

$\varepsilon_2$ : deformación unitaria longitudinal producida por  $S_2$

Nota: las variables que se presentan en la formula anterior se obtuvieron mediante el gráfico de esfuerzo – deformación unitaria, hallando los valores a través de interpolación de los datos obtenidos.

### 3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTACIÓN PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Las técnicas usadas fueron:

- Se realizó un estudio experimental, mediante la aplicación de ensayos para determinar el módulo de elasticidad estático del concreto.
- Revisión documentaria.

Los instrumentos de recolección de datos fueron:

- Formatos o fichas de control los cuales fueron llenados con datos obtenidos del laboratorio.

### 3.6. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

El tratamiento, análisis e interpretación de datos se realizó a través del software Microsoft Excel; para la obtención del módulo de elasticidad estático del concreto, se tuvo como referencia lo estipulado en la norma ASTM C 469-02 de donde se estudió la resistencia a la compresión y la deformación unitaria.

### 3.7. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

#### 3.7.1. Resultados de las propiedades físico-mecánicas de los agregados

Tabla 14. Propiedades físico - mecánicas de los agregados

Propiedad	Agregado fino		Agregado grueso					
			TMN 1/2"		TMN 3/4"		TMN 1"	
Gradación			Huso	67	Huso	6	Huso	5
Peso Específico de Masa	2.54	gr/cm <sup>3</sup>	2.54	gr/cm <sup>3</sup>	2.54	gr/cm <sup>3</sup>	2.57	gr/cm <sup>3</sup>
Peso Específico Saturado Superficialmente Seco	2.60	gr/cm <sup>3</sup>	2.59	gr/cm <sup>3</sup>	2.58	gr/cm <sup>3</sup>	2.60	gr/cm <sup>3</sup>
Peso Específico Aparente	2.69	gr/cm <sup>3</sup>	2.67	gr/cm <sup>3</sup>	2.65	gr/cm <sup>3</sup>	2.66	gr/cm <sup>3</sup>
Absorción	2.18	%	1.91	%	1.56	%	1.43	%
Peso Unitario Suelto	1575.32	kg/cm <sup>3</sup>	1440.92	kg/cm <sup>3</sup>	1434.90	kg/cm <sup>3</sup>	1432.67	kg/cm <sup>3</sup>
Peso Unitario Compactado	1716.80	kg/cm <sup>3</sup>	1566.74	kg/cm <sup>3</sup>	1556.97	kg/cm <sup>3</sup>	1553.79	kg/cm <sup>3</sup>
Contenido de Humedad	4.76	%	0.66	%	0.36	%	0.26	%
Módulo de Finura	2.99	%	6.59	%	6.91	%	7.60	%
Abrasión	-	-	23.33	%	25.23	%	23.85	%
Porcentaje de finos que pasan la malla N° 200	1.33	%	0.45	%	0.12	%	0.40	%
Porcentaje de vacíos	32.39	%	38.26	%	38.59	%	39.32	%

Fuente: elaboración propia.

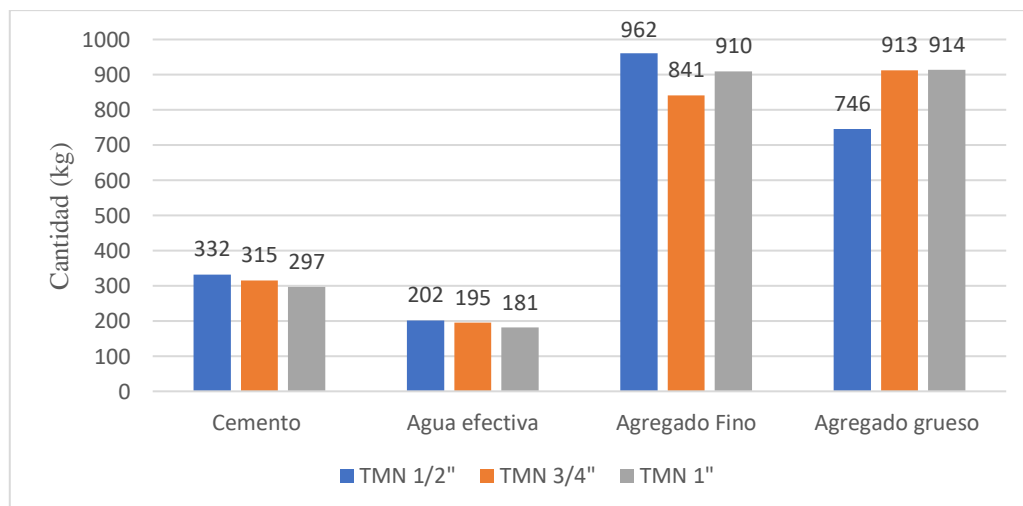
### 3.7.2. Resultado de los diseños de mezclas

Tabla 15. Materiales de diseño corregidos por metro cúbico

Material	TMN 1/2"	TMN 3/4"	TMN 1"
Cemento	332.10 kg	315.19 kg	296.74 kg
Agua efectiva	201.59 L	195.22 l	181.20 L
Agregado Fino	961.53 kg	841.04 kg	909.70 kg
Agregado grueso	746.04 kg	912.99 kg	914.03 kg

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 1. Dosificación de materiales para concreto f'c=210kg/cm<sup>2</sup>



Fuente: elaboración propia.

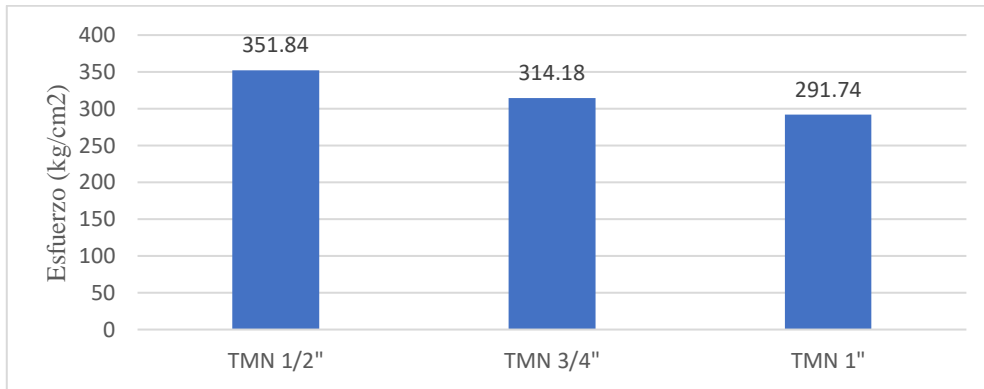
### 3.7.3. Resultado de la resistencia a compresión

Tabla 16. Resistencia a compresión del concreto a los 28 días para diferentes TMN de agregado grueso

Tamaño Máximo Nominal de agregado grueso	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
TMN 1/2"	351.844
TMN 3/4"	314.177
TMN 1"	291.740

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 2. Resistencia a compresión del concreto  $f'_c=210$  kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días



Fuente: elaboración propia.

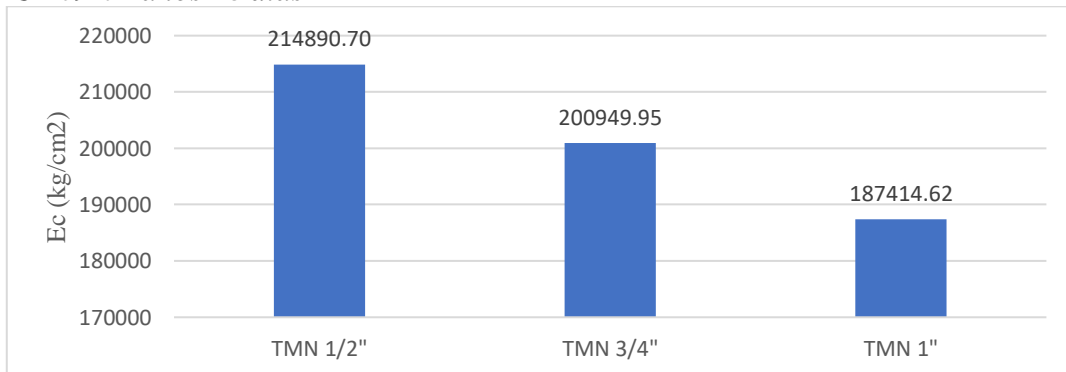
### 3.7.4. Módulo de elasticidad según ASTM C 469-02 y la norma E.060

Tabla 17. Módulo de elasticidad estático del concreto a 28 días según ASTM C469

Tamaño Máximo Nominal de agregado grueso	Módulo de elasticidad según Norma ASTM C 469-02 (kg/cm <sup>2</sup> )
TMN 1/2"	214890.701
TMN 3/4"	200949.950
TMN 1"	187414.621

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 3. Módulo de elasticidad estático del concreto  $f'_c=210$  kg/cm<sup>2</sup> según ASTM C 469-02 a los 28 días



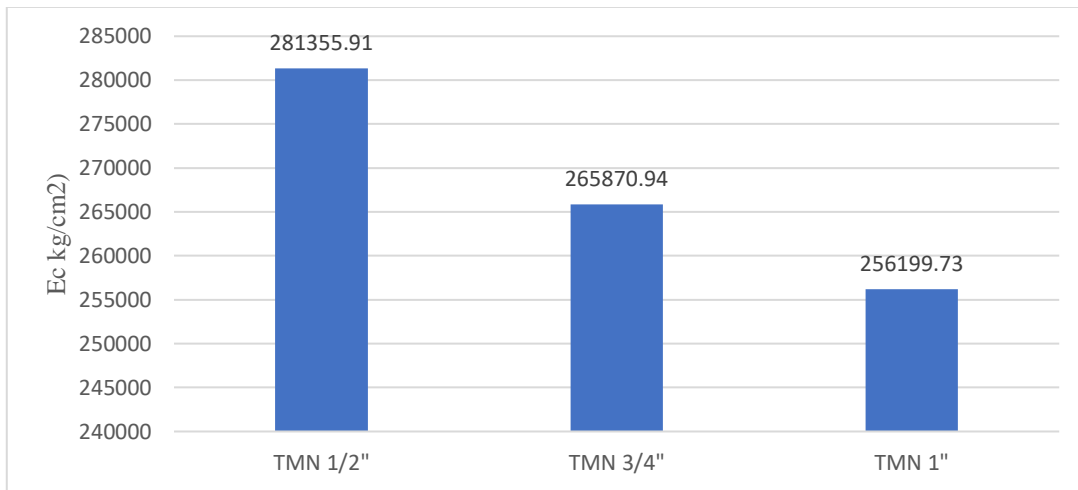
Fuente: elaboración propia.

Tabla 18. Módulo de elasticidad del concreto a los 28 días según norma E.060

Tamaño Máximo Nominal de agregado grueso	Módulo de elasticidad según norma E.060 (kg/m3)
TMN 1/2"	281355.909
TMN 3/4"	265870.938
TMN 1"	256199.733

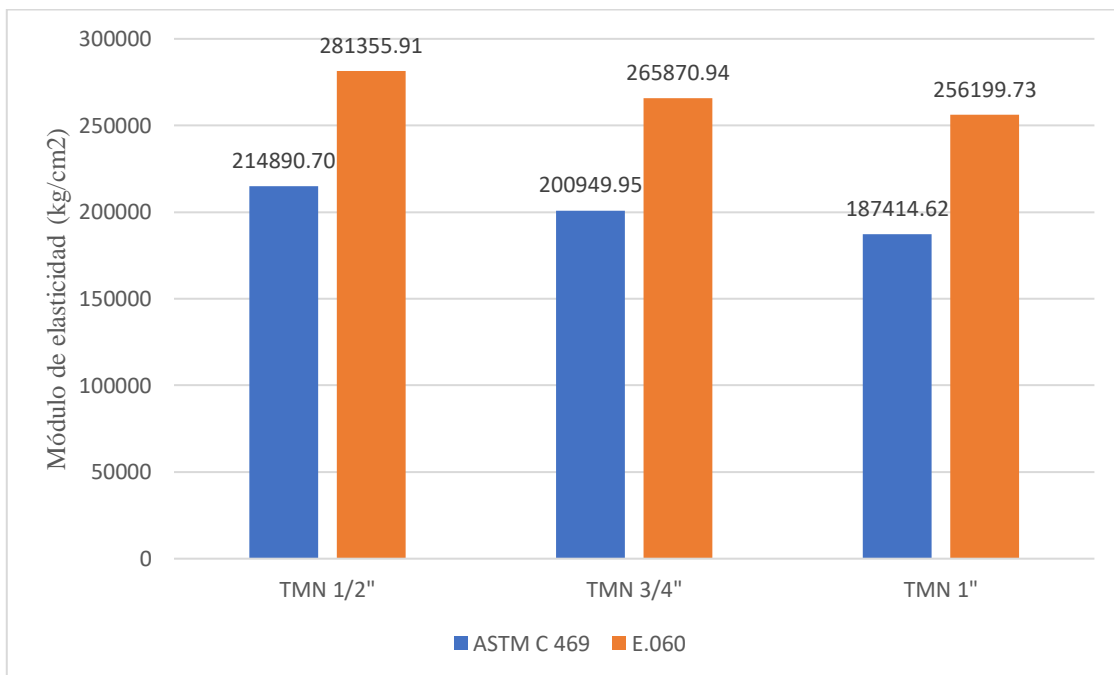
Fuente: elaboración propia.

Gráfico 4. Módulo de elasticidad del concreto a los 28 días según norma E.060



Fuente: elaboración propia.

Gráfico 5. Comparación del módulo de elasticidad del concreto obtenido mediante la Norma ASTM C469-02 y la Norma E.060



Fuente: elaboración propia.

## **CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **4.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE LOS AGREGADOS**

#### **4.1.1. Propiedades físicas y mecánicas de los agregados**

Según la Tabla 14 la granulometría del agregado fino y agregados gruesos de tamaño máximo nominal de 1/2", 3/4" y 1" los cuales se encuentran establecidos dentro de los husos 67, 6 y 5 respectivamente, cumple con los parámetros establecidos en la NTP 400.037 indicando una buena gradación.

De acuerdo a la Tabla 14 el módulo de finura del agregado fino es de 2.99% siendo los límites permisibles no menor de 2.3% ni mayor de 3.1%, mientras que para el agregado grueso se tiene un módulo de finura de 6.59%, 6.91% y 7.60% para los TMN 1/2", 3/4" y 1" respectivamente, así mismo, el ensayo de abrasión muestra un desgaste de 23.33%, 25.23% y 23.85% para los TMN 1/2", 3/4" y 1" respectivamente, teniendo como límite máximo 50%.

En cuanto al porcentaje de finos que pasan la malla N°200, se tiene 1.33% para el agregado fino y 0.45%, 0.12% y 0.40% para los agregados grueso de TMN 1/2", 3/4" y 1" respectivamente teniendo como límite máximo del 3% para el agregado fino y de 1% para el agregado grueso, cumpliendo todos estos ensayos con la NTP 400.037.

Según la Tabla 14 el árido fino muestra mayor capacidad de absorción con respecto a los áridos gruesos, de igual manera, el contenido de humedad del agregado fino es mayor al de los agregados gruesos de TMN 1/2", 3/4" y 1", lo que indica que va aportar agua en mayor grado a la mezcla de concreto.

Con respecto a la Tabla 14, el peso específico de los agregados cumple con los estándares especificados en la normativa, estando en un rango entre 2.4 gr/cm<sup>3</sup> y 2.9 gr/cm<sup>3</sup>

### **4.2. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE DISEÑOS DE MEZCLAS**

Según la Tabla 15 y el Gráfico 1, el cemento y el agua tienen el mismo comportamiento, es decir conforme aumenta el tamaño máximo nominal del agregado grueso la cantidad va disminuyendo, esto debido a la superficie específica de los agregados; en cuanto al agregado fino, no sigue un patrón claro con respecto al tamaño máximo nominal, siendo la mezcla elaborada con TMN de 3/4" la que presenta menor cantidad de agregado fino, esto debido al módulo de fineza del agregado grueso la

cual influye en el volumen de los agregados, finalmente, la cantidad del agregado grueso va aumentando con respecto al tamaño máximo nominal, el cambio más pronunciado de las cantidades ocurre entre 1/2" y 3/4" con una leve variación entre 3/4" y 1".

#### **4.3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN**

Según la Tabla 16 y el Gráfico 2 el concreto elaborado con un Tamaño Máximo Nominal de 1/2" muestra la mayor resistencia a compresión entre los tres tamaños de agregados evaluados; mientras que el concreto con un Tamaño Máximo Nominal de 3/4" presenta una resistencia mayor que la del TMN de 1" y menor que la del TMN de 1/2", así mismo, el concreto elaborado con un Tamaño Máximo Nominal de 1" tiene la menor resistencia a compresión de los tres tamaños de agregados evaluados.

Es así que el concreto con un TMN de 3/4" tiene una resistencia a la compresión de 10.71% menor que la del TMN 1/2", mientras que el concreto con un TMN 1" tiene una resistencia a la compresión 17.08% menor que la del TMN de 1/2", lo que muestra que el uso de agregado más grande reduce significativamente la capacidad del concreto para resistir cargas a compresión.

#### **4.4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD SEGÚN ASTM C 469-02 Y LA NORMA E.060**

Comparando los valores de la Tabla 17 y el Gráfico 3 del módulo de elasticidad obtenido en laboratorio y tomando como valor referencial el concreto elaborado con agregado grueso de TMN 1/2" que es el que presenta el mayor valor, se tiene que el concreto elaborado con agregado grueso de TMN 3/4" tiene un valor de módulo de elasticidad que es un 6.49% menor, mientras que el concreto elaborado con agregado grueso con TMN de 1" muestra una disminución del 12.79%; estos valores muestran que a medida que el tamaño máximo nominal del agregado grueso aumenta el módulo de elasticidad estático del concreto disminuye.

Según la Tabla 18 y el Gráfico 4 los valores del módulo de elasticidad obtenidos mediante las recomendaciones de la Norma E.060 para concretos elaborados con agregado de TMN de 1/2" obtienen mayor valor, esto debido a que la fórmula brindada en la Norma está directamente relacionada con la resistencia a la compresión del concreto, es así que, en el Gráfico 2 se observa que la resistencia del concreto va



variando de acuerdo al tamaño del agregado grueso, a medida que el tamaño del agregado va aumentando la resistencia va disminuyendo.

Según el Gráfico 5 la comparación de los valores de módulo de elasticidad obtenidos mediante la Norma ASTM C 469-02 y el Norma E.060; muestran lo siguiente:

Para el TMN de 1/2", el módulo de elasticidad según ASTM C 469-02 es de 214890.70 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que según la Norma E.0600 es de 281355.91 kg/cm<sup>2</sup>, esto representa una diferencia del 30.91% en la norma E.060.

Para el TMN de 3/4", la norma ASTM C469-02 muestra un módulo de elasticidad de 200949.95 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que la norma E060 registra 265870.94 kg/cm<sup>2</sup>, con una diferencia de 32.29%.

En el caso de TMN 1", la norma ASTM C 469-02 muestra un módulo de elasticidad de 187414.62 kg/cm<sup>2</sup> y 256199.73 kg/cm<sup>2</sup> para la norma E.060, con una diferencia del 36.69%.

