

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

---



**La Densidad del Agregado Grueso y  
el Módulo de Elasticidad en el  
Concreto Hidráulico**

**TESINA**

Que para obtener el título de  
**Especialista en Construcción**

**P R E S E N T A**

Ing. Callejas Alducin Manuel Santiago

**DIRECTOR DE TESINA**

Ing. Álvaro Jorge Ortiz Fernández



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2024

## Agradecimientos

En este momento tan significativo, deseo expresar mi profunda gratitud a todos aquellos que han hecho posible la culminación de este proyecto académico, mi tesina de ingeniería civil como especialista.

A mi amada familia, quienes siempre han sido mi fuente inagotable de apoyo y aliento: a mi querida madre, cuyo amor incondicional y sacrificio han sido la luz que guió cada paso de mi camino; a mi valioso padre, por su constante estímulo y sabios consejos que han fortalecido mi determinación; a mi hermana, compañera de risas y confidente en los momentos más desafiantes; y a mi abuela, cuyo cariño y sabiduría han sido un faro en mi vida.

Agradezco de manera especial al Ingeniero Álvaro Jorge Ortiz Fernández, mi respetado tutor de tesis, por su dedicación incansable, su orientación experta y su paciencia inquebrantable a lo largo de este proceso. Su profundo conocimiento y su guía han sido fundamentales para el desarrollo y la dirección de este trabajo.

Asimismo, quiero reconocer y agradecer a todos los profesores, amigos y colegas que de alguna manera contribuyeron con sus ideas, comentarios y apoyo durante este viaje académico.

Finalmente, agradezco a la Facultad de Ingeniería por brindarme los conocimientos y el ambiente propicio para el aprendizaje y la investigación.

Este logro no habría sido posible sin el apoyo incondicional de cada uno de ustedes. Sus palabras de aliento y su confianza en mí han sido el motor que impulsó este proyecto hacia su conclusión.

¡Gracias!



## Tabla de contenido

Agradecimientos.....	2
Introducción.....	4
<b>En que variables el módulo de elasticidad mencionado en la normativa, no satisface las demandas de un proyecto .....</b>	<b>5</b>
<b>Bancos de materiales.....</b>	<b>5</b>
<b>Ubicación.....</b>	<b>5</b>
<b>Ciudad de México.....</b>	<b>6</b>
<b>Estado de México.....</b>	<b>7</b>
<b>Morelos.....</b>	<b>8</b>
<b>Puebla.....</b>	<b>9</b>
<b>Hidalgo .....</b>	<b>10</b>
<b>Definición de conceptos.....</b>	<b>11</b>
<b>Definición de densidad.....</b>	<b>11</b>
<b>Densidad del agregado fino .....</b>	<b>12</b>
<b>Módulo de finura agregado fino .....</b>	<b>13</b>
<b>Densidad del agregado grueso.....</b>	<b>15</b>
<b>Definición de módulo de elasticidad .....</b>	<b>16</b>
<b>Dosificación de Mezclas .....</b>	<b>17</b>
<b>Dosificación.....</b>	<b>18</b>
<b>Elaboración de los cilindros a ensayar .....</b>	<b>19</b>
<b>Pruebas realizadas a los cilindros .....</b>	<b>22</b>
<b>Obtención de resultados.....</b>	<b>25</b>
<b>Ciudad de México .....</b>	<b>25</b>
<b>Estado de México.....</b>	<b>31</b>
<b>Morelos.....</b>	<b>33</b>
<b>Puebla.....</b>	<b>35</b>
<b>Hidalgo .....</b>	<b>37</b>
<b>Análisis de resultados.....</b>	<b>39</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>46</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>47</b>



## Tesina

# “La Densidad del Agregado Grueso y el Módulo de Elasticidad en el Concreto Hidráulico”



Ing. Callejas Alducin Manuel Santiago

- Objetivo. - Demostrar que la densidad del agregado grueso influye en el módulo de elasticidad del concreto endurecido.  
Elaborando mezclas de concreto con los mismos materiales en cada una de las mezclas y cambiando únicamente el agregado grueso.
- Problema de la práctica profesional que se diagnostica, analiza o se plantea su solución. - En muchas ocasiones el módulo de elasticidad que se ocupa incluso el que se recomienda en la normativa correspondiente, no satisface adecuadamente los requisitos del proyecto. Por lo que el ver la relación que tiene la densidad del agregado grueso con el módulo de elasticidad, favorecerá un mejor empleo de los materiales en el proyecto a elaborar.