Esta diferencia que se muestra es debido a que la norma E.060 solo relaciona el módulo de elasticidad con la resistencia del concreto, mientras que, la norma ASTM C 469-02 muestra como el tamaño de agregado grueso influye en la zona intersticial del concreto lo que repercute en la distribución de vacíos y la relación pasta-agregado, que finalmente afecta al módulo de elasticidad estático del concreto.

#### **4.5. CONTRASTACIÓN CON LA HIPÓTESIS**

Los resultados obtenidos confirman la hipótesis planteada. El Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso influye de manera negativa en el módulo de elasticidad estático del concreto, mostrando la siguiente relación:

**TMN 1/2"  $E_c = 214890.70 \text{ kg/cm}^2$ :** presenta el mayor módulo de elasticidad.

**TMN 3/4"  $E_c = 200949.95 \text{ kg/cm}^2$ :** presenta un módulo de elasticidad que es 6.49% menor en comparación con el concreto elaborado con agregado grueso de TMN 1/2".

**TMN 1"  $E_c = 187414.62 \text{ kg/cm}^2$ :** presenta el módulo de elasticidad más bajo, teniendo una disminución del 12.79% con respecto al concreto elaborado con agregado grueso de TMN de 1/2".

#### **4.6. CONTRASTACIÓN CON ANTECEDENTE TEÓRICOS**

Se observó que el módulo de elasticidad estático del concreto disminuye a medida que se va incrementando el Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso. En estudios previos Arévalo Y Piluacan (2020) han demostrado que el uso de agregados de menor tamaño aumenta el valor del módulo de elasticidad estático; Flores (2020) muestra valores heterogéneos y una variación de resultados como también ha demostrado que el módulo de elasticidad depende de las propiedades física-mecánicas del agregado grueso, Vargas (2017) demostró que la relación agregado fino y grueso influye en el módulo de elasticidad del concreto teniendo variaciones del 58% y 52.52% para agregados de TMN de 1 ½” y 1” respectivamente con respecto al ACI 318 los cuales se alinean con los hallazgos obtenidos en este estudio.

## **CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. CONCLUSIONES**

- El Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso tiene una influencia de manera negativa en el módulo de elasticidad estático del concreto, ya que este valor va disminuyendo a medida que el TMN del agregado grueso aumenta.
- Se determinó el módulo de elasticidad estático del concreto, los resultados indican que para concretos elaborados con agregados gruesos de menor tamaño presenta un módulo de elasticidad estático superior, mientras que para agregados de mayor tamaño presentan un módulo de elasticidad menor, teniendo como valores del Módulo de elasticidad para este estudio de 214890.70 kg/cm<sup>2</sup>, 200949.95 kg/cm<sup>2</sup> y 187414.62 kg/cm<sup>2</sup> para TMN de 1/2", 3/4" y 1" respectivamente con una variación del 6.49% y del 12.79% menores para los TMN de 3/4" y 1" con respecto al TMN de 1/2".
- La resistencia a compresión del concreto que se obtuvo fue de 351.84 kg/cm<sup>2</sup>, 314.18 kg/cm<sup>2</sup> y 291.74 kg/cm<sup>2</sup> para probetas elaboradas con agregado de TMN de 1/2", 3/4" y 1" respectivamente, estos valores superan la resistencia nominal de 210 kg/cm<sup>2</sup>.
- Al comparar los resultados de módulo de elasticidad del concreto según las normativas ASTM C469-02 y E.060, se evidencia una diferencia en los valores obtenidos para los diferentes tamaños máximos nominales de agregado grueso, los valores obtenidos utilizando la Norma E.060 son consistentemente más altos en comparación con los de la Norma ASTM C469-02, con incremento del 30.91%, 32.29% y 36.69% para los TMN de 1/2", 3/4" y 1" respectivamente.

### **5.2. RECOMENDACIONES**

- Realizar investigaciones del módulo de elasticidad estático del concreto con agregados provenientes de diferentes canteras (cerro o río) para comparar sus efectos que tienen sobre este.
- Realizar investigaciones del módulo de elasticidad dinámico del concreto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arévalo Arévalo, E. A., & Pilacúan Tepud, G. M. (2020). *Correlación entre el cambio de resistencia a compresión simple y módulo de elasticidad de núcleos de hormigón extraídos de diámetro*. [Trabajo de grado]. Escuela Politécnica Nacional.
- Asencio Sangay, A. R. (2014). *Efecto de los agregados de concreto reciclado en la resistencia a la compresión sobre el concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$* . [Trabajo de grado]. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Cordero Estévez, G. D., Cárdenas Gutiérrez, J. A., & Rojas Suárez, J. P. (2019). *Diseño de mezclas de concreto aplicando el método ACI*. Ecoe Ediciones: Universidad Francisco de Paula Santander.
- Flores Medina, P. X. (2020). *Análisis del módulo de elasticidad estático del hormigón estructural en base a su resistencia a la compresión, fabricado con materiales de las minas Trópico de Capricornio y Santa Isabel, ubicadas en el sector el Barranco Cantón Mera en la provincia de Pastaza*. [Trabajo de grado]. Universidad Técnica de Ambato.
- Kumar Mehta, P., & Monteiro, P. J. (2014). *Concrete Microstructure, Properties and materials*. 4th ed. New York: McGraw-Hill Education.
- León, M. P., & Ramírez, F. (2014). Caracterización morfológica de agregados para concreto mediante el análisis de imágenes. *Revista ingeniería de construcción*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732010000200003>
- Niño Hernandez, J. R. (2018). *Tecnología del concreto tomo I: materiales, propiedades y diseño de mezclas*. Asocreto.
- Peralta García, M. A. (2019). *Evaluación de la incidencia del tamaño máximo nominal del agregado grueso en los resultados de los endayos de resistencia a compresión del concreto empleado cilindros de diferentes dimensiones*. [Trabajo de grado]. Universidad de la Costa.

Porrero S., J., Ramos R., C., Grases G., J., & Velazco, G. (2014). *Manual del concreto estructural*. PAG Marketing Soluciones.

Portland Cement Association. (2016). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*.

Ruiz Sanchez, D. A. (2021). *Determinación del módulo de elasticidad del concreto simple utilizando cemento tipo MS para  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> y  $f'c= 280$  kg/cm<sup>2</sup> con agregados de las canteras Tres Tomas y la Victoria en el Año 2020*. [Trabajo de grado]. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.

Serpa Bojorque, J. D., & Vázquez Maita, D. C. (2018). *Determinación del módulo de elasticidad y a la resistencia a compresión del hormigón en función de la variabilidad y caracterización de los agregados*. [Trabajo de grado]. Universidad de Cuenca.

Sun, R. W., & Fanourakis, G. C. (2022). *The validation of elastic modulus models: Code models and their modified versions*. University of Johannesburg. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/suco.202100312>

Vakhshouri, B., & Nejadi, S. (2018). *Empirical models and design codes in prediction of modulus of elasticity of concrete*. University of Technology Sydney. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11709-018-0479-1>

Vargas Alarcón, B. X. (2017). *Determinación de la Ecuación del módulo de elasticidad del concreto en base a la resistencia a la compresión simple, elaborado con los agregados de las canteras Isla y Yocara de la ciudad de Juliaca*. [Tesis de grado]. Universidad Peruana Unión.

## **NORMAS:**

A. C. I. (2015). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*.

ASTM C-469. (2002). Método estándar de ensayo para Módulo de Elasticidad Estático y relación de Poisson del concreto en Compresión.

Norma Técnica Peruana (2021). 4ª Ed. INACAL.

Reglamento Nacional de Edificaciones (2020). *Norma E.060 Concreto armado*. [www.gob.pe/sencico](http://www.gob.pe/sencico).

## APÉNDICE

### APÉNDICE A: PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS.

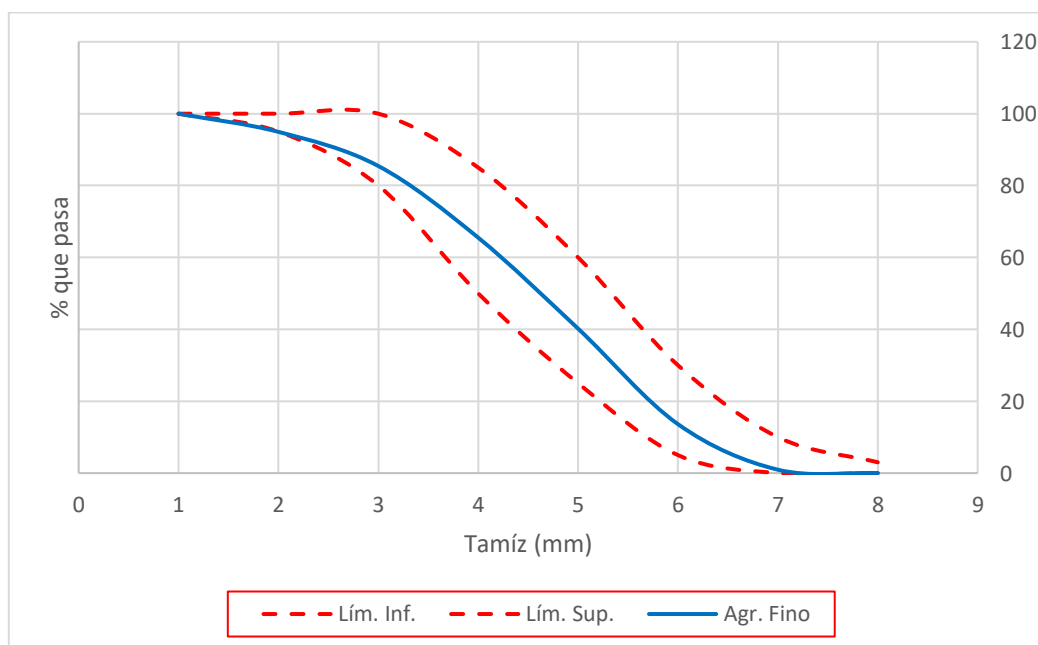
#### 1.1. AGREGADO FINO

Tabla 19. Granulometría del agregado fino, ensayo 01

ENSAYO N° 01							
Peso seco inicial (gr)				321			
MALLA		MUESTRA M1			GR. AGR. FINO		
N° Tamiz	Abertura (mm)	P. retenido parcial (gr)	Porcentaje retenido parcial (%)	% Retenido acumulado	% Que pasa	Límite inferior	Límite superior
3/8"	9.5	00	0	0	100	100	100
N° 4	4.75	16	5	5	95	95	100
N° 8	2.36	30	9	15	85	80	100
N° 16	1.18	64	20	34	66	50	85
N° 30	600 um	81	25	60	40	25	60
N° 50	300 um	85	27	86	14	5	30
N° 100	150 um	41	13	99	1	0	10
N° 200	75 um	3	1	100	0	0	3
total		321	100				
<b>Módulo de fineza</b>					<b>2.99</b>		

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 6. Curva granulométrica del ensayo 01



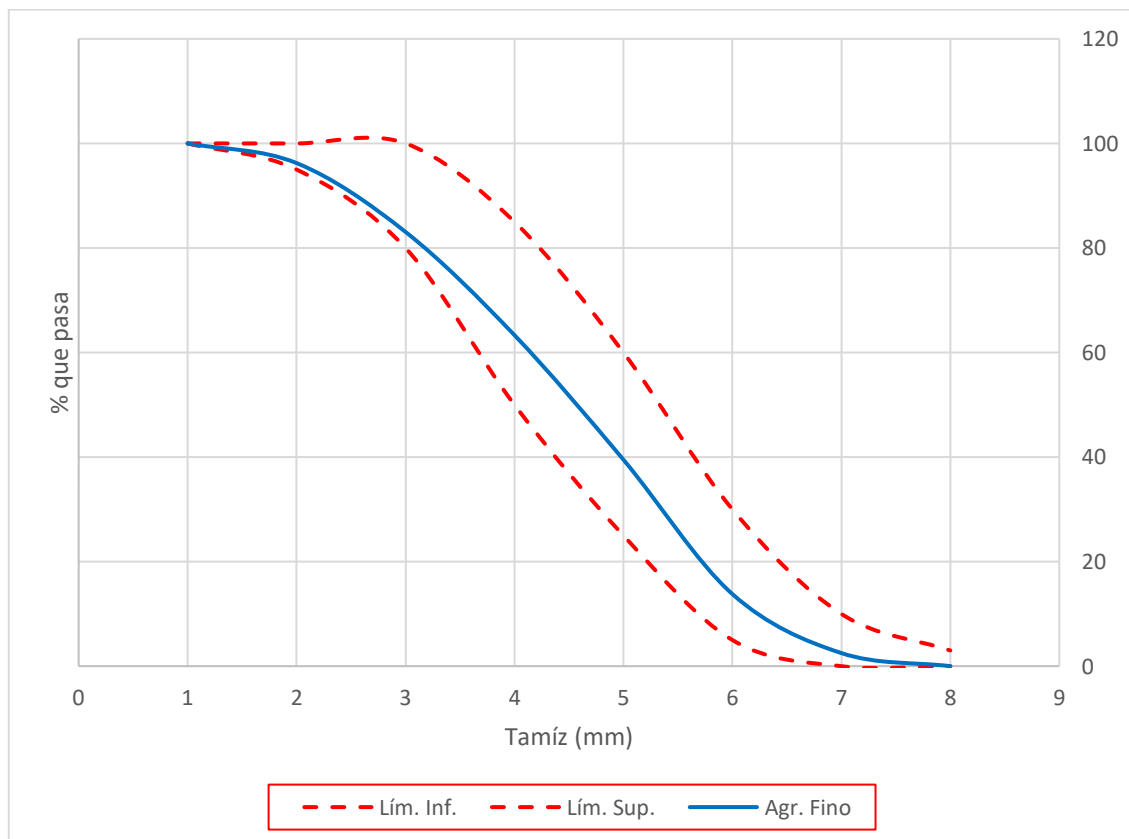
Fuente: elaboración propia.

Tabla 20. Granulometría del agregado fino, ensayo 02

ENSAYO N° 02							
Peso seco inicial (gr)						322	
MALLA		MUESTRA M2			GR. AGR. FINO		
N° Tamiz	Abertura (mm)	P. retenido parcial (gr)	Porcentaje Retenido parcial (%)	% Retenido acumulado	% Que pasa	Límite inferior	Límite superior
3/8°	9.5	00	0	0	100	100	100
N° 4	4.75	12	4	4	96	95	100
N° 8	2.36	42	13	17	83	80	100
N° 16	1.18	64	20	37	63	50	85
N° 30	600 um	77	24	61	39	25	60
N° 50	300 um	83	26	86	14	5	30
N° 100	150 um	36	11	97	3	0	10
N° 200	75 um	8	3	100	0	0	3
total		322	100				
<b>Módulo de fineza</b>						<b>3.02</b>	

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 7. Curva granulométrica del agregado fino, ensayo 02



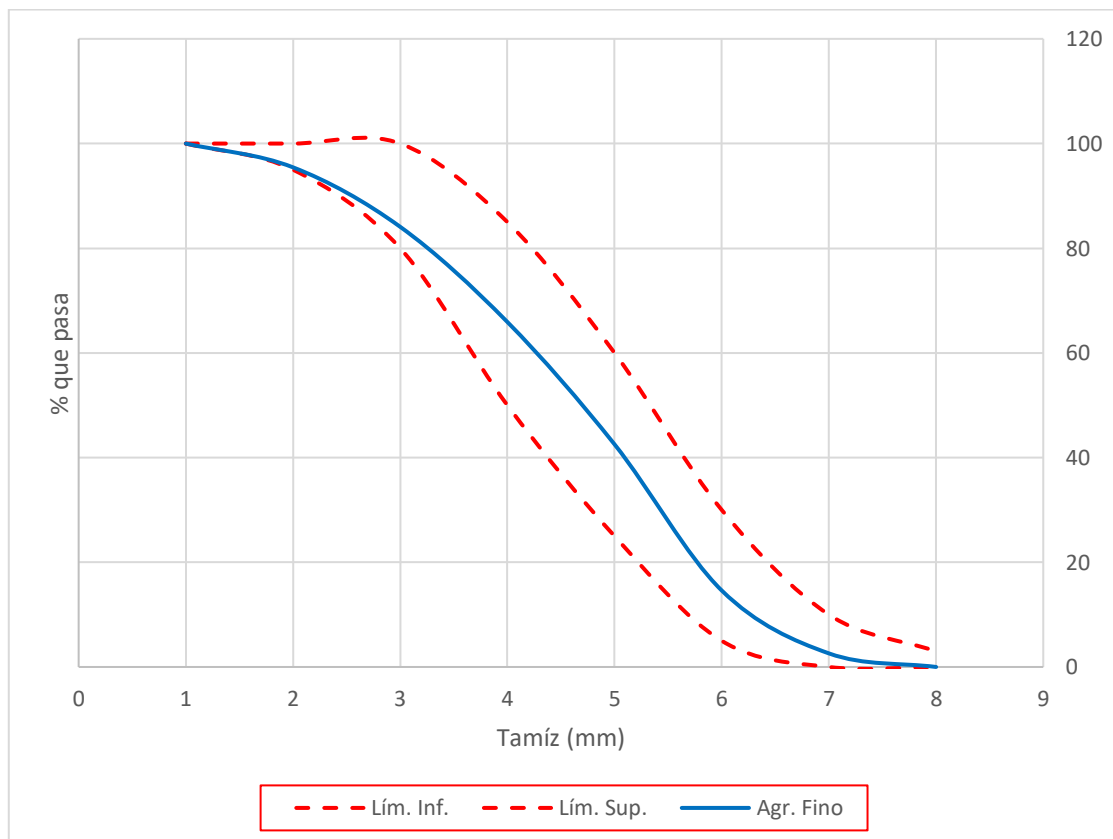
Fuente: elaboración propia.

Tabla 21. Granulometría del agregado fino, ensayo 03

ENSAYO N° 03							
Peso seco inicial (gr)						316	
MALLA		MUESTRA M3			GR. AGR. FINO		
N° Tamiz	Abertura (mm)	P. retenido parcial (gr)	Porcentaje Retenido parcial (%)	% Retenido acumulado	% Que pasa	Límite inferior	Límite superior
3/8°	9.5	00	0	0	100	100	100
N° 4	4.75	14	5	5	95	95	100
N° 8	2.36	36	11	16	84	80	100
N° 16	1.18	57	18	34	66	50	85
N° 30	600 um	74	23	57	43	25	60
N° 50	300 um	88	28	85	15	5	30
N° 100	150 um	38	12	97	3	0	10
N° 200	75 um	8	3	100	0	0	3
total		316	100				
Módulo de fineza						2.95	

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 8. Curva granulométrica del agregado fino, ensayo 03



Fuente: elaboración propia.



Tabla 22. Peso unitario suelto del agregado fino

Descripción	unidad	M1	M2	M3	Promedio
Peso molde + muestra	kg	8.63	8.61	8.62	
Peso molde	kg	3.87	3.87	3.87	
Peso muestra	kg	4.76	4.74	4.75	
Volumen	m3	0.003	0.003	0.003	
Peso unitario Suelto (PUS)	kg/m3	1579	1572	1575	1575
Desviación estándar (s)		3	<b>Dentro de la tolerancia</b>		
% vacíos	%	37	39	38	38

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23. Peso unitario compactado del agregado fino

Descripción	unidad	M1	M2	M3	Promedio
Peso molde + muestra	kg	9.01	9.07	9.06	
Peso molde	kg	3.87	3.87	3.87	
Peso muestra	kg	5.14	5.20	5.19	
Volumen	m3	0.003	0.003	0.003	
Peso unitario compactado (PUC)	kg/m3	1706	1724	1720	1717
Desviación estándar (s)		8	<b>Dentro de la tolerancia</b>		
% vacíos	%	32	33	32	32

Fuente: elaboración propia.