## Introducción

La relación entre el módulo de elasticidad y la densidad del agregado grueso es un tema de gran importancia en la ingeniería civil y la geotecnia. Esta investigación se centra en explorar y comprender cómo la densidad del agregado grueso afecta las propiedades de elasticidad del concreto. El módulo de elasticidad es una medida crucial de la capacidad de un material para deformarse elásticamente bajo carga, y su relación con la densidad del agregado grueso puede tener implicaciones significativas en el diseño y la construcción de estructuras y cimentaciones. En esta tesis, se determinará que la densidad del agregado grueso influye en esta relación. Mediante una investigación exhaustiva y procedimientos dictados por las normas rigurosos, se busca aportar una nueva perspectiva y conocimientos que contribuyan al avance de la disciplina y a la optimización de prácticas constructivas.

## **En que variables el módulo de elasticidad mencionado en la normativa, no satisface las demandas de un proyecto**

Existen situaciones en las que el módulo de elasticidad recomendado en la normativa puede no satisfacer las demandas de un proyecto. Algunas variables que pueden influir en esta discrepancia incluyen:

1. Variabilidad del material: Si el concreto utilizado en el proyecto exhibe una variabilidad significativa en sus propiedades, como la resistencia a la compresión o la densidad, el módulo de elasticidad calculado puede no reflejar con precisión el comportamiento real del material en el sitio de construcción.
2. Edad del concreto: Para el cálculo del módulo de elasticidad del concreto se empleará la indicada en la norma NMX-C-128-ONNCCE-2020, correspondiente a la edad del concreto a los 28 días.
3. Errores de ensayo: Errores en la ejecución del ensayo de módulo de elasticidad, como errores en la carga aplicada o la medición de la deformación, pueden conducir a resultados inexactos que no reflejan las propiedades reales del material.

Es importante considerar estas variables y realizar ensayos y análisis adicionales según sea necesario para garantizar que el módulo de elasticidad utilizado en el diseño del proyecto sea representativo y satisfaga las demandas específicas de la aplicación.

## **Bancos de materiales**

### **Ubicación**

Recolectar agregado grueso de cinco estados diferentes, incluyendo Ciudad de México (CDMX), Puebla, Estado de México, Hidalgo y Morelos, ofreciendo una oportunidad para estudiar las diferencias geotécnicas entre estas regiones. Algunas de las posibles diferencias geotécnicas que podrían observarse:

1. Origen geológico: Cada región puede tener una geología distinta que influye en la composición y características del agregado grueso. Por ejemplo, en Hidalgo y Puebla, regiones cercanas a la Sierra Madre Oriental, es posible encontrar agregado grueso de origen volcánico, mientras que, en el Estado de México y Morelos, el agregado grueso puede ser más influenciada por depósitos sedimentarios.
2. Tamaño y forma de los agregados: el agregado grueso puede variar en tamaño y forma según la región de donde se extrae. Por ejemplo, en áreas montañosas como Hidalgo y Puebla, es posible encontrar agregado grueso con formas más angulosas debido a la acción de la erosión y el transporte por ríos y arroyos, mientras que, en

zonas más planas como el Estado de México y Morelos, el agregado grueso puede tener una forma más redondeada debido a la acción de la erosión fluvial y eólica.

3. Propiedades físicas: La densidad, absorción y resistencia del agregado grueso pueden variar según la región de donde se extrae y las condiciones geológicas locales. Por ejemplo, el agregado grueso extraída de depósitos aluviales en el Estado de México puede tener una mayor densidad y resistencia en comparación con el agregado grueso de origen volcánico en Hidalgo.

Un estudio geotécnico detallado que incluya análisis de laboratorio y pruebas de campo podría proporcionar una comprensión más completa de las diferencias entre las muestras de agregado grueso de cada región.

## **Ciudad de México**

La Ciudad de México se encuentra en una cuenca sedimentaria conocida como la Cuenca de México, rodeada por montañas y volcanes. La estratigrafía de la Ciudad de México está compuesta principalmente por una secuencia de depósitos geológicos que se han acumulado a lo largo de millones de años. Brevemente serán descritos los principales estratos y tipos de suelo presentes en la región, así como el tipo de agregado grueso que se puede encontrar en los diferentes bancos de materiales del estado:

Suelos lacustres y aluviales:

Gran parte de la Ciudad de México está compuesta por suelos lacustres y aluviales, que son depósitos de sedimentos provenientes de antiguos lagos y ríos que alguna vez ocuparon la cuenca. Estos suelos son típicamente arcillosos, limosos o arenosos, y pueden variar en densidad y composición a lo largo de la cuenca.

Material volcánico:

La región también está influenciada por la presencia de materiales volcánicos, principalmente cenizas, tufos y lavas, que han sido depositados por la actividad volcánica en la zona. Estos materiales pueden ser encontrados en diferentes partes de la Ciudad de México y pueden afectar las características geotécnicas del suelo.