Tabla 24. Peso específico y absorción del agregado fino

Descripción	unidad	M1	M2	M3	Promedio
Peso muestra saturada superficialmente seca (S)	kg	0.50	0.50	0.50	
Peso picnómetro + agua (B)	kg	0.67	0.66	0.69	
Peso picnómetro + agua + muestra(C)	kg	0.98	0.97	1.00	
Peso muestra secada en horno (A)	kg	0.49	0.49	0.49	
Peso específico de masa (Pem)	-	2.53	2.57	2.53	2.54
Peso específico de masa saturada con superficie seca (PeSSS)	-	2.59	2.62	2.59	2.60
Peso específico aparente (Pea)	-	2.70	2.70	2.69	2.69
Absorción (Ab)	%	2.5	1.8	2.2	2.2

Fuente: elaboración propia.

Tabla 25. Porcentaje de finos que pasan la malla N° 200 del agregado fino

Descripción	unidad	M1	M2	M3	Promedio
Peso seco muestra inicial	gr	300.00	300.00	303.00	
Peso seco muestra lavada	gr	296.00	297.00	298.00	
Porcentaje material que pasa tamiz N°200	%	1.3	1.0	1.7	1.3

Fuente: elaboración propia.

Tabla 26. Contenido de humedad del agregado fino

Descripción	unidad	M1	M2	M3	Promedio
Peso muestra húmeda	kg	0.508	0.507	0.519	
Peso muestra seca	kg	0.484	0.482	0.495	
Contenido de humedad	%	4.7	4.9	4.6	4.8

Fuente: elaboración propia.

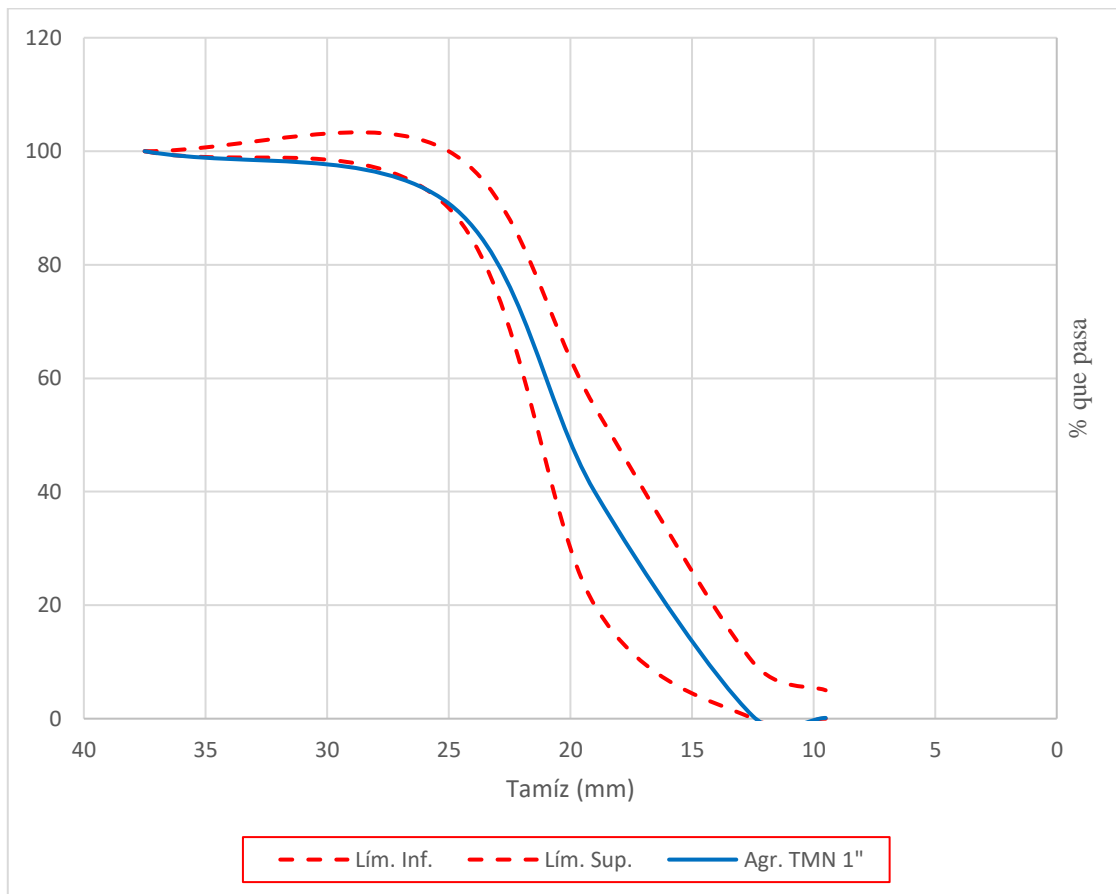
**1.2. AGREGADO GRUESO:** A continuación, se presenta los datos y cálculos obtenidos mediante los ensayos del laboratorio para los TMN de 1/2", 3/4" y 1".

Tabla 27. Granulometría agregado grueso de TMN 1" ensayo 01

MALLA		MUESTRA M1			HUSO 5		
N° Tamiz	Abertura (mm)	P. retenido parcial (kg)	Porcentaje Retenido Parcial (%)	% Retenido acumulado	% Que pasa	Límite inferior	Límite superior
Peso seco inicial (kg)		10.142					
1 1/2"	37.5	0	0.00	0	100	100	100
1"	25	0.93	9.20	9	91	90	100
3/4"	19	5.15	50.78	60	40	20	55
1/2"	12.5	4.01	39.55	100	0	0	10
3/8"	9.5	0.03	0.34	100	0	0	5
No. 4	4.75	0.01	0.08	100	0		
No. 8	2.36	0.00	0.01	100	0		
Fondo		0.00	0.04	100	0		
total		10.142	100.00				
<b>Módulo de fineza</b>					<b>7.60</b>		

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 9. Curva granulométrica agregado grueso TMN 1", ensayo 01



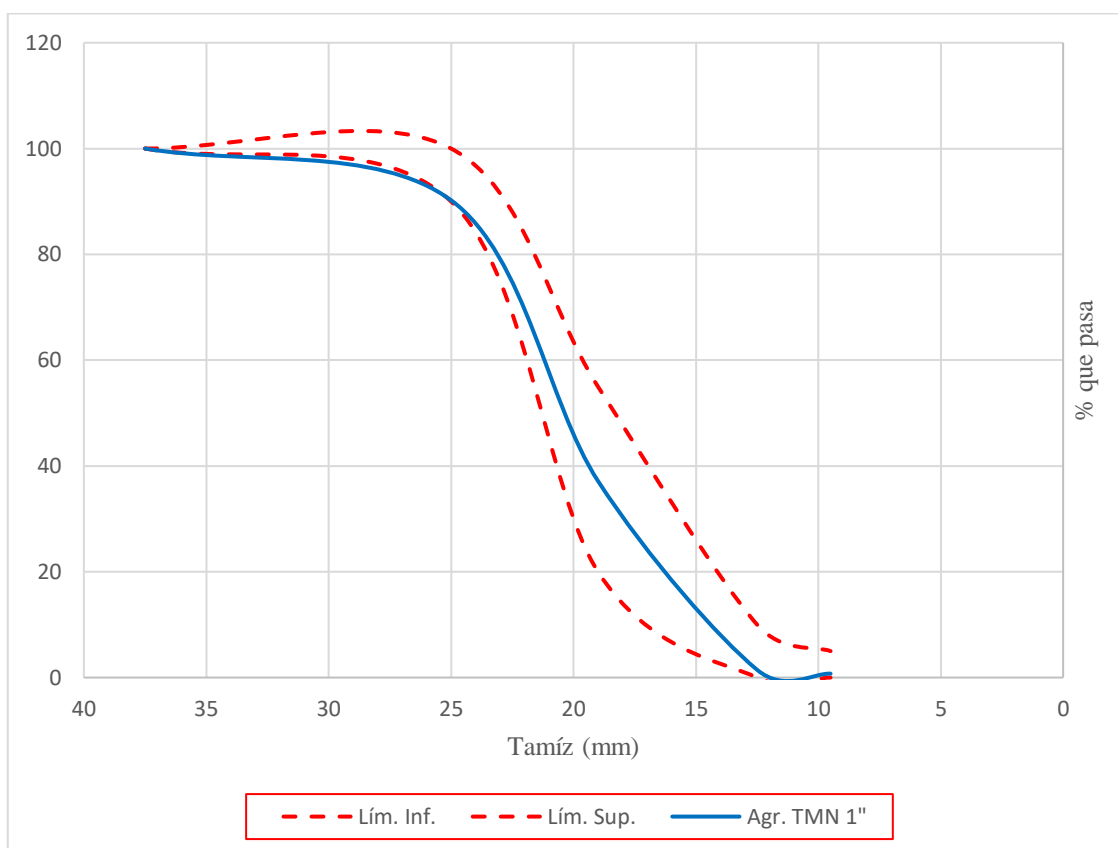
Fuente: elaboración propia.

Tabla 28. Granulometría agregado grueso TMN 1", ensayo 02

		Peso seco inicial (kg)				10.07	
<b>MALLA</b>		<b>MUESTRA M2</b>			<b>HUSO 5</b>		
Tamiz	Abertura (mm)	P. retenido parcial (kg)	% Retenido Parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa	Límite inferior	Límite superior
1 1/2"	37.5	0	0.00	0	100	100	100
1"	25	0.98	9.78	10	90	90	100
3/4"	19	5.34	53.06	63	37	20	55
1/2"	12.5	3.60	35.70	99	1	0	10
3/8"	9.5	0.07	0.73	99	1	0	5
No. 4	4.75	0.06	0.59	100	0		
No. 8	2.36	0.01	0.05	100	0		
Fondo		0.01	0.10	100	0		
total		10.07	100.00				
		<b>Módulo de fineza</b>				<b>7.62</b>	

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 10. Curva granulométrica agregado grueso TMN 1", ensayo 02



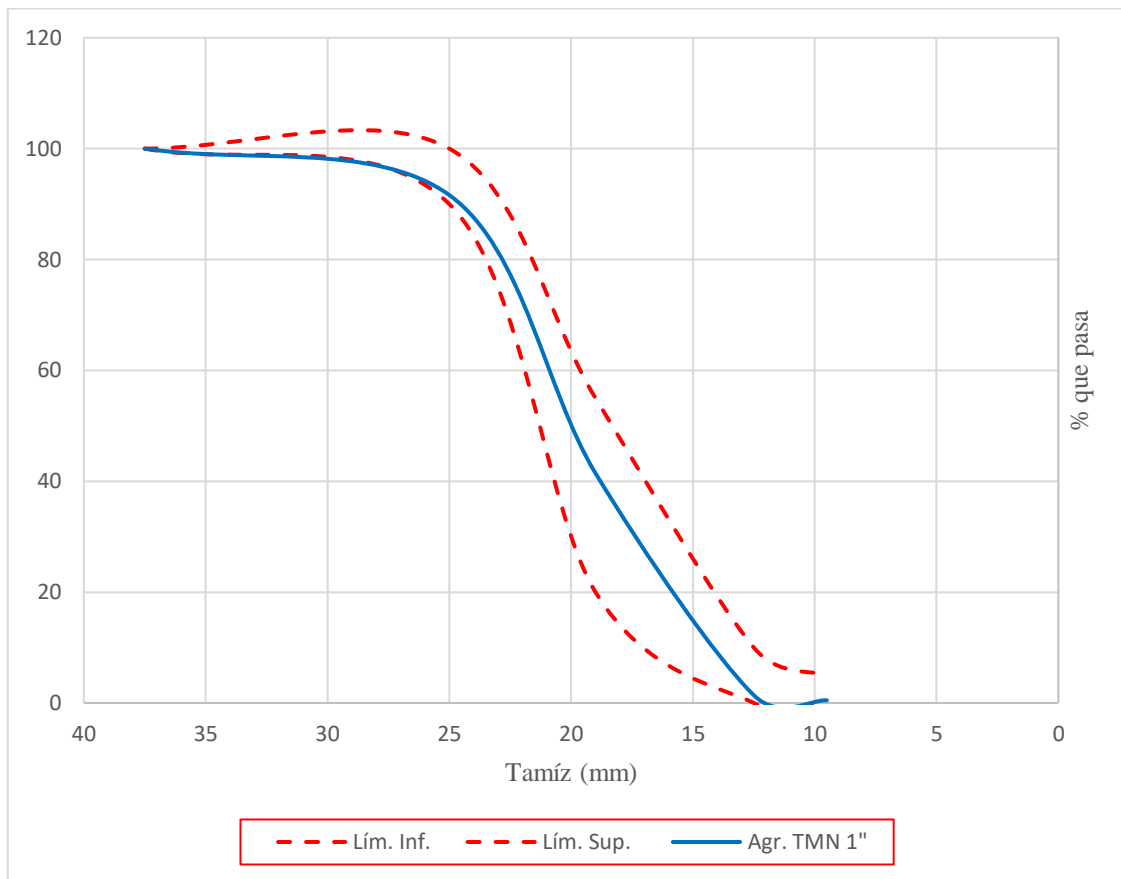
Fuente: elaboración propia.

Tabla 29. Granulometría agregado grueso TMN 1" ensayo 03

		Peso seco inicial (kg)				10.148	
<b>MALLA</b>		<b>MUESTRA M3</b>			<b>HUSO 5</b>		
Tamiz	Abertura (mm)	P. retenido parcial (kg)	% Retenido Parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa	Límite inferior	Límite superior
1 1/2"	37.5	0	0.00	0	100	100	100
1"	25	0.85	8.37	8	92	90	100
3/4"	19	5.09	50.18	59	41	20	55
1/2"	12.5	4.06	40.05	99	1	0	10
3/8"	9.5	0.09	0.92	100	0	0	5
No. 4	4.75	0.04	0.42	100	0		
No. 8	2.36	0.00	0.02	100	0		
Fondo		0.00	0.03	100	0		
total		10.148	100.00				
<b>Módulo de fineza</b>					<b>7.58</b>		

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 11. Curva granulométrica agregado grueso TMN 1", ensayo 03



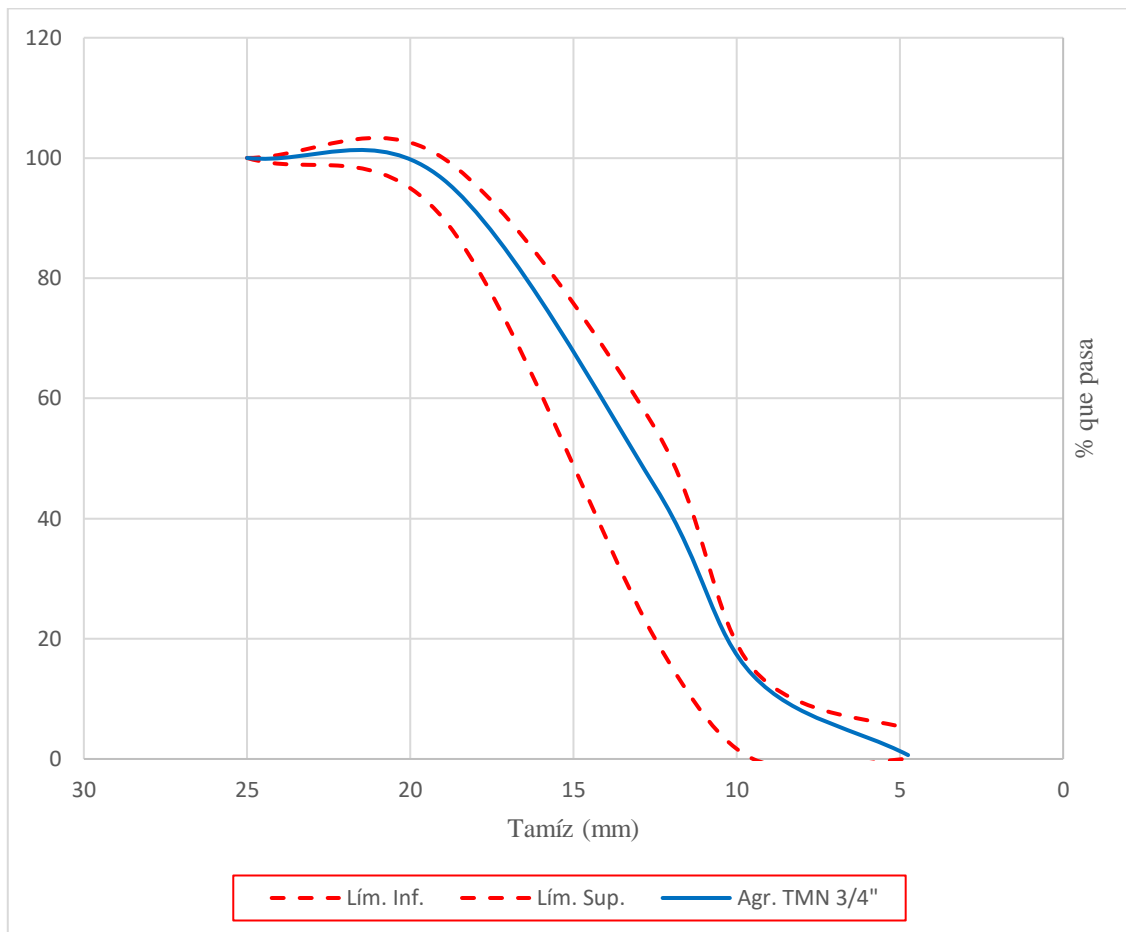
Fuente: elaboración propia.