Agregado grueso:

En cuanto al agregado grueso, la Ciudad de México cuenta con varios bancos de materiales que proporcionan este recurso para la construcción. El agregado grueso que se encuentra en la región puede variar en tamaño y composición dependiendo de su origen geológico. Por ejemplo, en algunas áreas cercanas a la Sierra de las Cruces en el Estado de México, se pueden encontrar depósitos de agregado grueso de origen aluvial con tamaños de grano variables y formas angulosas debido a la erosión y el

transporte por ríos y arroyos. En otras áreas, el agregado grueso puede ser de origen volcánico, con tamaños de grano más uniformes y formas más redondeadas.

Es importante realizar estudios geotécnicos detallados para caracterizar los suelos y los depósitos de agregado grueso en la Ciudad de México, con el fin de comprender sus propiedades y su comportamiento bajo diferentes condiciones de carga y construcción. Esto permite tomar decisiones informadas en el diseño y la construcción de proyectos de ingeniería civil en la región.

## **Estado de México**

El Estado de México, al igual que muchas otras regiones, presenta una variedad geológica que influye en la estratigrafía y en los tipos de suelo y agregados que se pueden encontrar en la región. Descripción general de la estratigrafía y los tipos de suelo que podrían encontrarse en el Estado de México, así como el tipo de agregado grueso que se puede encontrar en los diferentes bancos de materiales del estado:

### **Estratigrafía:**

El Estado de México se encuentra en la región centro-sur de México y está atravesado por la Cordillera Neovolcánica, que forma parte del eje Volcánico Transversal. Esta cordillera está compuesta por una serie de volcanes y depósitos volcánicos.

La geología del Estado de México está caracterizada por una mezcla de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. Los depósitos volcánicos, incluyendo lavas, piroclastos y depósitos de flujos piroclásticos, son comunes en la región debido a la actividad volcánica pasada y presente.

Además de los depósitos volcánicos, también se pueden encontrar sedimentitas como arcillas, limos y arenas en diferentes partes del estado, especialmente en áreas cercanas a ríos y cuerpos de agua.

### **Tipos de suelo:**

Los tipos de suelo que se pueden encontrar en el Estado de México varían dependiendo de la composición geológica y las condiciones locales. Entre los tipos de suelo más comunes se encuentran los suelos volcánicos, arcillosos, limosos y arenosos.

Los suelos volcánicos son comunes en áreas cercanas a volcanes y están compuestos por cenizas volcánicas y otros materiales eruptivos. Estos suelos tienden a ser fértiles y bien drenados.

Los suelos arcillosos son comunes en áreas con depósitos sedimentarios y pueden tener una alta plasticidad y retención de agua.

Los suelos limosos y arenosos son comunes en áreas cercanas a ríos y cuerpos de agua y pueden tener una buena capacidad de drenaje.

Agregado grueso:

El tipo de agregado grueso que se encuentra en los diferentes bancos de materiales del Estado de México puede variar según la ubicación y la geología local.

En áreas cercanas a volcanes y depósitos volcánicos, es posible encontrar agregado grueso de origen volcánico, que puede tener una textura más angular debido a la fragmentación durante las erupciones volcánicas.

En áreas con depósitos sedimentarios, como terrazas fluviales y depósitos aluviales, es posible encontrar agregado grueso de origen aluvial, que puede tener una textura más redondeada debido a la acción del transporte fluvial.

La calidad y las características del agregado grueso, como la resistencia, la abrasión y la forma de las partículas, pueden variar entre los diferentes bancos de materiales del Estado de México y pueden influir en su idoneidad para su uso en proyectos de construcción e ingeniería civil.

El Estado de México presenta una geología diversa que influye en la estratigrafía, los tipos de suelo y el tipo de agregado grueso que se pueden encontrar en la región. La comprensión de estas características geológicas es fundamental para la planificación y ejecución de proyectos de ingeniería civil y construcción en el estado.

## **Morelos**

La estratigrafía de Morelos se caracteriza por una diversidad geológica que ha sido influenciada por eventos tectónicos, vulcanismo y sedimentación a lo largo de millones de años. Morelos se encuentra en una zona de transición entre la Mesa Central Mexicana y la Sierra Madre del Sur, lo que contribuye a una variedad de formaciones geológicas y suelos.

En términos generales, el estado de Morelos se divide en tres regiones geológicas principales:

Región volcánica:

Esta región se encuentra en el norte y noroeste de Morelos y está dominada por la presencia de volcanes y depósitos volcánicos. Aquí se encuentran materiales como la toba volcánica, la andesita y la riolita, que pueden influir en la composición del agregado grueso y otros agregados gruesos.