Tabla 30. Granulometría agregado grueso TMN 3/4" ensayo 01

		Peso seco inicial (kg)		5.007			
MALLA		MUESTRA M1		HUSO 6			
N° Tamiz	Abertura (mm)	P. retenido parcial (kg)	% Retenido Parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa	Límite inferior	Límite superior
1"	25	0	0.00	0	100	100	100
3/4"	19	0.18	3.52	4	96	90	100
1/2"	12.5	2.56	51.19	55	45	20	55
3/8"	9.5	1.57	31.40	86	14	0	15
No. 4	4.75	0.66	13.25	99	1	0	5
No. 8	2.36	0.02	0.32	100	0		
Fondo		0.02	0.32	100	0		
total		5.007	100.00				
		<b>Módulo de fineza</b>		<b>6.89</b>			

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 12. Curva granulométrica agregado grueso TMN 3/4", ensayo 01



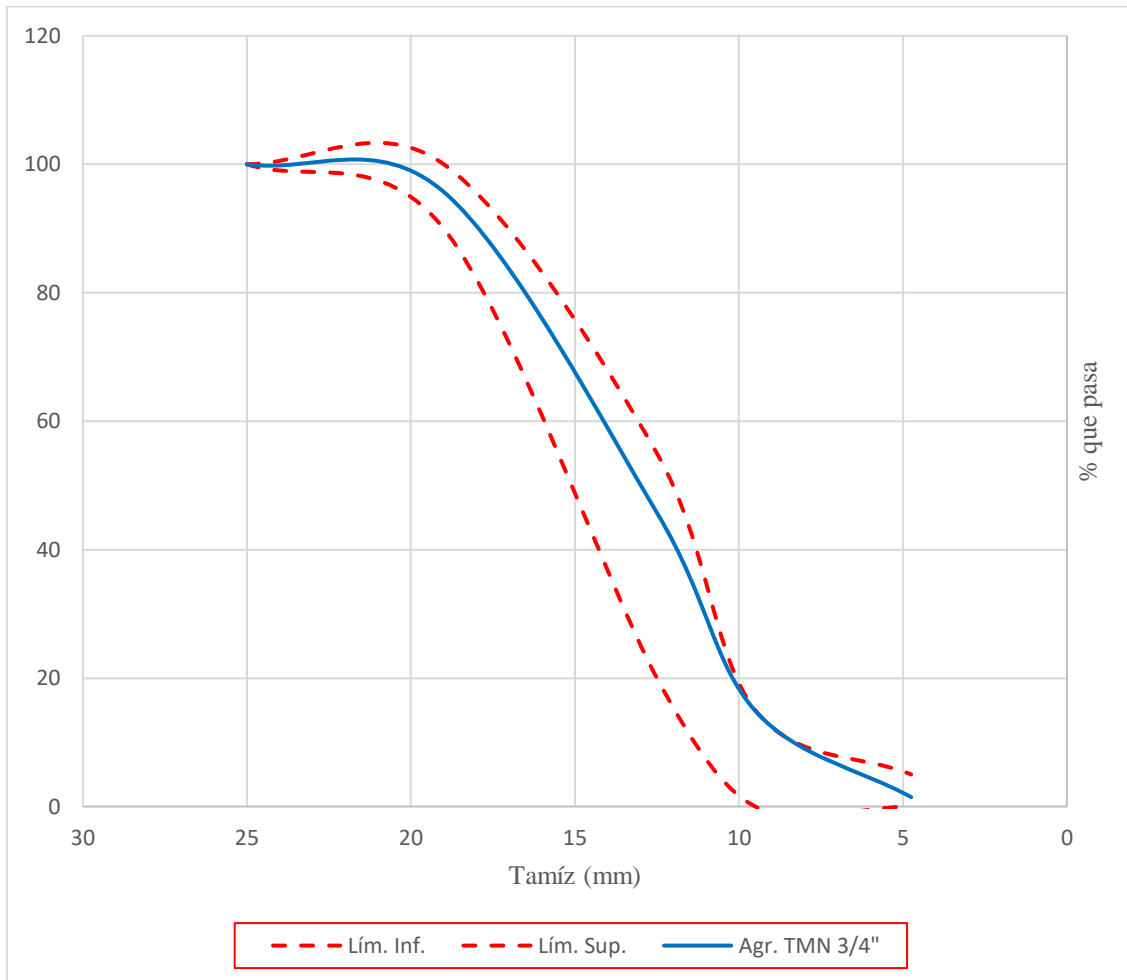
Fuente: elaboración propia.

Tabla 31. Granulometría agregado grueso TMN 3/4" ensayo 02

		Peso seco inicial (kg)			5.004		
<b>MALLA</b>		<b>MUESTRA M2</b>			<b>HUSO 6</b>		
Tamiz	Abertura (mm)	P. retenido parcial(kg)	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa	Límite inferior	Límite superior
1"	25	0	0.00	0	100	100	100
3/4"	19	<b>0.22</b>	4.30	4	96	90	100
1/2"	12.5	<b>2.50</b>	49.95	54	46	20	55
3/8"	9.5	<b>1.54</b>	30.85	85	15	0	15
No. 4	4.75	<b>0.67</b>	13.44	99	1	0	5
No. 8	2.36	<b>0.06</b>	1.10	100	0		
Fondo		<b>0.02</b>	0.36	100	0		
total		5.004	100.00				
		<b>Módulo de fineza</b>			<b>6.88</b>		

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 13. Curva granulométrica agregado grueso TMN 3/4", ensayo 02



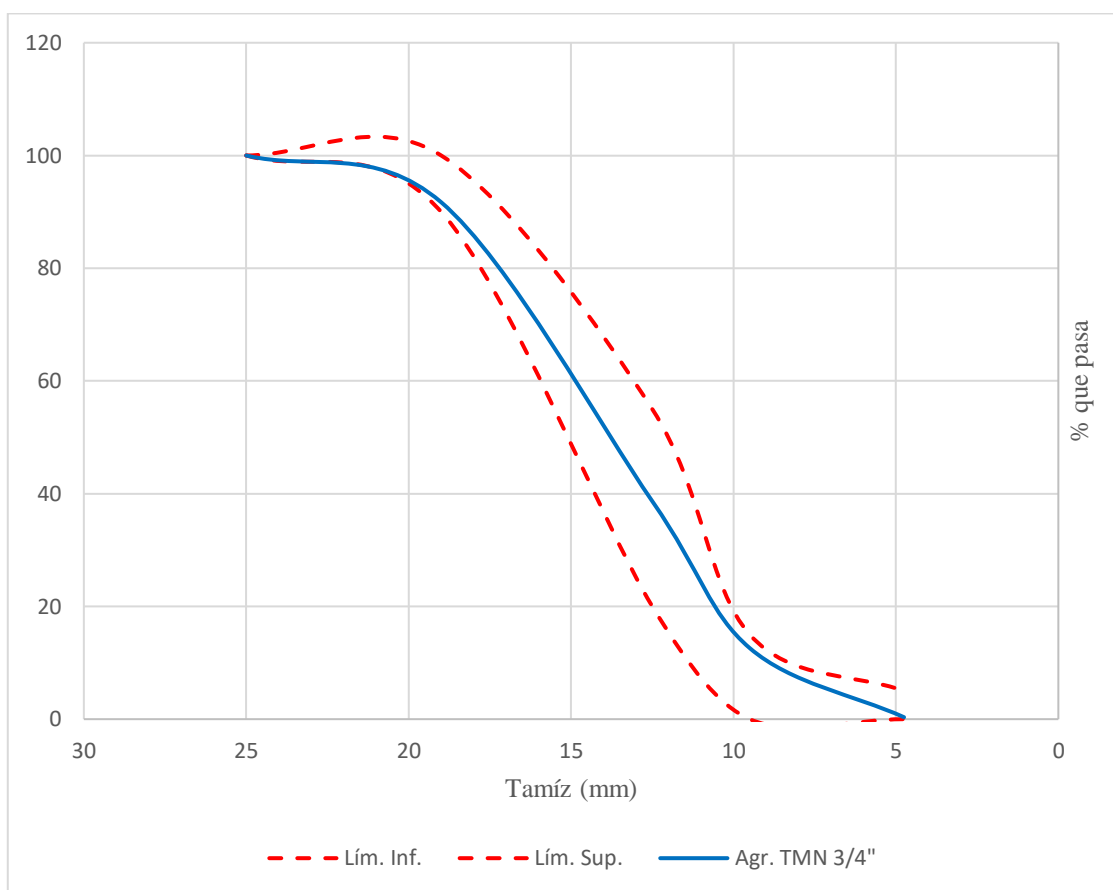
Fuente: elaboración propia.

Tabla 32. Granulometría agregado grueso TMN 3/4" ensayo 03

		Peso seco inicial (kg)		5.047			
<b>MALLA</b>		<b>MUESTRA M3</b>			<b>HUSO 6</b>		
Tamiz	Abertura (mm)	P. retenido parcial (kg)	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa	Límite inferior	Límite superior
1"	25	0	0.00	0	100	100	100
3/4"	19	0.42	8.30	8	92	90	100
1/2"	12.5	2.68	53.05	61	39	20	55
3/8"	9.5	1.32	26.06	87	13	0	15
No. 4	4.75	0.62	12.26	100	0	0	5
No. 8	2.36	0.01	0.18	100	0		
Fondo		0.01	0.16	100	0		
total		5.047	100.00				
		<b>Módulo de fineza</b>			<b>6.95</b>		

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 14. Curva granulométrica agregado grueso TMN 3/4", ensayo 03



Fuente: elaboración propia.

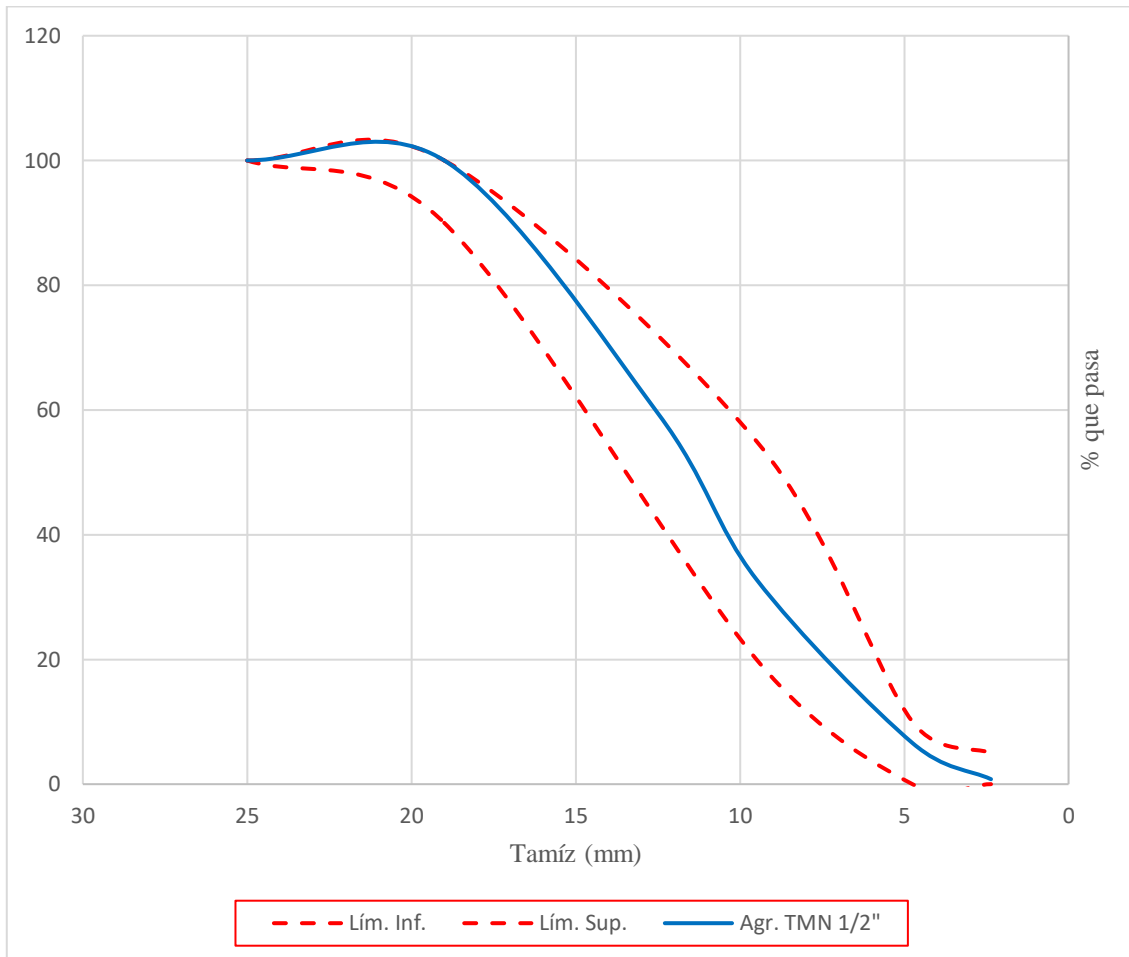
Tabla 33. Granulometría agregado grueso TMN 1/2" ensayo 01

		Peso seco inicial (kg)		2.021			
<b>MALLA</b>		<b>MUESTRA M1</b>			<b>HUSO 67</b>		
N° Tamiz	Abertura (mm)	P. retenido parcial (kg)	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa	Límite inferior	Límite superior
1	25	0	0.00	0	100	100	100
3/4"	19	0.00	0.00	0	100	90	100
1/2"	12.5	0.82	40.53	41	59		
3/8"	9.5	0.54	26.64	67	33	20	55
N° 4	4.75	0.53	26.24	93	7	0	10
N° 8	2.36	0.12	5.80	99	1	0	5
Fondo		0.02	0.79	100	0		
total		2.021	100.00				
		<b>Módulo de fineza</b>		<b>6.60</b>			

Fuente: elaboración propia.



Gráfico 15. Curva granulométrica agregado grueso TMN 1/2", ensayo 01



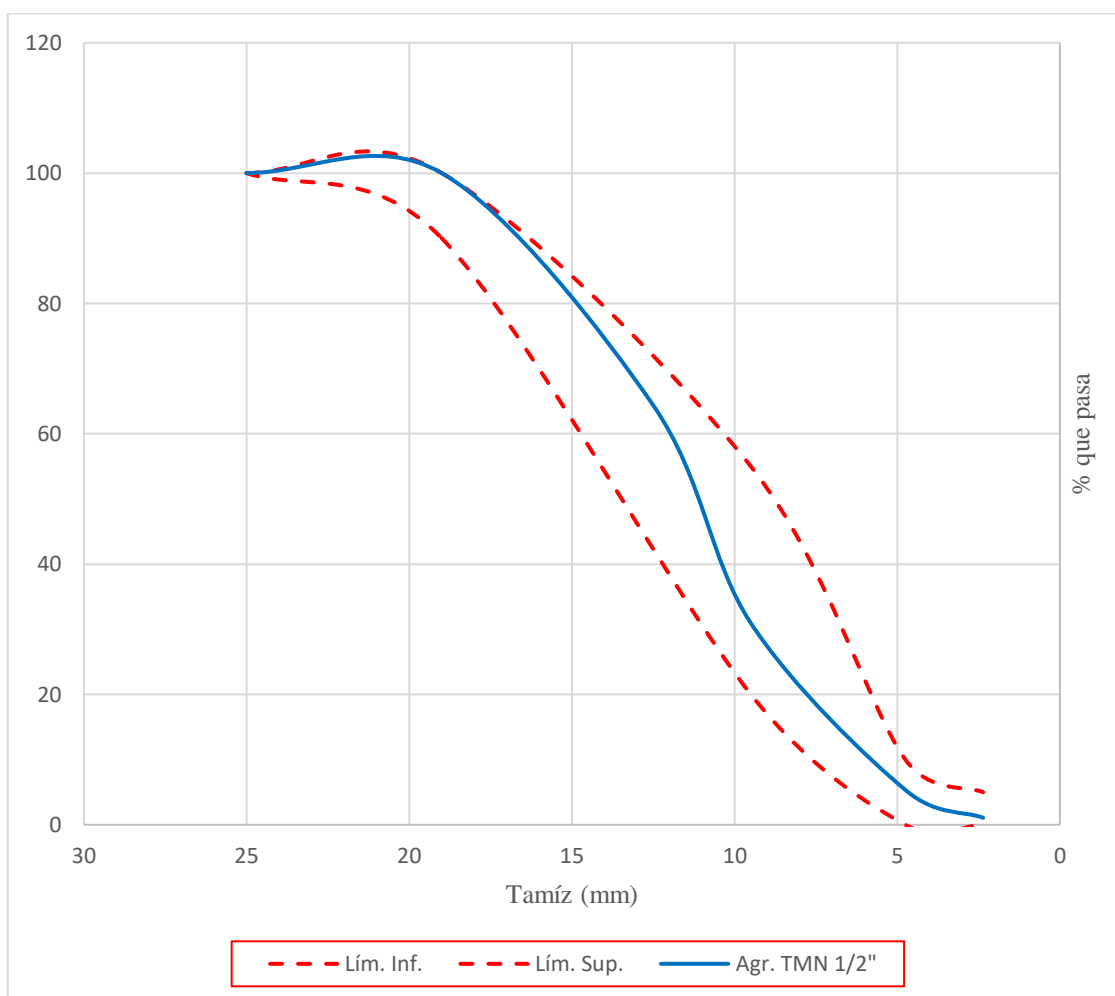
Fuente: elaboración propia.

Tabla 34. Granulometría agregado grueso TMN 1/2" ensayo 02

		Peso seco inicial (kg)		2.05			
<b>MALLA</b>		<b>MUESTRA M2</b>			<b>HUSO 67</b>		
Tamiz	Abertura (mm)	P. retenido parcial (kg)	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa	Límite inferior	Límite superior
1	25	0	0.00	0	100	100	100
3/4"	19	0.00	0.00	0	100	90	100
1/2"	12.5	0.73	35.63	36	64		
3/8"	9.5	0.69	33.43	69	31	20	55
N° 4	4.75	0.52	25.60	95	5	0	10
N° 8	2.36	0.09	4.26	99	1	0	5
Fondo		0.02	1.08	100	0		
total		2.05	100.00				
		<b>Módulo de fineza</b>		<b>6.63</b>			

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 16. Curva granulométrica agregado grueso TMN 1/2", ensayo 02



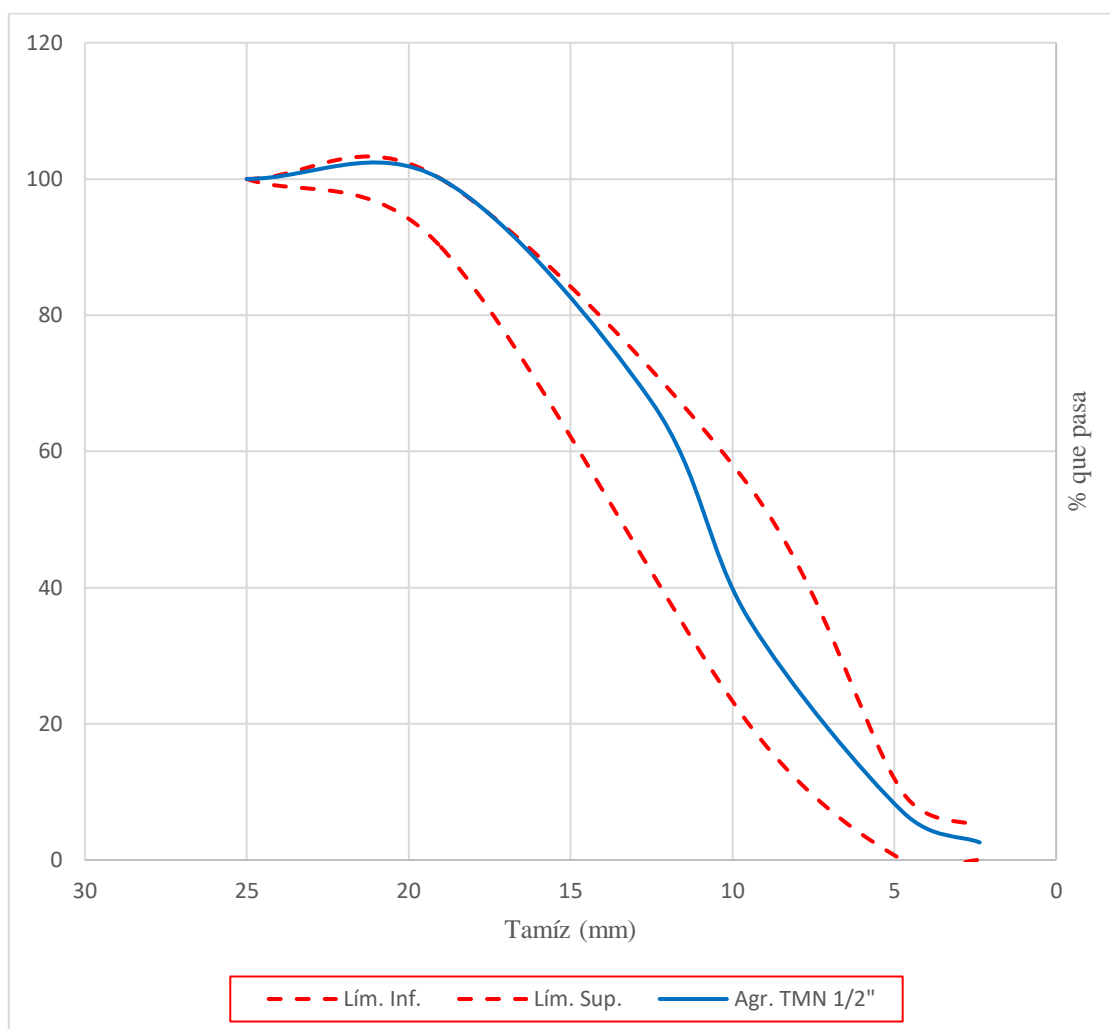
Fuente: elaboración propia.

Tabla 35. Granulometría agregado grueso TMN 1/2" ensayo 03

Peso seco inicial (kg)						2.028	
MALLA		MUESTRA M3			HUSO 67		
Tamiz	Abertura (mm)	P. retenido parcial (kg)	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa	Límite inferior	Límite superior
1	25	0	0.00	0	100	100	100
3/4"	19	0.00	0.00	0	100	90	100
1/2"	12.5	0.66	32.69	33	67		
3/8"	9.5	0.65	31.90	65	35	20	55
N° 4	4.75	0.57	28.30	93	7	0	10
N° 8	2.36	0.09	4.54	97	3	0	5
Fondo		0.05	2.57	100	0		
total		2.028	100.00				
<b>Módulo de fineza</b>						<b>6.55</b>	

Fuente: elaboración propia.

Gráfico 17. Curva granulométrica agregado grueso TMN 1/2", ensayo 03



Fuente: elaboración propia.

Tabla 36. Peso unitario suelto del agregado grueso TMN 1", según NTP 400.017

Descripción	unidad	M1	M2	M3	Promedio
Peso molde + muestra	kg	17.29	17.10	17.22	
Peso molde	kg	7.14	7.14	7.14	
Peso muestra	kg	10.15	9.96	10.08	
Volumen	m <sup>3</sup>	0.01	0.01	0.01	
Peso unitario suelto (PUS)	kg/m <sup>3</sup>	1445	1418	1435	1433
Desviación estándar (s)		11	<b>Dentro de la tolerancia</b>		
% vacíos suelto	%	44	44	44	44

Fuente: elaboración propia.

Tabla 37. Peso unitario suelto del agregado grueso TMN 3/4"

Descripción	unidad	M1	M2	M3	Promedio
Peso molde + muestra	kg	17.256	17.192	17.214	
Peso molde	kg	7.139	7.139	7.139	
Peso muestra	kg	10.117	10.053	10.075	
Volumen	m3	0.01	0.01	0.01	
Peso unitario suelto (PUS)	kg/m3	1440	1431	1434	1435
Desviación estándar (s)		4	Dentro de la tolerancia		
% vacíos suelto	%	43	44	43	43

Fuente: elaboración propia.

Tabla 38. Peso unitario suelto del agregado grueso TMN 1/2"

Descripción	unidad	M1	M2	M3	Promedio
Peso molde + muestra	kg	17.367	17.206	17.216	
Peso molde	kg	7.139	7.139	7.139	
Peso muestra	kg	10.228	10.067	10.077	
Volumen	m3	0.01	0.01	0.01	
Peso unitario suelto (PUS)	kg/m3	1456	1433	1434	1441
Desviación estándar (s)		10	Dentro de la tolerancia		
% vacíos suelto	%	43	43	44	43

Fuente: elaboración propia.

Tabla 39. Peso unitario compactado del agregado grueso TMN 1"

Descripción	unidad	M1	M2	M3	Promedio
Peso molde + muestra	kg	18.04	18.09	18.03	
Peso molde	kg	7.14	7.14	7.14	
Peso muestra	kg	10.91	10.95	10.89	
Volumen	m3	0.01	0.01	0.01	
Peso unitario compactado (PUC)	kg/m3	1552	1559	1550	1554
Desviación estándar (s)		4	Dentro de la tolerancia		
% vacíos compactado	%	40	39	39	39

Fuente: elaboración propia.

Tabla 40. Peso unitario compactado del agregado grueso TMN 3/4"

Descripción	unidad	M1	M2	M3	Promedio
Peso molde + muestra	kg	18.01	18.13	18.10	
Peso molde	kg	7.14	7.14	7.14	
Peso muestra	kg	10.87	11.00	10.96	
Volumen	m3	0.01	0.01	0.01	
Peso unitario compactado (PUC)	kg/m3	1547	1565	1559	1557
Desviación estándar (s)		8	Dentro de la tolerancia		
% vacíos compactado	%	39	38	38	39

Fuente: elaboración propia.

Tabla 41. Peso unitario compactado del agregado grueso TMN 1/2"

Descripción	unidad	M1	M2	M3	Promedio
Peso molde + muestra	kg	18.07	18.15	18.22	
Peso molde	kg	7.14	7.14	7.14	
Peso muestra	kg	10.94	11.01	11.08	
Volumen	m3	0.01	0.01	0.01	
Peso unitario compactado (PUC)	kg/m3	1556	1567	1577	1567
Desviación estándar (s)		8	<b>Dentro de la tolerancia</b>		
% vacíos compactado	%	39	38	38	38

Fuente: elaboración propia.

Tabla 42. Peso específico y absorción del agregado grueso TMN 1"

Descripción	unidad	M1	M2	M3	Promedio
Peso en el agua de la muestra saturada (C)	kg	2.48	2.46	2.47	
Peso muestra saturada superficialmente seca (B)	kg	4.00	4.01	4.01	
Peso muestra secada en horno (A)	kg	3.95	3.94	3.97	
Peso específico de masa (Pem)	-	2.59	2.55	2.56	2.57
Peso específico de masa saturada con superficie seca (PeSSS)	-	2.63	2.59	2.59	2.60
Peso específico aparente (Pea)	-	2.69	2.66	2.64	2.66
Absorción (Ab)	%	1.5	1.6	1.2	1.4

Fuente: elaboración propia.

Tabla 43. Peso específico y absorción del agregado grueso TMN 3/4"

Descripción	unidad	M1	M2	M3	Promedio
Peso en el agua de la muestra saturada	kg	1.68	1.85	1.89	
Peso muestra saturada superficialmente seca	kg	2.74	3.01	3.09	
Peso muestra seca en el aire	kg	2.70	2.97	3.04	
Peso específico de masa (Pem)	-	2.54	2.55	2.53	2.54
Peso específico de masa saturada con superficie seca (PeSSS)	-	2.58	2.59	2.57	2.58
Peso específico aparente (Pea)	-	2.65	2.65	2.64	2.65
Absorción (Ab)	%	1.6	1.5	1.6	1.6

Fuente: elaboración propia.

Tabla 44. Peso específico y absorción del agregado grueso TMN 1/2"

Descripción	unidad	M1	M2	M3	Promedio
Peso en el agua de la muestra saturada	kg	1.05	1.25	1.27	
Peso muestra saturada superficialmente seca	kg	1.71	2.04	2.07	
Peso muestra seca en el aire	kg	1.68	2.00	2.03	
Peso específico de masa (Pem)	-	2.54	2.54	2.55	2.54
Peso específico de masa saturada con superficie seca (PeSSS)	-	2.59	2.59	2.59	2.59
Peso específico aparente (Pea)	-	2.67	2.68	2.67	2.67
Absorción (Ab)	%	1.9	2.1	1.8	1.9

Fuente: elaboración propia.

Tabla 45. Ensayo de abrasión del agregado grueso TMN 1"

Gradación	Equipo mecánico	N° de esferas	Velocidad (rev/min)	N° de Revol.	Tam. Máx. Nom.
A	Máquina de los Ángeles	12	30-33	500	1"

Descripción	unidad	M1	M2	M3	Promedio
Masa inicial de la muestra seca	kg	5	5	5	
Masa final de la muestra seca	kg	3.808	3.767	3.847	
Porcentaje de desgaste	%	23.84	24.66	23.06	23.85

Fuente: elaboración propia.

Tabla 46. Ensayo de abrasión del agregado grueso TMN 3/4"

Gradación	Equipo mecánico	N° de esferas	Velocidad (rev/min)	N° de Revol.	Tam. Máx. Nom.
B	Máquina de los Ángeles	11	30-33	500	3/4"

Descripción	unidad	M1	M2	M3	Promedio
Masa inicial de la muestra seca	kg	5	5	5	
Masa final de la muestra seca	kg	3.689	3.812	3.715	
Porcentaje de desgaste	%	26.22	23.76	25.7	25.23

Fuente: elaboración propia.

Tabla 47. Contenido de humedad del agregado grueso TMN 1/2"

Descripción	unidad	M1	M2	M3	Promedio
Peso muestra húmeda	kg	2.022	2.015	2.005	
Peso muestra seca	kg	2.008	2.003	1.991	
Contenido de humedad	%	0.7	0.6	0.7	0.7

Fuente: elaboración propia.

Tabla 48. Ensayo abrasión del agregado grueso TMN 1/2"

<b>Gradación</b>	<b>Equipo mecánico</b>	<b>N° de esferas</b>	<b>Velocidad (rev/min)</b>	<b>N° de Revol.</b>	<b>Tam. Máx. Nom.</b>
B	Máquina de los Ángeles	11	30-33	500	1/2"
<b>Descripción</b>	<b>unidad</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>Promedio</b>
Masa inicial de la muestra seca	kg	5	5	5	
Masa final de la muestra seca	kg	3.769	3.874	3.857	
Porcentaje de desgaste	%	24.62	22.52	22.86	23.33

Fuente: elaboración propia.

Tabla 49. Porcentaje de finos que pasan la malla N° 200, agregado grueso

<b>Tamaño</b>	<b>Muestra 01 (%)</b>	<b>Muestra 02 (%)</b>	<b>Muestra 03 (%)</b>	<b>Promedio (%)</b>
TMN 1/2"	0.4	0.3	0.5	0.4
TMN 3/4"	0.1	0.1	0.2	0.1
TMN 1"	0.4	0.6	0.3	0.4

Fuente: elaboración propia.

Tabla 50. Contenido de humedad del agregado grueso TMN 1"

<b>Descripción</b>	<b>unidad</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>Promedio</b>
Peso muestra húmeda	kg	4.01	4.08	4.05	
Peso muestra seca	kg	4.00	4.07	4.04	
Contenido de humedad	%	0.3	0.2	0.2	0.3

Fuente: elaboración propia.

Tabla 51. Contenido de humedad del agregado grueso TMN 3/4"

<b>Descripción</b>	<b>unidad</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>Promedio</b>
Peso muestra húmeda	kg	2.047	1.021	3.010	
Peso muestra seca	kg	2.039	1.017	3.001	
Contenido de humedad	%	0.4	0.4	0.3	0.4

Fuente: elaboración propia.

## **APÉNDICE B: DISEÑO DE MEZCLAS PARA LOS TAMAÑOS MÁXIMOS NOMINALES DE AGREGADO GRUESO DE 1", 3/4" Y 1/2".**

### **1.1. DISEÑO DE MEZCLA PARA AGREGADO GRUESO DE TMN 1": A**

continuación, se presenta el diseño de mezclas realizado con el método del Módulo de Finura de la Combinación de Agregados con los datos de las propiedades físicas y mecánicas obtenidos de los ensayos de laboratorio.

#### **I. ESPECIFICACIONES**

Resistencia de diseño a los 28 días es de 210 kg/cm<sup>2</sup>, se desconoce el valor

##### **1.1. de la desviación estándar**

$$f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

#### **1.2. Materiales**

##### **1.2.1. Cemento Pacasmayo Portland Tipo I**

Peso Específico 3.11 gr/cm<sup>3</sup>

##### **1.2.2. Agregado fino**

Peso específico de masa (Pem)	2.54
Peso específico aparente (Pea)	2.69
PemSSS	2.60
Absorción	2.18 %
Porcentaje de vacíos	38 %
Contenido de humedad	4.76 %
Módulo de fineza	2.99
Peso unitario suelto	1575 kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1717 kg/m <sup>3</sup>

##### **1.2.3 Agregado grueso**

Tamaño máximo nominal	1 "
Peso unitario suelto	1433 kg/m <sup>3</sup>
Peso específico de masa (Pem)	2.57
Peso específico aparente (Pea)	2.66
PemSSS	2.60
Absorción	1.43 %
Contenido de humedad	0.26 %
Módulo de fineza	7.60
Peso unitario compactado	1554 kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje de vacíos	44 %

##### **1.2.4. Agua**

Agua potable de la zona



## II. SECUENCIA DE DISEÑO

### 2.1. Selección de la resistencia ( $f'_{cr}$ )

Dado que no se conoce el valor de la desviación estándar, entonces la resistencia de diseño lo tomaremos de acuerdo a la siguiente tabla:

Coeficiente de variación y grados de control	valor %	
	Obtenidos únicamente en ensayos de laboratorio	5
Excelente en obra	10	12
bueno	15	15
Regular	18	18
Inferior	20	20
Malo	25	25

Fuente: ACI 211

Se selecciona un porcentaje del 10% teniendo una resistencia de diseño de:

$$f'_{cr} = 231 \text{ kg/cm}^2$$

### 2.2. Selección del tamaño máximo nominal:

$$TMN = 1" \quad 25.00 \text{ mm}$$

### 2.3. Selección del asentamiento:

$$\text{Consistencia} = \text{Plástica} \quad 3 \text{ a } 4 \text{ pulg}$$

### 2.4. Volumen unitario de agua

$$\text{agua} = 193 \text{ lt/m}^3$$

### 2.5. Contenido de aire

$$\text{Cont. Aire} = 1.5 \%$$

### 2.6. Relación agua - cemento

$$250 \quad 0.62$$

$$231 \quad 0.65$$

$$200 \quad 0.70$$

$$\text{Agua/cemento} = 0.65$$

### 2.7. Factor cemento

$$\text{Cemento} = 296.74 \text{ kg/m}^3 \quad 6.98 \text{ bolsas/m}^3$$

### 2.8. Cálculo de volúmenes absolutos

$$\text{cemento} = 0.095 \text{ m}^3$$

$$\text{agua} = 0.193 \text{ m}^3$$

$$\text{aire} = 0.015 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen conocido} = 0.303 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de los agregados} = 0.697 \text{ m}^3$$

### 2.9. Selección del agregado fino

$$\text{cemento} = \text{mc}$$

$$6.00 \quad 5.26$$

$$6.98 \quad 5.34$$

$$7.00 \quad 5.34$$

mc =	5.339
rf =	0.490
Vol. Agr. Fino	0.341 m <sup>3</sup>
Peso de agregado fino	868.37 kg/m <sup>3</sup>

**2.10. Selección del agregado grueso**

rg =	0.510
Vol.Agr. Grueso	0.355 m <sup>3</sup>
Peso de agregado grueso	911.62 kg/m <sup>3</sup>

**2.11. Valores de diseño**

Cemento	296.74 kg/m <sup>3</sup>
Agua	193.00 lt/m <sup>3</sup>
Agr. Fino	868.37 kg/m <sup>3</sup>
Agr. Grueso	911.62 kg/m <sup>3</sup>

**2.12. Corrección por humedad de agregados**

Cálculo de los pesos húmedos:

Agregado fino	909.70 Kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso	914.03 Kg/cm <sup>3</sup>

Humedad superficial

Agregado fino	2.58 %
Agregado grueso	-1.16 %

Aporte de humedad de los agregados

Agregado fino	22.40 lt/m <sup>3</sup>
Agregado grueso	-10.60 lt/m <sup>3</sup>
Total	<u>11.80</u> lt/m <sup>3</sup>

Agua efectiva	181.20 lt/m <sup>3</sup>
---------------	--------------------------

Los pesos de los materiales corregidos serán:

<b>Cemento</b>	<b>296.74 kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Agua</b>	<b>181.20 lt/m<sup>3</sup></b>
<b>Agr. Fino</b>	<b>909.70 kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Agr. Grueso</b>	<b>914.03 kg/m<sup>3</sup></b>

## 1.2.DISEÑO DE MEZCLA PARA AGREGADO GRUESO DE TMN 3/4": A

continuación, se presenta el diseño de mezclas realizado con el método del Módulo de Finura de la Combinación de Agregados con los datos de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados obtenidos de los ensayos de laboratorio.