### Región de la depresión del balsas:

En el suroeste de Morelos, esta región está caracterizada por una topografía más plana y depósitos aluviales provenientes del río Balsas. Los suelos en esta área pueden estar compuestos por arcillas, limos y arenas, con la presencia de agregado grueso proveniente de la erosión de las montañas circundantes.

### Región del eje Neovolcánico:

Esta región abarca el sur y sureste de Morelos y está influenciada por la presencia de volcanes activos e inactivos, así como por depósitos volcánicos. Aquí se pueden encontrar materiales como la andesita, basalto y toba volcánica, que pueden contribuir a la composición del agregado grueso y otros agregados gruesos.

Los tipos de agregados gruesos que se encuentran en los diferentes bancos de materiales del estado de Morelos pueden variar según la región geológica y la formación específica de donde se extraen. El agregado grueso puede ser de origen volcánico, sedimentario o aluvial, y su composición y propiedades físicas pueden variar en función de la geología local. Es importante realizar un estudio geotécnico detallado para caracterizar la composición y las propiedades del agregado grueso en cada banco de materiales y determinar su idoneidad para su uso en proyectos de ingeniería civil y construcción en el estado de Morelos.

## **Puebla**

La estratigrafía y las características del suelo en Puebla pueden variar considerablemente debido a la diversidad geológica y topográfica de la región. Puebla se encuentra en la parte central de México y abarca desde zonas montañosas hasta áreas más planas. Descripción general de la estratigrafía y las características del suelo en Puebla, así como algunas consideraciones sobre el tipo de agregado grueso que se puede encontrar en la región:

### Estratigrafía:

- Sierra Madre Oriental: En algunas áreas de Puebla, especialmente en la zona este, la Sierra Madre Oriental influye en la estratigrafía. Pueden encontrarse rocas sedimentarias y volcánicas de diferentes períodos geológicos, lo que contribuye a una diversidad geológica en la región.

- Depósitos Aluviales y Coluviales: En las áreas más bajas y planas, como los valles, es común encontrar depósitos aluviales y coluviales. Estos depósitos están formados por la acumulación de sedimentos transportados por ríos y procesos de movimientos en pendientes.

#### Tipo de Suelo:

- Suelos Volcánicos: En algunas áreas, especialmente cerca de los volcanes, se pueden encontrar suelos de origen volcánico. Estos suelos pueden ser ricos en minerales y materiales provenientes de erupciones volcánicas pasadas.
- Suelos Aluviales y Coluviales: En los valles y áreas más bajas, los suelos aluviales y coluviales pueden ser comunes. Estos suelos son típicamente más fértiles debido a la deposición de sedimentos provenientes de las montañas circundantes.

#### Tipo de agregado grueso:

- El agregado grueso en Puebla puede variar en tamaño y composición según la región. En áreas cercanas a ríos y arroyos, es común encontrar depósitos de agregado grueso natural transportados por el agua. La forma y el tamaño del agregado grueso pueden variar según la distancia al origen y los procesos de transporte.
- Es importante realizar estudios geotécnicos y análisis de laboratorio específicos para determinar las propiedades exactas del agregado grueso en diferentes bancos de materiales en Puebla. Esto puede incluir pruebas de granulometría, resistencia a la compresión y otras propiedades relevantes para proyectos de construcción.

Es recomendable trabajar con ingenieros geotécnicos locales y realizar estudios específicos del sitio para obtener información precisa sobre la estratigrafía, el tipo de suelo y los materiales de agregado grueso disponibles en la zona de interés.

## **Hidalgo**

Hidalgo es un estado ubicado en el centro de México, caracterizado por una geología diversa que incluye regiones montañosas, valles y áreas de llanura. La estratigrafía de Hidalgo está influenciada por su historia geológica, que abarca desde depósitos sedimentarios marinos hasta actividad volcánica y tectónica.

#### Geología y estratigrafía:

La geología de Hidalgo se compone de una variedad de formaciones geológicas. En la región oriental del estado, la Sierra Madre Oriental atraviesa el territorio, donde se pueden encontrar rocas ígneas y metamórficas. En el centro y oeste del estado, predominan las rocas sedimentarias, como calizas, margas y areniscas, que son producto de procesos deposicionales en ambientes marinos y continentales.

#### Tipos de suelos:

Los suelos en Hidalgo varían ampliamente debido a la diversidad geológica y topográfica. En las áreas montañosas, los suelos pueden ser del tipo andosol,

desarrollados a partir de cenizas volcánicas, y regosoles, suelos poco desarrollados sobre roca madre. En las regiones de valles y llanuras, los suelos pueden incluir vertisoles, que son suelos arcillosos con alta capacidad de contracción y expansión, así como fluvisoles, suelos aluviales depositados por ríos.

Agregado grueso:

Los bancos de materiales en Hidalgo pueden contener una variedad de agregados gruesos, incluyendo agregado grueso de origen aluvial y volcánico. El agregado grueso aluvial se encuentra comúnmente en los lechos de ríos y arroyos, y puede variar en tamaño y forma según la geología local. El agregado grueso de origen volcánico puede estar compuesta de fragmentos de roca ígnea, como andesita o basalto, y puede tener una forma más angulosa debido a la acción de la erosión y el transporte.

## **Definición de conceptos**

### **Definición de densidad**

La densidad es una medida que describe cuánta masa está contenida en un volumen determinado de una sustancia o material. Matemáticamente, se calcula dividiendo la masa de un objeto por su volumen. La densidad se expresa típicamente en unidades de masa por unidad de volumen, como gramos por centímetro cúbico ( $\text{g/cm}^3$ ) en el Sistema Internacional de Unidades (SI).

La densidad es una propiedad física importante que se utiliza en diversas áreas de la ciencia y la ingeniería, incluyendo la geología, la química, la ingeniería de materiales y la ingeniería civil. En la ingeniería civil, por ejemplo, la densidad de los materiales como el suelo, el agregado grueso o el concreto es fundamental para determinar su resistencia y comportamiento bajo cargas y presiones.

La determinación de la densidad del agregado grueso en México se realiza generalmente siguiendo las normas establecidas por la Norma Mexicana (NMX) correspondiente. En particular, la NMX-C-159-ONNCCE es la norma mexicana que establece el método de prueba para determinar la densidad y absorción del agregado grueso utilizado en la construcción de obras de ingeniería civil.

Este estándar describe un procedimiento detallado para realizar la prueba de densidad del agregado grueso. A grandes rasgos, el proceso implica los siguientes pasos:

1. Seleccionar una muestra representativa de agregado grueso que se va a analizar.

2. Secar la muestra en un horno a una temperatura específica (alrededor de 105 °C) hasta que alcance un peso constante.
3. Medir el volumen de la muestra utilizando un método de desplazamiento de agua o cualquier otro método adecuado.
4. Calcular la densidad del agregado grueso dividiendo su masa seca por su volumen.
5. Reportar los resultados de densidad en unidades de masa por unidad de volumen, como gramos por centímetro cúbico ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

Es importante seguir todas las instrucciones detalladas en la norma mexicana específica y utilizar el equipo de laboratorio adecuado para garantizar la precisión y la fiabilidad de los resultados obtenidos. Además, es recomendable consultar la normativa actualizada y específica aplicable al contexto y tipo de proyecto en cuestión.

### Densidad del agregado fino

Para determinar la densidad de la arena utilizando un matraz Erlenmeyer, se sigue el método de la densidad relativa (o densidad aparente) según la normativa NMX-C-165-ONNCCE-2020, que es el "*Método de prueba estándar para densidad, densidad relativa (densidad específica), y absorción de agregados finos*".



*Ilustración 1 Agregado Fino Seco*



*Ilustración 2 Agregado Fino Saturado*



*Ilustración 3 SSS Agregado Fino*



*Ilustración 5 Volumen Conocido Agregado Fino*



*Ilustración 4 SSS Agregado Fino Cono*



*Ilustración 6 Matraz Erlenmeyer*

Normativa Correspondiente vigente:

Este procedimiento sigue las directrices de la normativa NMX-C-165-ONNCCE-2020 para la determinación de la densidad y absorción de agregados finos.

### **Módulo de finura agregado fino**

El módulo de finura  $MF$  del agregado fino es un índice que indica la granulometría de una muestra de agregado. Se calcula sumando los porcentajes acumulados retenidos en una serie de tamices estándar y dividiendo por 100. Para determinar el módulo de finura de una muestra de arena utilizando los tamices específicos y siguiendo la normativa NMX-C-049-ONNCCE-2015:



Ilustración 7 Tamices



Ilustración 8 Material Retenido



Ilustración 9 Secado del Material Fino

### Cálculo

Tamiz ASTM		Peso del Tamiz	Peso en kg con todo y tamiz	Peso en kg del material	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
Nº	mm				% Retenido		
Nº4	4.75	0.453	0.538	0.085	4.27	4.27	95.73
Nº8	2,36	0.453	0.777	0.324	16.29	20.56	79.44
Nº16	1.18	0.411	0.722	0.311	15.64	36.20	63.80
Nº30	0.6	0.404	0.717	0.313	15.74	51.94	48.06
Nº50	0.3	0.401	1.2	0.799	40.17	92.11	7.89
Nº100	0.15	0.365	0.452	0.087	4.37	96.48	3.52
Recipiente		0.454	0.524	0.07			

Tabla 1 Módulo de Finura Agregado Fino

MF=	3.02
-----	------

## Normativa

La norma NMX-C-049-ONNCCE-2015, "Método de prueba estándar para el análisis granulométrico de los agregados finos y gruesos", detalla el procedimiento y los requisitos para realizar este análisis.

## Densidad del agregado grueso

Para determinar la densidad del agregado grueso según la norma NMX-C-164-ONNCCE-2020, se sigue un procedimiento estandarizado y normado.

Primero, se seleccionó una muestra del agregado grueso mayor a 1 kilogramo para fines representativos, mencionado en la norma. Luego, se procedió a pesar esta muestra en condiciones controladas de temperatura y humedad para obtener su masa en estado seco, dejando la muestra durante 24 horas a una temperatura de 110°C como dictamina la norma.

Posteriormente, se sumergió la muestra en agua durante un período de 24 horas, mencionado en la normativa, para permitir que se sature completamente. Después se retiró la muestra del agua, eliminando cualquier exceso de agua superficial con paños secos para no alterar la masa del material. Posteriormente se pesó la muestra saturada y seca para determinar su masa en estado saturado.

Con la ayuda del Picnómetro se obtuvo el volumen de agua desplazada por el agregado grueso saturado superficialmente seco.

Con estos dos valores de masa y el volumen de agua desplazada, se calculó la densidad del agregado grueso utilizando la fórmula estándar proporcionada por la norma NMX-C-ONNCCE, asegurando así que todos los cálculos y mediciones fueran realizados conforme a los estándares establecidos para garantizar la precisión y la reproducibilidad de los resultados. Para cada una de las respectivas muestras representativas se llevó a cabo el mismo procedimiento para poder obtener de cada material la respectiva densidad.



Ilustración 10 Agregados gruesos



Ilustración 11 Agregados en horno



Ilustración 13 Picnómetro



Ilustración 12 Agregados en báscula



Ilustración 14 Masa Volumétrica

## Definición de módulo de elasticidad

Es la relación que existe entre el esfuerzo y la deformación unitaria axial, al estar sometido el concreto a esfuerzos de compresión dentro del comportamiento elástico como lo menciona en la norma NMX-C-128-ONNCCE-2020.

Un material con un módulo de elasticidad alto es considerado rígido y experimentará una menor deformación bajo carga, mientras que un material con un módulo de elasticidad bajo es más flexible y experimentará una deformación más significativa bajo la misma carga.

El módulo de elasticidad es una propiedad importante en el diseño y la ingeniería de estructuras, ya que influye en cómo los materiales se comportan bajo diferentes condiciones de carga y temperatura. Se utiliza en una variedad de aplicaciones, desde el diseño de puentes y edificios hasta la fabricación de componentes en la industria automotriz y aeroespacial.

La Norma Mexicana NMX-C-128-ONNCCE-2013 "Industria de la construcción - Cemento Portland - Especificaciones y métodos de prueba", proporciona los procedimientos para determinar el módulo de elasticidad del concreto. El módulo de elasticidad del concreto se puede determinar mediante ensayos de compresión.

El procedimiento general para determinar el módulo de elasticidad del concreto según la norma mexicana implica los siguientes pasos:

1. Preparación de muestras: Se deben preparar especímenes cilíndricos de concreto, generalmente con un diámetro de 150 mm y una altura de 300 mm, utilizando muestras representativas del concreto que se va a analizar.
2. Curado de las muestras: Las muestras deben curarse adecuadamente para garantizar que alcancen una resistencia representativa del concreto en condiciones de servicio. El curado puede involucrar la inmersión en agua o la aplicación de métodos de curado específicos según las condiciones de temperatura y humedad.
3. Ensayo de compresión: Las muestras cilíndricas se someten a ensayos de compresión en una máquina de prueba de materiales adecuada. Durante el ensayo, se aplica una carga gradual y se registran la carga aplicada y la deformación resultante una vez cumplidos los 28 días de edad.
4. Determinación del módulo de elasticidad: A partir de los datos obtenidos durante el ensayo de compresión, se calcula el módulo de elasticidad del concreto utilizando la relación entre el esfuerzo y la deformación dentro del rango elástico del material. Este cálculo se realiza generalmente utilizando el método de las tangentes secantes en la región lineal del diagrama esfuerzo-deformación.

Es importante seguir las instrucciones detalladas de la norma mexicana y asegurarse de realizar los ensayos de acuerdo con las mejores prácticas de laboratorio para obtener resultados precisos y representativos del módulo de elasticidad del concreto.

## **Dosificación de Mezclas**

El American Concrete Institute (ACI) es una organización profesional sin fines de lucro dedicada al desarrollo, difusión y promoción del conocimiento sobre el concreto y sus aplicaciones en ingeniería y construcción. Fundada en 1904, el ACI se ha convertido en una autoridad líder en el campo del concreto, estableciendo estándares, guías y recomendaciones técnicas para el diseño, la producción y el uso del concreto en diversos proyectos de construcción.

Las actividades clave del ACI:

- Publicaciones técnicas: El ACI publica una variedad de documentos, incluyendo normas, manuales, guías, informes técnicos, y revistas, que proporcionan información actualizada sobre las mejores prácticas en el uso del concreto.
- Desarrollo de códigos y estándares: El ACI es responsable de crear y mantener códigos y estándares relacionados con el diseño, construcción y pruebas del concreto, como el código ACI 318 para diseño estructural.
- Formación y educación: Ofrece programas de certificación, cursos, seminarios y conferencias para ingenieros, arquitectos, contratistas y otros profesionales del sector de la construcción.
- Investigación y desarrollo: Apoya la investigación en el campo del concreto y promueve la innovación en materiales y técnicas de construcción.
- Red de profesionales: Proporciona una plataforma para el intercambio de ideas y experiencias entre profesionales del concreto a nivel mundial.

El ACI es una referencia importante para profesionales de la industria del concreto, brindando orientación técnica y fomentando la excelencia en el uso de concreto en proyectos de construcción, por lo que se empleará como referencia para esta tesina.

El diseño de mezclas para concreto según el método del ACI 211.1 es un proceso que ayuda a determinar las proporciones óptimas de cemento, agua, agregados y otros aditivos para lograr las propiedades deseadas en una mezcla de concreto.

El método ACI 211.1 para la dosificación de mezclas de concreto proporciona una guía sistemática para determinar las proporciones de los materiales de la mezcla, con el objetivo de lograr una mezcla de concreto con las propiedades deseadas.

Propiedades generales de todas las mezclas:

Revenimiento	8	cm
TMA	3/4	pulgadas
f'c	300	kgf/m <sup>2</sup>

Revenimiento=	80	mm
Agua=	203.8	l/m <sup>3</sup>

Cemento=	370.0648508	kg
Cemento=	0.12335495	m <sup>3</sup>

## Dosificación

Para cada una de las mezclas, aplicando el método ACI211.1 antes mencionado, se dosificó para un metro cubico de concreto, obteniendo los siguientes datos:

<b>Cantidades utilizadas para la elaboración de 1 m3 concreto</b>							
<b>Estado</b>	<b>Agua [l]</b>	<b>Cemento [kg]</b>	<b>Revenimiento [cm]</b>	<b>% absorción Agregado Grueso</b>	<b>Agregado Grueso [kg]</b>	<b>Agregado Fino [kg]</b>	<b>Agua de absorción [l]</b>
Morelos	203.80	370.06	8	0.452	978.95	647.18	47.572
CDMX	203.80	370.06	8	8.341	838.75	787.38	122.450
Edo Méx.	203.80	370.06	8	4.667	798.93	827.21	92.430
Puebla	203.80	370.06	8	5.386	870.62	755.52	97.263
Hidalgo	203.80	370.06	8	2.030	937.53	688.61	64.940

Tabla 2 Dosificación para 1 m3 de concreto

Calculando los volúmenes de mezcla a emplear para la fabricación de 5 cilindros para cada agregado diferente:

<b>Cantidades utilizadas para la elaboración de 5 cilindros de concreto</b>					
<b>Estado</b>	<b>Agua [l]</b>	<b>Cemento [kg]</b>	<b>Agregado Grueso [kg]</b>	<b>Agregado Fino [kg]</b>	<b>Agua de absorción [l]</b>
Morelos	6.21	11.28	29.84	19.73	1.450
CDMX	6.21	11.28	25.57	24.00	3.733
Edo Méx	6.21	11.28	24.35	25.22	2.818
Puebla	6.21	11.28	26.54	23.03	2.965
Hidalgo	6.21	11.28	28.58	20.99	1.980

Tabla 3 Cantidades utilizadas para la elaboración de 5 cilindros de concreto

## **Elaboración de los cilindros a ensayar**

El procedimiento para elaborar concreto en una revolvedora pequeña está regulado por varias normas, principalmente se consideró una normativa en función del trabajo:

- NMX-C-159-ONNCCE-2016 - Esta norma establece procedimientos para la preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto en el laboratorio, pero los principios pueden aplicarse a la elaboración de concreto en pequeña escala utilizando una revolvedora.

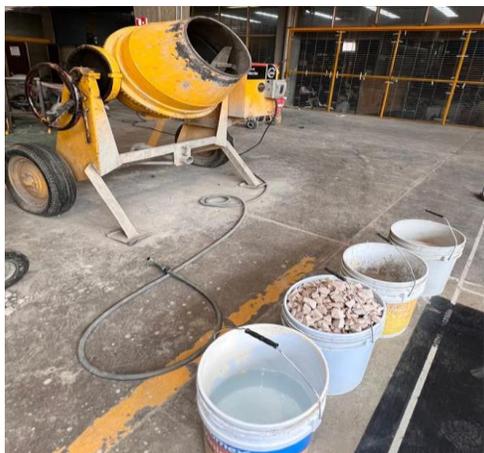
## Procedimiento empleado para la elaboración del concreto

### Preparación de materiales:

Cemento: Se verificó que estaba dentro de los tiempos de caducidad.

Agregados: Los agregados (grueso y fino) limpios y secos.

Agua: Agua potable, libre de contaminantes.



*Ilustración 15 Fabricación Concreto*



*Ilustración 16 Revolvedora*

Para no favorecer a la absorción del agua por parte de la máquina, se humedeció superficialmente con agua, posteriormente se colocaron los agregados, seguido de una parte del agua dosificada, seguida del cemento y el resto del agua.

Una vez realizada la mezcla, se llevó a cabo la prueba de revenimiento a cada una de las mezclas de concreto realizadas.

La prueba de revenimiento, es un ensayo estándar utilizado para evaluar la consistencia y trabajabilidad del concreto fresco. Esta prueba es crucial en la industria de la construcción para asegurar que la mezcla de concreto tenga la consistencia adecuada para su colocación y compactación. La normativa referida para este ensayo es la NMX-C-156-ONNCCE en México. La prueba de revenimiento es un método simple y efectivo para evaluar la consistencia y trabajabilidad del concreto fresco. Siguiendo la norma y NMX-C-156-ONNCCE, se puede asegurar que el concreto tenga las propiedades deseadas para su uso en la construcción.

Una vez realizado el revenimiento de cada mezcla, siguiendo la normativa NMX-C-159-ONNCCE-2016. La finalidad de este proceso es asegurarnos de que los cilindros representen fielmente la mezcla de concreto que se utilizará en la obra.

### Preparación del área de y trabajo

Siguiendo las directrices de la norma empleada, se emplearon moldes cilíndricos de metal, una varilla de compactación de acero, una paleta, una cuchara de albañil y una

superficie plana y rígida para colocar los moldes. Las dimensiones de los moldes fueron de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura, dimensiones estándar para este tipo de pruebas.

Proceso de llenado de los moldes referenciando la NMX-C-159-ONNCCE-2016.

Limpieza y humedecimiento de los moldes:

La limpieza de los moldes y el engrase de los mismos permitió llevar a cabo el llenado de los moldes de una manera limpia, evitando así la contaminación del concreto con residuos de concreto de pruebas anteriores.

Llenado en capas:

De acuerdo a la norma se procedió a llenar los moldes en tres capas iguales. Para cada capa, siguiendo un proceso meticuloso para garantizar la compactación y la eliminación de vacíos, dictado en la norma.

Primera capa:

El molde se llenó hasta aproximadamente un tercio de su altura con concreto fresco. Tomando la varilla de compactación y penetrando 25 veces, distribuidos uniformemente sobre la superficie. Esto con fin de favorecer la compactación del concreto y eliminar burbujas de aire que podrían debilitar la muestra.

Segunda capa:

Una vez vaciado el siguiente tercio del molde con concreto, se aseguró que la capa anterior estuviera bien nivelada. Nuevamente con la varilla se compactó con otras 25 penetraciones, haciendo que la varilla penetre ligeramente en la capa anterior para asegurar una buena unión entre las capas.

Tercera capa:

Finalmente, el molde fue llenado hasta el borde con concreto, formando la tercera y última capa. Esta capa con otras 25 penetraciones con la varilla, fue compactada, cuidando de que la varilla penetrara en la capa inferior para garantizar una mezcla homogénea.

Nivelación:

Con la cuchara de albañil, se alisó la superficie del concreto para que quedara nivelada y uniforme con el borde del molde. Esto es crucial para asegurar que la muestra sea representativa y tenga la forma correcta para los ensayos posteriores.



*Ilustración 17 Cilindros en Moldes*

#### Curado de los cilindros:

Una vez llenados y nivelados los moldes, se dejaron reposar en un lugar protegido de vibraciones, golpes y cambios bruscos de temperatura. Las muestras permanecieron en los moldes por un periodo inicial de 24 horas antes de ser desmoldadas, siguiendo estrictamente la normativa para asegurar que el proceso de hidratación del cemento sea óptimo.

Una vez desmoldados los cilindros, como la normativa mencionada con anterioridad, se dejaron 28 días en el cuarto de curado. Ubicado en el laboratorio de materiales dentro