### I. ESPECIFICACIONES

- 1.1. Resistencia de diseño a los 28 días es de 210 kg/cm<sup>2</sup>, se desconoce el valor de la desviación estándar

$$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

### 1.2. Materiales

#### 1.2.1. Cemento Pacasmayo Portland Tipo I

Peso

$$\text{Específico} = 3.11 \text{ gr/cm}^3$$

#### 1.2.2. Agregado fino

Peso específico de masa (Pem)	2.54
Peso específico aparente (Pea)	2.69
PemSSS	2.60
Absorción	2.18 %
Porcentaje de vacíos	38 %
Contenido de humedad	4.76 %
Módulo de fineza	2.99
Peso unitario suelto	1575 kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1717 kg/m <sup>3</sup>

#### 1.2.3. Agregado grueso

Tamaño máximo nominal	3/4 "
Peso unitario suelto	1435 kg/m <sup>3</sup>
Peso específico de masa (Pem)	2.54
Peso específico aparente (Pea)	2.65
PemSSS	2.58
Absorción	1.56 %
Contenido de humedad	0.36 %
Módulo de fineza	6.90
Peso unitario compactado	1557 kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje de vacíos	39 %

#### 1.2.4. Agua

Agua potable de la zona

## II. SECUENCIA DE DISEÑO

### 2.1. Selección de la resistencia ( $f'_{cr}$ )

Dado que no se conoce el valor de la desviación estándar, entonces la resistencia de diseño lo tomaremos de acuerdo a la siguiente tabla:

Coefficiente de variación y grados de control	valor %	
Obtenidos únicamente en ensayos de laboratorio	5	5
Excelente en obra	10	12
bueno	15	15
Regular	18	18
Inferior	20	20
Malo	25	25

Fuente: ACI 211

Se selecciona un porcentaje del 10% teniendo una resistencia de diseño de:

	$f'_{cr} =$	231	kg/cm <sup>2</sup>
<b>2.2. Selección del tamaño máximo nominal:</b>	TMN=	3/4"	19.00 mm
<b>2.3. Selección del asentamiento:</b>	Consistencia =	Plástica	3 a 4 pulg
<b>2.4. Volumen unitario de agua</b>	agua	205	lt/m <sup>3</sup>
<b>2.5. Contenido de aire</b>	Cont. Aire	2	%
<b>2.6. Relación agua - cemento</b>			
	250	0.62	
	231	0.65	
	200	0.70	
	Agua/cemento	0.65	
<b>2.7. Factor cemento</b>	Cemento	315.19	kg/m <sup>3</sup> 7.42 bolsas/m <sup>3</sup>
<b>2.8. Cálculo de volúmenes absolutos</b>			
	cemento	0.101	m <sup>3</sup>
	agua	0.205	m <sup>3</sup>
	aire	0.020	m <sup>3</sup>
	Volumen conocido	0.326	m <sup>3</sup>
	Volumen de los agregados	0.674	m <sup>3</sup>
<b>2.9. Selección del agregado fino</b>			
	cemento	mc	
	7.00	5.04	
	7.42	5.07	
	8.00	5.11	
	mc =	5.069	
	rf =	0.468	
	Vol.Agr. Fino	0.316	m <sup>3</sup>
	Peso de agregado fino	802.82	kg/m <sup>3</sup>

**2.10. Selección del agregado grueso**

rg =	0.532
Vol.Agr. Grueso	0.358 m <sup>3</sup>
Peso de agregado grueso	909.71 kg/m <sup>3</sup>

**2.11. Valores de diseño**

Cemento	315.19 kg/m <sup>3</sup>
Agua	205.00 lt/m <sup>3</sup>
Agr. Fino	802.82 kg/m <sup>3</sup>
Agr. Grueso	909.71 kg/m <sup>3</sup>

**2.12. Corrección por humedad de agregados**

Cálculo del peso húmedos:

Agregado fino	841.04 Kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso	912.99 Kg/m <sup>3</sup>

Humedad superficial

Agregado fino	2.58 %
Agregado grueso	-1.20 %

Aporte de humedad de los agregados

Agregado fino	20.71 lt/m <sup>3</sup>
Agregado grueso	<u>-10.93</u> lt/m <sup>3</sup>
Total	9.78 lt/m <sup>3</sup>

Agua efectiva	195.22 lt/m <sup>3</sup>
---------------	--------------------------

Los pesos de los materiales corregidos serán:

<b>Cemento</b>	<b>315.19 kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Agua</b>	<b>195.22 lt/m<sup>3</sup></b>
<b>Agr. Fino</b>	<b>841.04 kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Agr. Grueso</b>	<b>912.99 kg/m<sup>3</sup></b>

### 1.3.DISEÑO DE MEZCLA PARA AGREGADO GRUESO DE TMN 1/2": A

continuación, se presenta el diseño de mezclas realizado con el método del Módulo de Finura de la Combinación de Agregados con los datos de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados obtenidos de los ensayos de laboratorio.

#### I. ESPECIFICACIONES

- 1.1. Resistencia de diseño a los 28 días es de 210 kg/cm<sup>2</sup>, se desconoce el valor de la desviación estándar

$$f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

#### 1.2. Materiales

##### 1.2.1. Cemento Pacasmayo Portland Tipo I

Peso Específico 3.11 gr/cm<sup>3</sup>

##### 1.2.2. Agregado fino

Peso específico de masa (Pem)	2.54
Peso específico aparente (Pea)	2.69
PemSSS	2.60
Absorción	2.18 %
Porcentaje de vacíos	38 %
Contenido de humedad	4.76 %
Módulo de fineza	2.99
Peso unitario suelto	1575 kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1717 kg/m <sup>3</sup>

##### 1.2.3. Agregado grueso

Tamaño máximo nominal	1/2 "
Peso unitario suelto	1441 kg/m <sup>3</sup>
Peso específico de masa (Pem)	2.54
Peso específico aparente (Pea)	2.67
PemSSS	2.59
Absorción	1.91 %
Contenido de humedad	0.66 %
Módulo de fineza	6.59
Peso unitario compactado	38 kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje de vacíos	38 %

##### 1.2.4. Agua

Agua potable de la zona

## II. SECUENCIA DE DISEÑO

### 2.1. Selección de la resistencia ( $f'_{cr}$ )

Dado que no se conoce el valor de la desviación estándar, entonces la resistencia de diseño lo tomaremos de acuerdo a la siguiente tabla:

Coeficiente de variación y grados de control	valor %	
	Obtenidos únicamente en ensayos de laboratorio	15
Excelente en obra	10	12
bueno	15	15
Regular	18	18
Inferior	20	20
Malo	25	25

Fuente: ACI 211

Se selecciona un porcentaje del 10% teniendo una resistencia de diseño de:

$$f'_{cr} = 231 \text{ kg/cm}^2$$

### 2.2. Selección del tamaño máximo nominal:

$$TMN = 1/2" \quad 12.50 \text{ mm}$$

### 2.3. Selección del asentamiento:

$$\text{Consistencia} = \text{Plástica} \quad 3 \text{ a } 4 \text{ pulg}$$

### 2.4. Volumen unitario de agua

$$\text{agua} = 216 \text{ lt/m}^3$$

### 2.5. Contenido de aire

$$\text{Cont. Aire} = 2.5 \%$$

### 2.6. Relación agua - cemento

$$250 \quad 0.62$$

$$231 \quad 0.65$$

$$200 \quad 0.70$$

$$\text{Agua/cemento} = 0.65$$

### 2.7. Factor cemento

$$\text{Cemento} = 332.10 \text{ kg/m}^3 \quad 7.81 \text{ bolsas/m}^3$$

### 2.8. Cálculo de volúmenes absolutos

$$\text{cemento} = 0.107 \text{ m}^3$$

$$\text{agua} = 0.216 \text{ m}^3$$

$$\text{aire} = 0.025 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen conocido} = 0.348 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de los agregados} = 0.652 \text{ m}^3$$

### 2.9. Selección del agregado fino

$$\text{cemento} = \text{mc}$$

$$7.00 \quad 4.54$$

$$7.81 \quad 4.60$$

$$8.00 \quad 4.61$$

mc =	4.597
rf =	0.553
Vol.Agr. Fino	0.361 m <sup>3</sup>
Peso de agregado fino	917.84 kg/m <sup>3</sup>

**2.10. Selección del agregado grueso**

rg =	0.447
Vol.Agr. Grueso	0.291 m <sup>3</sup>
Peso de agregado grueso	741.14 kg/m <sup>3</sup>

**2.11. Valores de diseño**

Cemento	332.10 kg/m <sup>3</sup>
Agua	216.00 lt/m <sup>3</sup>
Agr. Fino	917.84 kg/m <sup>3</sup>
Agr. Grueso	741.14 kg/m <sup>3</sup>

**2.12. Corrección por humedad de agregados**

Cálculo de los pesos húmedos:

Agregado	
fino	961.53 Kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso	746.04 Kg/m <sup>3</sup>

Humedad superficial

Agregado fino	2.58 %
Agregado grueso	-1.25 %

Aporte de humedad de los agregados

Agregado fino	23.67 lt/m <sup>3</sup>
Agregado grueso	-9.26 lt/m <sup>3</sup>
Total	<u>14.41</u> lt/m <sup>3</sup>

Agua efectiva	201.59 lt/m <sup>3</sup>
---------------	--------------------------

Los pesos de los materiales corregidos serán:

<b>Cemento</b>	<b>332.10 kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Agua</b>	<b>201.59 lt/m<sup>3</sup></b>
<b>Agr. Fino</b>	<b>961.53 kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Agr. Grueso</b>	<b>746.04 kg/m<sup>3</sup></b>



## APÉNDICE C: MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL CONCRETO

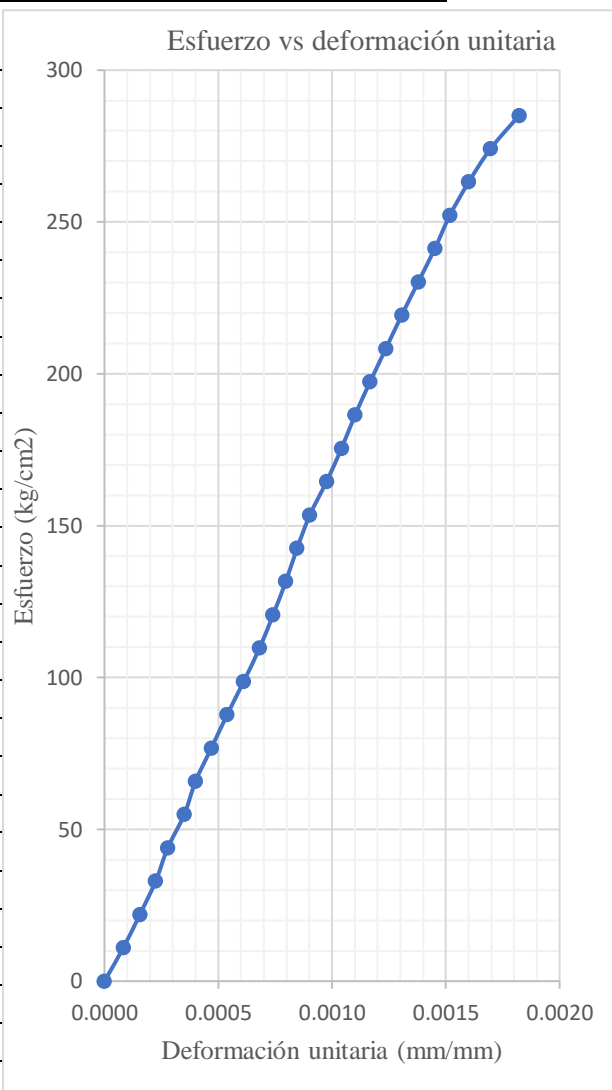
**1.1.MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO TMN 1”:** A continuación, se presenta el módulo de elasticidad estático del concreto para mezclas elaboradas con agregado grueso de TMN 1” obtenidos en el laboratorio.

Tabla52. Esfuerzo vs deformación unitaria TMN 1” – Probeta 01

Probeta	:	1	Edad	:	28 Días
Resistencia máxima:		285.06 kg/cm <sup>2</sup>	Área	:	182.41 cm <sup>2</sup>
Diámetro	:	15.20 cm	Altura	:	30.24 cm
Norma	:	ASTM C 469-02	Ec(E.060)	:	253255.80 Kg/cm <sup>2</sup>

Carga (tn)	Def. (mm)	Def. unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0.00	0.000	0.00000	0.00
2.00	0.025	0.00008	10.96
4.00	0.047	0.00016	21.93
6.00	0.068	0.00022	32.89
8.00	0.084	0.00028	43.86
10.00	0.106	0.00035	54.82
12.00	0.121	0.00040	65.78
14.00	0.142	0.00047	76.75
16.00	0.163	0.00054	87.71
18.00	0.185	0.00061	98.68
20.00	0.206	0.00068	109.64
22.00	0.224	0.00074	120.60
24.00	0.241	0.00080	131.57
26.00	0.256	0.00085	142.53
28.00	0.273	0.00090	153.50
30.00	0.295	0.00098	164.46
32.00	0.315	0.00104	175.42
34.00	0.333	0.00110	186.39
36.00	0.353	0.00117	197.35
38.00	0.374	0.00124	208.32
40.00	0.395	0.00131	219.28
42.00	0.417	0.00138	230.24
44.00	0.439	0.00145	241.21
46.00	0.459	0.00152	252.17
48.00	0.475	0.00157	263.14
50.00	0.497	0.00164	274.10
52.00	0.519	0.00172	285.06



Fuente: elaboración propia.

### MÓDULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0.000050}$$

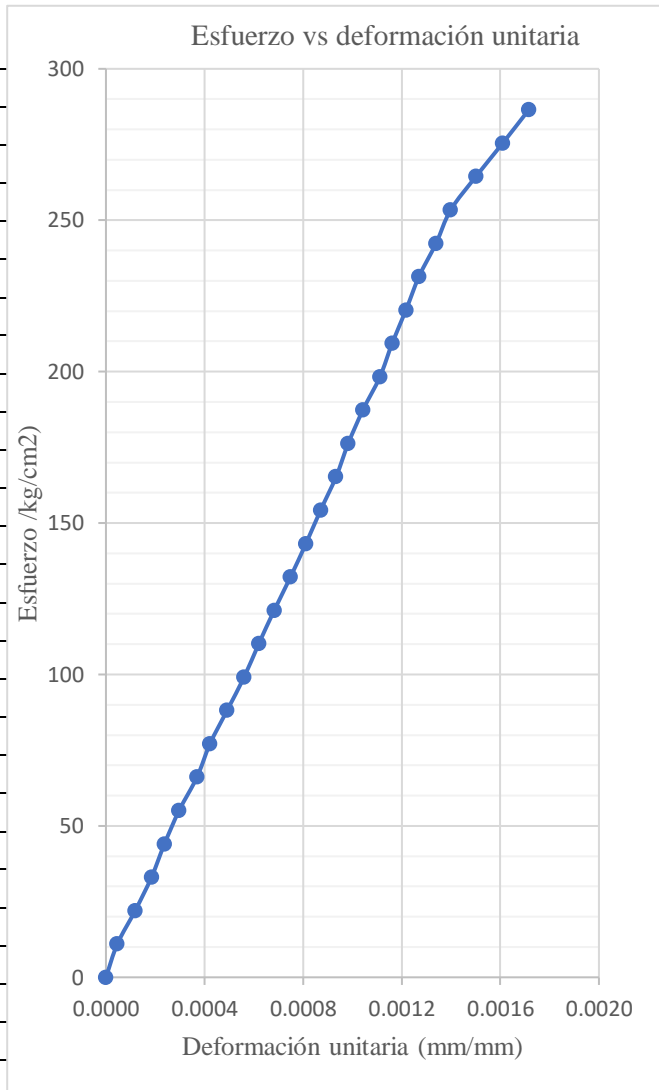
$S_2$     114.03    kg/cm<sup>2</sup>  
 $S_1$     6.63        kg/cm<sup>2</sup>  
 $\varepsilon_2$     0.00070

<b>Ec =</b>	<b>163973.3 kg/cm<sup>2</sup></b>
-------------	-----------------------------------

Tabla 53. Esfuerzo vs Deformación unitaria TMN 1" - Probeta 02

Probeta	:	2	Edad	:	28 Días		
Resistencia máxima:	286.45	kg/cm <sup>2</sup>	Área	:	181.53 cm <sup>2</sup>		
Diámetro	:	15.20	cm	Altura	:	30.32	cm
Norma	:	ASTM C 469-02	Ec(E.060)	:	253872.51	Kg/cm <sup>2</sup>	

Carga (tn)	Def. (mm)	Def. unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0.00	0.000	0.00000	0.00
2.00	0.014	0.00005	11.02
4.00	0.036	0.00012	22.03
6.00	0.056	0.00018	33.05
8.00	0.072	0.00024	44.07
10.00	0.090	0.00030	55.09
12.00	0.112	0.00037	66.10
14.00	0.128	0.00042	77.12
16.00	0.149	0.00049	88.14
18.00	0.170	0.00056	99.16
20.00	0.188	0.00062	110.17
22.00	0.207	0.00068	121.19
24.00	0.227	0.00075	132.21
26.00	0.246	0.00081	143.23
28.00	0.264	0.00087	154.24
30.00	0.283	0.00093	165.26
32.00	0.298	0.00098	176.28
34.00	0.316	0.00104	187.30
36.00	0.337	0.00111	198.31
38.00	0.352	0.00116	209.33
40.00	0.369	0.00122	220.35
42.00	0.385	0.00127	231.37
44.00	0.406	0.00134	242.38
46.00	0.424	0.00140	253.40
48.00	0.442	0.00146	264.42
50.00	0.459	0.00151	275.44
52.00	0.480	0.00158	286.45



Fuente: elaboración propia.

#### MÓDULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL

S <sub>2</sub>	114.58	kg/cm <sup>2</sup>
S <sub>1</sub>	11.60	kg/cm <sup>2</sup>
ε <sub>2</sub>	0.00065	

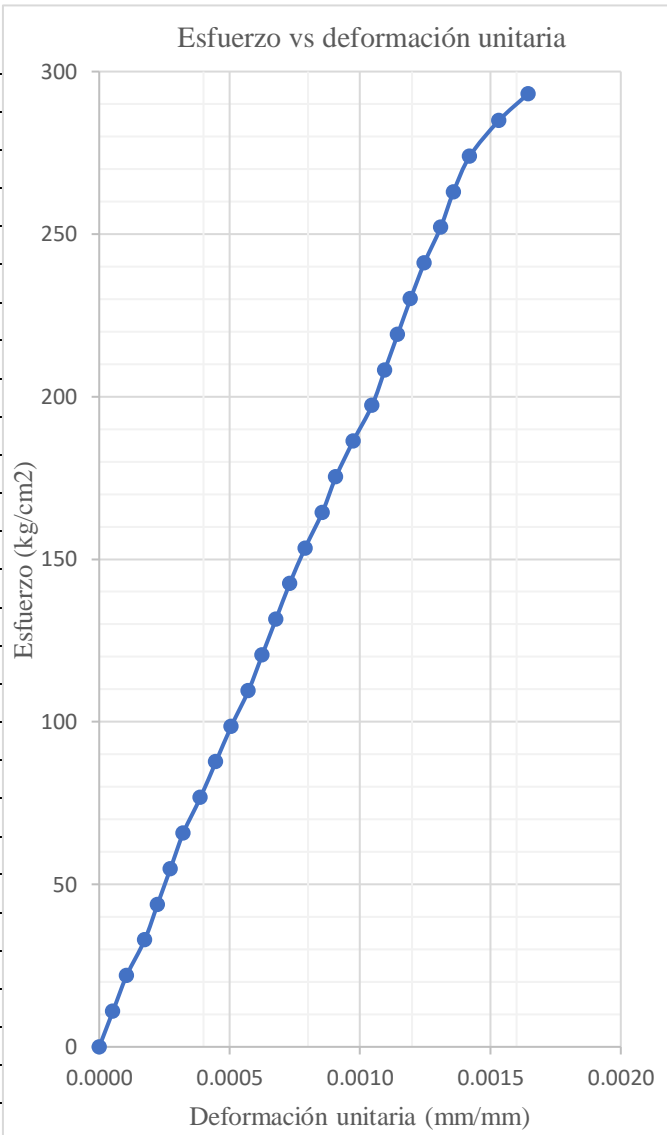
$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0.000050}$$

<b>Ec</b>	<b>173027.3</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>
-----------	-----------------	--------------------------

Tabla 54. Esfuerzo vs deformación unitaria TMN 1" - Probeta 03

Probeta	:	3	Edad	:	28 Días
Resistencia máxima	:	293.16 kg/cm <sup>2</sup>	Área	:	182.49 cm <sup>2</sup>
Diámetro	:	15.24 cm	Altura	:	30.40 cm
Norma	:	ASTM C 469-02	Ec(E.060)	:	256828.74 Kg/cm <sup>2</sup>

Carga (tn)	Def. (mm)	Def. unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0.00	0.000	0.00000	0.00
2.00	0.016	0.00005	10.96
4.00	0.032	0.00011	21.92
6.00	0.053	0.00017	32.88
8.00	0.068	0.00022	43.84
10.00	0.083	0.00027	54.80
12.00	0.098	0.00032	65.76
14.00	0.118	0.00039	76.71
16.00	0.136	0.00045	87.67
18.00	0.154	0.00051	98.63
20.00	0.174	0.00057	109.59
22.00	0.190	0.00063	120.55
24.00	0.206	0.00068	131.51
26.00	0.222	0.00073	142.47
28.00	0.240	0.00079	153.43
30.00	0.260	0.00086	164.39
32.00	0.276	0.00091	175.35
34.00	0.296	0.00097	186.31
36.00	0.318	0.00105	197.27
38.00	0.333	0.00110	208.23
40.00	0.348	0.00114	219.18
42.00	0.363	0.00119	230.14
44.00	0.379	0.00125	241.10
46.00	0.398	0.00131	252.06
48.00	0.413	0.00136	263.02
50.00	0.432	0.00142	273.98
52.00	0.453	0.00149	284.94
53.50	0.472	0.00155	293.16



Fuente: elaboración propia.

**MÓDULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL**

S<sub>2</sub> 117.26 kg/cm<sup>2</sup>

S<sub>1</sub> 10.41 kg/cm<sup>2</sup>

ε<sub>2</sub> 0.00061

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0.00005}$$

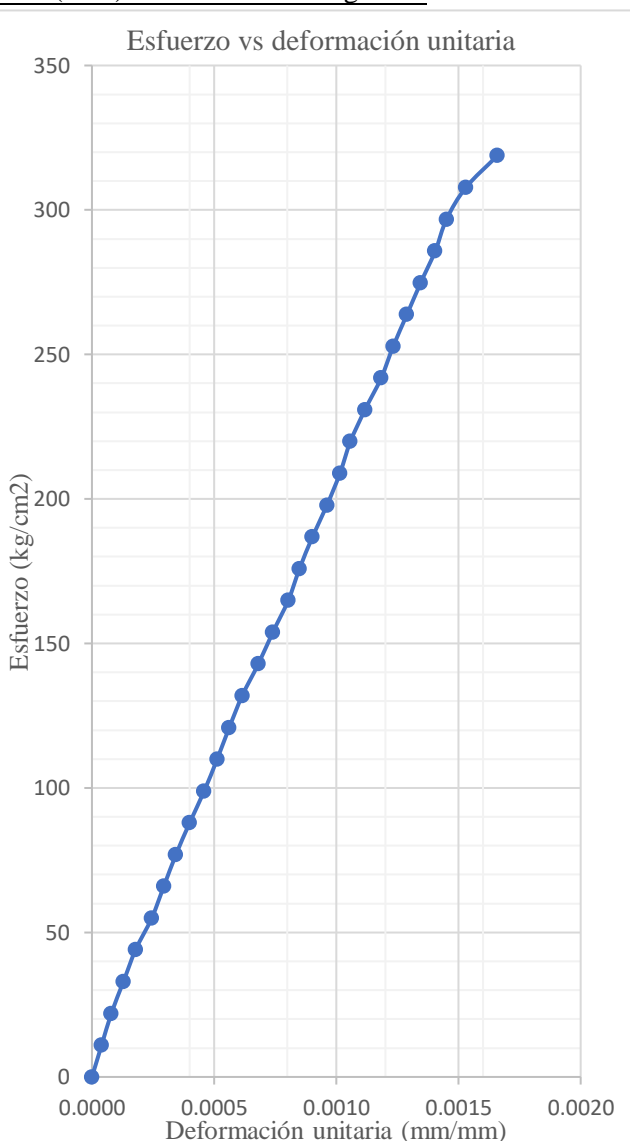
**Ec 191077.5 kg/cm<sup>2</sup>**

**1.2.MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO TMN 3/4”:** A continuación, se presenta el módulo de elasticidad estático del concreto para mezclas elaboradas con agregado grueso de TMN 3/4” obtenidos en el laboratorio.

Tabla 55. Esfuerzos vs deformación unitaria TMN 3/4 - Probeta 01

Probeta	:	1	Edad	:	28 Días
Resistencia máxima	:	318.81 kg/cm <sup>2</sup>	Área	:	181.93 cm <sup>2</sup>
Diámetro	:	15.22 cm	Altura	:	30.25 cm
Norma	:	ASTM C 469-02	Ec(0.60)	:	267828.77 Kg/cm <sup>2</sup>

Carga (tn)	Def. (mm)	Def. unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0.00	0.000	0.00000	0.00
2.00	0.012	0.00004	10.99
4.00	0.024	0.00008	21.99
6.00	0.039	0.00013	32.98
8.00	0.054	0.00018	43.97
10.00	0.074	0.00024	54.97
12.00	0.089	0.00029	65.96
14.00	0.104	0.00034	76.95
16.00	0.121	0.00040	87.95
18.00	0.139	0.00046	98.94
20.00	0.155	0.00051	109.93
22.00	0.170	0.00056	120.93
24.00	0.186	0.00061	131.92
26.00	0.206	0.00068	142.91
28.00	0.224	0.00074	153.91
30.00	0.243	0.00080	164.90
32.00	0.257	0.00085	175.89
34.00	0.273	0.00090	186.89
36.00	0.291	0.00096	197.88
38.00	0.307	0.00101	208.87
40.00	0.320	0.00106	219.87
42.00	0.338	0.00112	230.86
44.00	0.358	0.00118	241.85
46.00	0.373	0.00123	252.85
48.00	0.390	0.00129	263.84
50.00	0.407	0.00135	274.83
54.00	0.439	0.00145	296.82
58.00	0.476	0.00157	318.81



Fuente: elaboración propia.

**MÓDULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL**

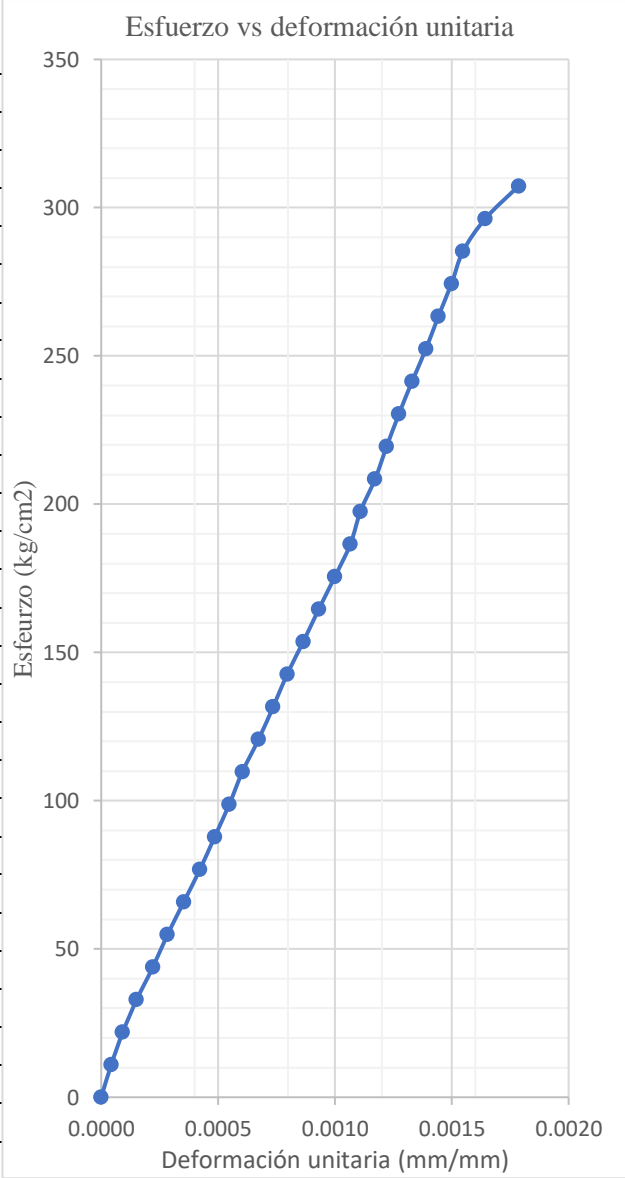
$S_2$	127.52	kg/cm <sup>2</sup>	$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0.000050}$
$S_1$	13.86	kg/cm <sup>2</sup>	
$\epsilon_2$	0.0006		

<b>Ec</b>	<b>209053.94 kg/cm<sup>2</sup></b>
-----------	------------------------------------

Tabla 56. Esfuerzo vs deformación unitaria TMN 3/4" - Probeta 02

Probeta	:	2	Edad	:	28 Días
Resistencia máxima	:	307.34 kg/cm <sup>2</sup>	Área	:	182.21 cm <sup>2</sup>
Diámetro	:	15.23 cm	Altura	:	30.28 cm
Norma	:	ASTM C 469-02	Ec(0.60)	:	262966.73 Kg/cm <sup>2</sup>

Carga (tn)	Def. (mm)	Def. unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0.00	0.000	0.00000	0.00
2.00	0.013	0.00004	10.98
4.00	0.028	0.00009	21.95
6.00	0.046	0.00015	32.93
8.00	0.067	0.00022	43.91
10.00	0.086	0.00028	54.88
12.00	0.107	0.00035	65.86
14.00	0.128	0.00042	76.84
16.00	0.147	0.00049	87.81
18.00	0.166	0.00055	98.79
20.00	0.183	0.00060	109.77
22.00	0.204	0.00067	120.74
24.00	0.223	0.00074	131.72
26.00	0.241	0.00080	142.69
28.00	0.262	0.00087	153.67
30.00	0.282	0.00093	164.65
32.00	0.303	0.00100	175.62
34.00	0.323	0.00107	186.60
36.00	0.336	0.00111	197.58
38.00	0.355	0.00117	208.55
40.00	0.370	0.00122	219.53
42.00	0.386	0.00127	230.51
44.00	0.403	0.00133	241.48
46.00	0.421	0.00139	252.46
48.00	0.437	0.00144	263.44
50.00	0.454	0.00150	274.41
52.00	0.469	0.00155	285.39
54.00	0.486	0.00160	296.37
56.00	0.518	0.00171	307.34



Fuente: elaboración propia.

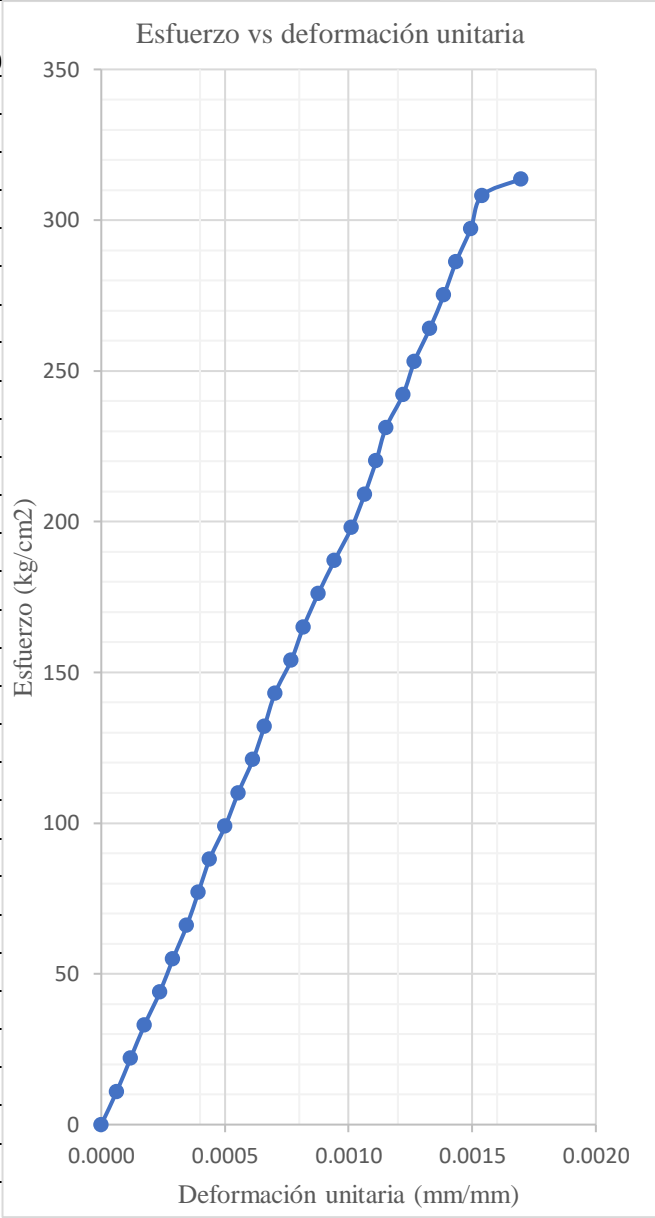
**MÓDULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL**

S <sub>2</sub>	122.94	kg/cm <sup>2</sup>	$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0.000050}$
S <sub>1</sub>	12.54	kg/cm <sup>2</sup>	
ε <sub>2</sub>	0.0007		
<b>Ec</b>	<b>173523.46</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	

Tabla 57. Esfuerzo vs deformación unitaria TMN 3/4" - Probeta 03

Probeta	:	3	Edad	:	28 Días
Resistencia máxima	:	313.69 kg/cm <sup>2</sup>	Área	:	181.71 cm <sup>2</sup>
Diámetro	:	15.21 cm	Altura	:	30.32 cm
Norma	:	ASTM C 469-02	Ec(0.60)	:	265669.44 Kg/cm <sup>2</sup>

Carga (tn)	Def. (mm)	Def. unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0.00	0.000	0.00000	0.00
2.00	0.019	0.00006	11.01
4.00	0.036	0.00012	22.01
6.00	0.053	0.00017	33.02
8.00	0.072	0.00024	44.03
10.00	0.088	0.00029	55.03
12.00	0.105	0.00035	66.04
14.00	0.119	0.00039	77.05
16.00	0.133	0.00044	88.05
18.00	0.152	0.00050	99.06
20.00	0.168	0.00055	110.07
22.00	0.186	0.00061	121.08
24.00	0.200	0.00066	132.08
26.00	0.213	0.00070	143.09
28.00	0.233	0.00077	154.10
30.00	0.248	0.00082	165.10
32.00	0.266	0.00088	176.11
34.00	0.286	0.00094	187.12
36.00	0.307	0.00101	198.12
38.00	0.323	0.00107	209.13
40.00	0.337	0.00111	220.14
42.00	0.349	0.00115	231.14
44.00	0.370	0.00122	242.15
46.00	0.384	0.00127	253.16
48.00	0.403	0.00133	264.16
50.00	0.420	0.00139	275.17
52.00	0.435	0.00143	286.18
54.00	0.453	0.00149	297.18
56.00	0.467	0.00154	308.19
57.00	0.488	0.00161	313.69



Fuente: elaboración propia.

**MÓDULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL**

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0.000050}$$

$S_2$     125.48    kg/cm<sup>2</sup>  
 $S_1$     8.52        kg/cm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_2$     632.00

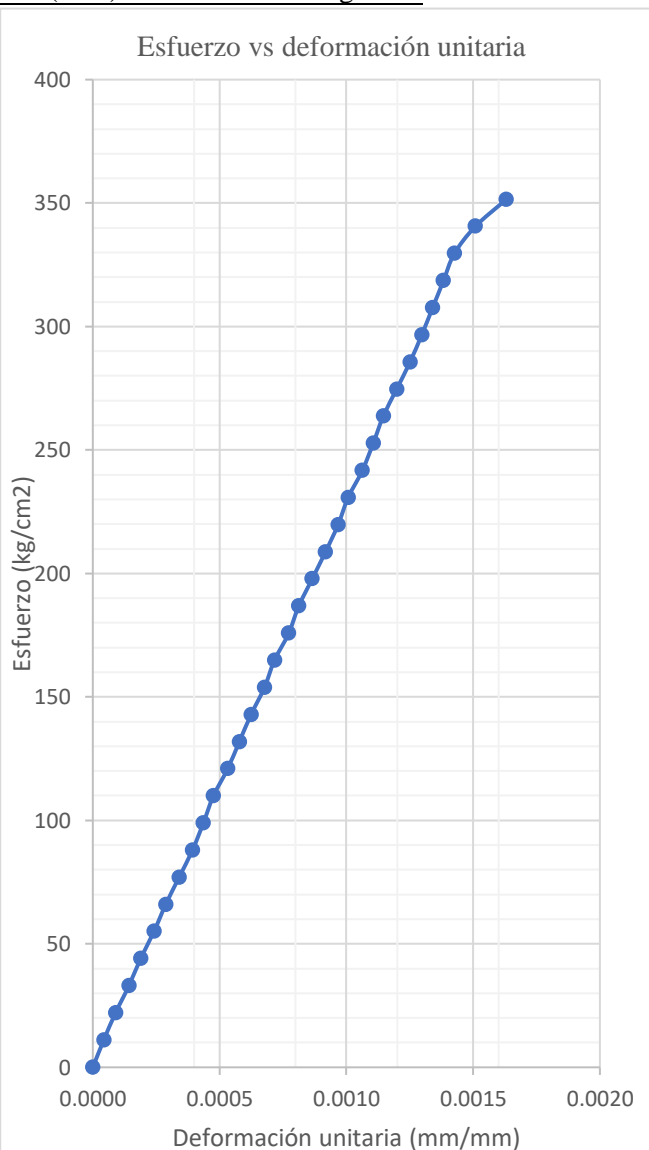
**Ec        200961.08 kg/cm<sup>2</sup>**

**1.3.MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO TMN 1/2”:** A continuación, se presenta el módulo de elasticidad estático del concreto para mezclas elaboradas con agregado grueso de TMN 1/2” obtenidos en el laboratorio.

Tabla 58. Esfuerzo vs deformación unitaria TMN 1/2” - Probeta 01

Probeta	:	1	Edad	:	28 Días
Resistencia máxima	:	351.48 kg/cm <sup>2</sup>	Área	:	182.09 cm <sup>2</sup>
Diámetro	:	15.23 cm	Altura	:	30.30 cm
Norma	:	ASTM C 469-02	Ec(0.60)	:	281217.00 Kg/cm <sup>2</sup>

Carga (tn)	Def. (mm)	Def. unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0.00	0.000	0.00000	0.00
2.00	0.013	0.00004	10.98
4.00	0.027	0.00009	21.97
6.00	0.043	0.00014	32.95
8.00	0.057	0.00019	43.93
10.00	0.073	0.00024	54.92
12.00	0.087	0.00029	65.90
14.00	0.103	0.00034	76.89
16.00	0.119	0.00039	87.87
18.00	0.132	0.00044	98.85
20.00	0.144	0.00048	109.84
22.00	0.161	0.00053	120.82
24.00	0.175	0.00058	131.80
26.00	0.189	0.00062	142.79
28.00	0.205	0.00068	153.77
30.00	0.217	0.00072	164.76
32.00	0.234	0.00077	175.74
34.00	0.246	0.00081	186.72
36.00	0.262	0.00086	197.71
38.00	0.278	0.00092	208.69
40.00	0.293	0.00097	219.67
42.00	0.305	0.00101	230.66
44.00	0.322	0.00106	241.64
48.00	0.347	0.00115	263.61
52.00	0.379	0.00125	285.58
56.00	0.406	0.00134	307.54
60.00	0.432	0.00143	329.51
64.00	0.469	0.00155	351.48



Fuente: elaboración propia.

**MÓDULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL**

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0.000050}$$

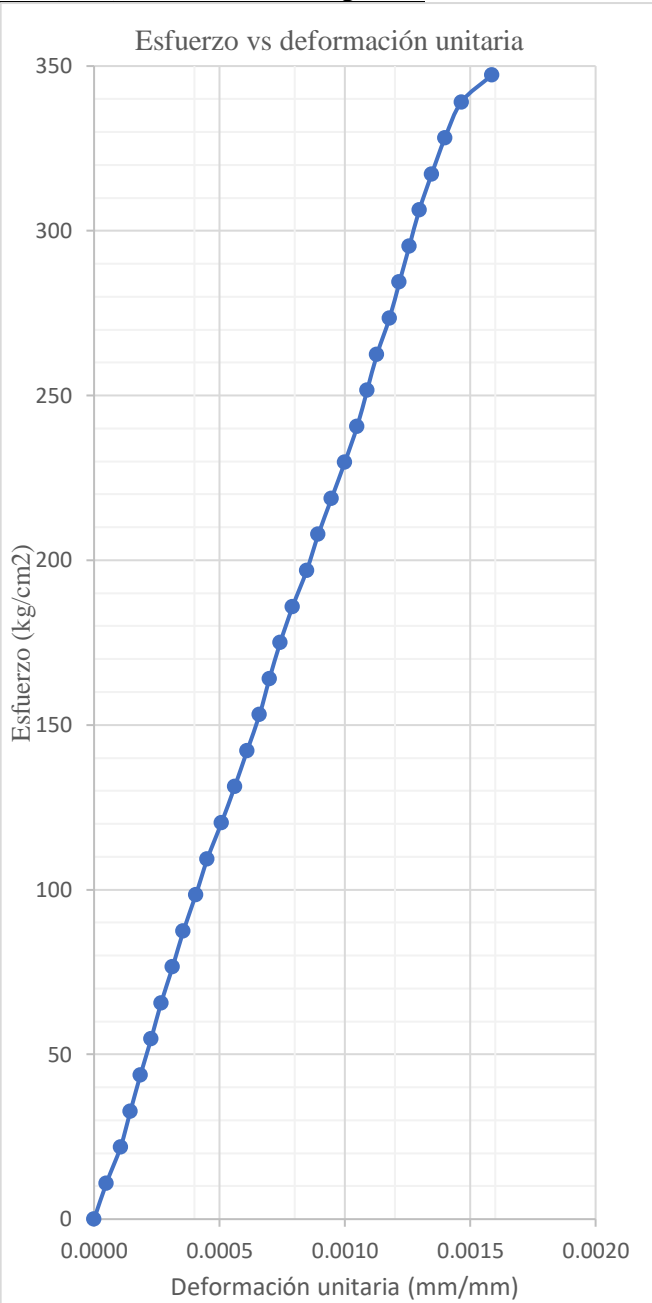
$S_2$     140.59    kg/cm<sup>2</sup>  
 $S_1$     12.67    kg/cm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_2$     0.00061

<b>Ec</b>	<b>226600.97 kg/cm<sup>2</sup></b>
-----------	------------------------------------

Tabla 59. Esfuerzo vs deformación unitaria TMN 1/2" - Probeta 02

Probeta	:	2	Edad	:	28 Días
Resistencia máxima:		347.33 kg/cm <sup>2</sup>	Área	:	182.82 cm <sup>2</sup>
Diámetro	:	15.26 cm	Altura	:	30.30 cm
Norma	:	ASTM C 469-02	Ec(0.60)	:	279551.87 Kg/cm <sup>2</sup>

Carga (tn)	Def. (mm)	Def. unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0.00	0.000	0.00000	0.00
2.00	0.015	0.00005	10.94
4.00	0.032	0.00011	21.88
6.00	0.044	0.00015	32.82
8.00	0.056	0.00018	43.76
10.00	0.069	0.00023	54.70
12.00	0.081	0.00027	65.64
14.00	0.095	0.00031	76.58
16.00	0.108	0.00036	87.52
18.00	0.123	0.00041	98.46
20.00	0.137	0.00045	109.40
22.00	0.154	0.00051	120.34
24.00	0.170	0.00056	131.28
26.00	0.185	0.00061	142.21
28.00	0.200	0.00066	153.15
30.00	0.212	0.00070	164.09
32.00	0.225	0.00074	175.03
34.00	0.240	0.00079	185.97
36.00	0.257	0.00085	196.91
38.00	0.271	0.00089	207.85
40.00	0.287	0.00095	218.79
42.00	0.303	0.00100	229.73
44.00	0.318	0.00105	240.67
46.00	0.330	0.00109	251.61
48.00	0.342	0.00113	262.55
50.00	0.357	0.00118	273.49
52.00	0.369	0.00122	284.43
54.00	0.381	0.00126	295.37
56.00	0.393	0.00130	306.31
58.00	0.408	0.00135	317.25
60.00	0.424	0.00140	328.19
63.50	0.468	0.00154	347.33



Fuente: elaboración propia.

**MÓDULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL**

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0.000050}$$

$S_2$     138.93    kg/cm<sup>2</sup>  
 $S_1$     11.04    kg/cm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_2$     0.00060

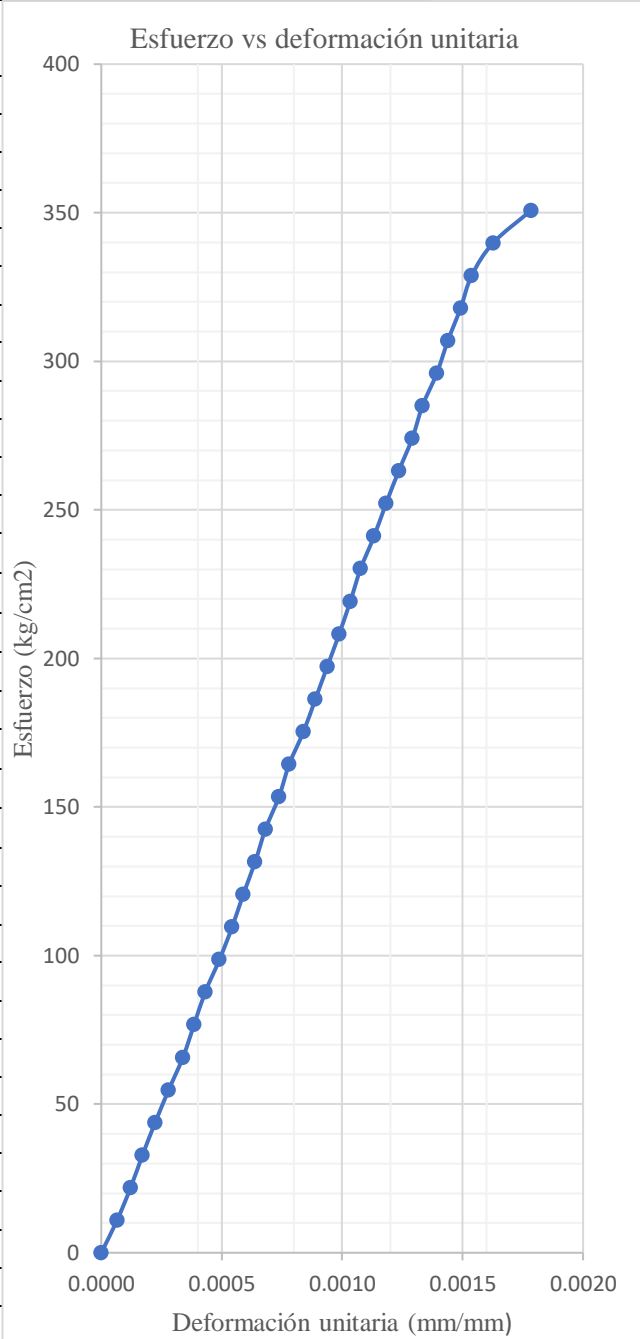
**Ec    234368.1    kg/cm<sup>2</sup>**



Tabla 60. Esfuerzo vs deformación unitaria TMN 1/2" - Probeta 03

Probeta	:	3	Edad	:	28 Días
Resistencia máxima	:	350.82 kg/cm <sup>2</sup>	Área	:	182.43 cm <sup>2</sup>
Diámetro	:	15.24 cm	Altura	:	30.37 cm
Norma	:	ASTM C 469-02	Ec(0.60)	:	280952.84 Kg/cm <sup>2</sup>

Carga (tn)	Def. (mm)	Def. unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0.00	0.000	0.00000	0.00
2.00	0.020	0.00007	10.96
4.00	0.037	0.00012	21.93
6.00	0.052	0.00017	32.89
8.00	0.068	0.00022	43.85
10.00	0.085	0.00028	54.82
12.00	0.103	0.00034	65.78
14.00	0.117	0.00039	76.74
16.00	0.131	0.00043	87.70
18.00	0.149	0.00049	98.67
20.00	0.165	0.00054	109.63
22.00	0.179	0.00059	120.59
24.00	0.194	0.00064	131.56
26.00	0.207	0.00068	142.52
28.00	0.224	0.00074	153.48
30.00	0.237	0.00078	164.45
32.00	0.255	0.00084	175.41
34.00	0.270	0.00089	186.37
36.00	0.285	0.00094	197.34
38.00	0.300	0.00099	208.30
40.00	0.314	0.00103	219.26
42.00	0.327	0.00108	230.22
44.00	0.344	0.00113	241.19
46.00	0.359	0.00118	252.15
48.00	0.375	0.00123	263.11
50.00	0.392	0.00129	274.08
52.00	0.405	0.00133	285.04
54.00	0.423	0.00139	296.00
56.00	0.437	0.00144	306.97
58.00	0.453	0.00149	317.93
60.00	0.467	0.00154	328.89
62.00	0.483	0.00159	339.86
64.00	0.508	0.00167	350.82



Fuente: elaboración propia.

**MÓDULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL**

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0.000050}$$

$S_2$     140.33    kg/cm<sup>2</sup>  
 $S_1$     7.86        kg/cm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_2$     0.00067

<b>Ec</b>	<b>212596.78 kg/cm<sup>2</sup></b>
-----------	------------------------------------

## ANEXOS

### ANEXO 01: PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 7. Ensayo de propiedades físico-mecánicas de agregados (granulometría)



Fuente: elaboración propia.

Figura 8. Ensayo de propiedades físico-mecánicas de agregados (peso unitario)



Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Medición de asentamiento para probetas de estudio



Fuente: elaboración propia.

Figura 10. Llenado de probetas de estudio



Fuente: elaboración propia.

*Figura 11. Golpeo con martillo de goma durante el llenado en probetas de estudio*



Fuente: elaboración propia.

*Figura 12. Elaboración de probetas de estudio*



Fuente: elaboración propia

Figura 13. Refrentado de probetas con pasta de cemento



Fuente: elaboración propia.

Figura 14. Desmolde de probetas de estudio



Fuente: elaboración propia.

*Figura 15. Ensayo de probetas de estudio*



Fuente: elaboración propia.

*Figura 16. Rotura de probetas de estudio*



Fuente: elaboración propia.

*Figura 17. Ensayo de probeta midiendo la deformación unitaria*



Fuente: elaboración propia.

*Figura 18. Probetas de estudio ensayadas*



Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO 02: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO USADO PARA EL ESTUDIO



### DESCRIPCIÓN

**Cemento Portland de uso general Tipo I.** Gracias a su diseño de clinker, se logra una mejor resistencia a la compresión garantizando óptimos resultados en tu obra.

### ATRIBUTOS

#### Altas resistencias a todas las edades

- Desarrolla altas resistencias iniciales que garantiza un adecuado avance de obra.
- El diseño correcto en concreto garantiza un menor tiempo de desencofrado.

### PRESENTACIONES



\*En cumplimiento de la Norma Metrológica Peruana (NMP 002-2018)

### RECOMENDACIONES DE USO



Utilizar agregados y materiales de buena calidad.



A mayor sea la humedad de los agregados, se debe dosificar menor cantidad de agua.

### DOSIFICACIONES RECOMENDADAS

- Las proporciones de los materiales están sujetas a la calidad de los agregados de la zona, y a la ejecución de un diseño de mezclas por un experto, pero es aceptado que con materiales aprobados para construcción se usen las siguientes proporciones.

Aplicación	Resistencia (f'c)	Cemento	Arena limpia	Piedra de tamaño máximo 19 mm	Agua
Losas aligeradas, placas y otros	175	1	2	3	0.5 (*)
Vigas y columnas	210	1	2	2	0.5 (*)

(\*) El agua debe ser la suficiente para lograr una consistencia trabajable (slump de 5 a 6 pulgadas), la mezcla no debe estar muy aguada, debe poder levantarse con un badilejo sin escurrirse rápidamente.

- Para otro tipo de concreto se requiere un diseño de mezclas específico, si se usan aditivos el agua debe reducirse.
- Usar un único recipiente de medida.

### RECOMENDACIONES DE ALMACENAMIENTO

- 1 Los primeros cementos que entren, deben ser los primeros en salir.
- 2 Las bolsas de cemento deben almacenarse a una distancia de 15 cms como mínimo de las paredes del almacén y 60 cms de otras pilas.
- 3 Cubrir con una capa impermeable para evitar la humedad.
- 4 Reducir tiempo de almacenamiento cuando las temperaturas sean menores a 10°C.
- 5 Revisar la bolsa de cemento antes de usarla para verificar si es que tiene grumos. En caso tenga grumos, antes de su uso tamizar la bolsa.
- 6 Colocar parihuelas de madera para evitar la humedad del suelo.
- 7 Evitar la circulación del aire entre bolsas en el apilado.






## ¿QUÉ ES EL ECOSACO?


Bolsa que se disgrega con la acción de la piedra en mezclas de concreto.


## BENEFICIOS DE USAR ECOSACO


- El Ecosaco reducirá el riesgo de exposición al polvo del cemento al maestro ya que va directamente al trompo sin necesidad de abrir la bolsa cuando se ejecutan las mezclas de concreto.
- El Ecosaco genera cero desperdicios, con la acción de la piedra el empaque se disgrega en la mezcla de concreto.
- El Ecosaco mejora la productividad, ahorra en el tiempo de limpieza en obra y gestión de desechos de construcción.

## CÓMO USAR EL ECOSACO EN 5 MINUTOS

- 

**AGREGA** la mitad de la proporción de agua (A) y luego introduce el EcoSaco (sin abrir) directo a un trompo de al menos 340 litros.
- 

**AÑADE** el total de los áridos: piedra (B) y arena (C) en el trompo, según el diseño de concreto.
- 

**AJUSTA** la mezcla añadiendo el resto de la proporción de agua y asegura que toda la bolsa esté incorporada en la mezcla para lograr una correcta integración.
- 

**MEZCLA** hasta tener un resultado homogéneo y con la fluidez buscada.

## ESCALA DE EMISIONES DE CARBONO

	Factor Clinker	Emisiones
<b>Bajo</b>	hasta 70%	500 a 700 Kg CO2 eq
<b>Medio</b>	71% a 88%	701 a 800 Kg CO2 eq
<b>Alto</b>	89% a 100%	801 Kg CO2 eq a más

\*Tipo I se encuentra en el rango alto en emisiones de carbono según el informe de auditoría realizado por Ecoamet 2022.

\*Los resultados presentados corresponden por tonelada (TN) de cemento.

## CERTIFICACIÓN EN CUMPLIMIENTO DEL DECRETO SUPREMO N° 001-2022-PRODUCE

Certificación que valida el **cumplimiento del Reglamento Técnico sobre Cemento Hidráulico** utilizado en Edificaciones y Construcciones en General

### Empresa Certificadora:

ICONTEC, Organismo de certificación internacional reconocido por el IAF (Foro Internacional de Acreditación) con alta experiencia certificando productos y servicios en el mundo.



NTP 334.808  
ASTM C 150  
Cemento Portland

DS 001-2022-PRODUCE  
Cemento Hidráulico  
utilizado en Edificaciones y  
Construcciones en General

Cementos Pacasmayo optó por el modelo de certificación más alto y riguroso obteniendo la máxima certificación: Esquema Tipo 5.

1 2 3 4 5

\*Tipos de esquema de certificación

**Esquema Tipo 5:** Certifica el proceso productivo y la comercialización, verificación del sistema de gestión de calidad en el comercializador, verificación del control de la producción en planta y verificación del sistema de gestión de calidad en planta.

## CERTIFICACIONES DE LA COMPAÑÍA



También miembros de **gbc<sup>pe</sup>**

# Cemento Tipo I

## Cemento Portland de uso general Tipo I

Requisitos normalizados - NTP 334.009 / ASTM C150

### REQUISITOS QUÍMICOS

ENSAYOS	TIPO	VALOR	UNIDAD	NORMAS DE ENSAYO	RESULTADOS*
MgO	Máximo	6.0	%	NTP 334.086	1.7
SO <sub>3</sub>	Máximo	3.00	%	NTP 334.086	2.82
Alcalis equivalente	-	-	%	NTP 334.086	0.8
Pérdida por ignición	Máximo	3.5	%	NTP 334.086	2.8
Residuo insoluble	Máximo	1.5	%	NTP 334.086	0.6

### REQUISITOS FÍSICOS

ENSAYOS	TIPO	VALOR	UNIDAD	NORMAS DE ENSAYO	RESULTADOS*
<b>Finura</b>					
Superficie específica	Mínimo	2,600	cm <sup>2</sup> /g	NTP 334.002	4100
Expansión en autoclave	Máximo	0.80	%	NTP 334.004	0.08
Contenido de aire	Máximo	12	%	NTP 334.048	7
<b>Resistencia a la compresión</b>					
3 días	Mínimo	12.0 (1740)	MPa (psi)	NTP 334.051	27.6 (4000)
7 días	Mínimo	19.0 (2760)	MPa (psi)	NTP 334.051	33.3 (4830)
28 días**	Mínimo	28.0 (4060)	MPa (psi)	NTP 334.051	40.5 (5870)
<b>Tiempo de Fraguado Vicat</b>					
Fraguado inicial	Mínimo	45	Minutos	NTP 334.006	148
Fraguado final	Máximo	375	Minutos	NTP 334.006	274
Expansión en barra de mortero curada en agua a 14 días	Máximo	0.020	%	NTP 334.093	0.008

\*Valores promedios referenciales de lotes despachados / \*\*Requisito opcional.

El cemento descrito arriba, al tiempo del envío, cumple con los requisitos físicos y químicos de la NTP 334.009 / ASTM C150



# ANEXO 03: CONSTANCIA DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES.



Universidad Nacional de Cajamarca  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
*Laboratorio de Ensayo de Materiales*



El jefe del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca expide, la siguiente:

## CONSTANCIA

El Bach. Cristhian Gabriel Martínez Domínguez, Exalumno de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca, que se ha realizado las siguientes actividades:

ÍTEM	DETALLE
01	Ensayo contenido de humedad
02	Ensayo análisis granulométrico
03	Ensayo peso unitario suelto y compactado
04	Ensayo peso específico
05	Ensayo de absorción
06	Ensayo de resistencia a la degradación, por abrasión e impacto
07	Elaboración de especímenes de concreto
08	Ensayo a compresión muestras cilíndricas

Para la Tesis Titulada: "INFLUENCIA DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL CONCRETO  $F'c=210$  KG/CM<sup>2</sup> EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA". Las actividades se desarrollaron del 11 de marzo al 17 de mayo 2024.

Se expide el presente, para fines que se estime conveniente.

Cajamarca, 02 de agosto de 2024.

Atentamente:

c.c. a:  
\_Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

Ing. Mauro Sotillo  
JEFE DEL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES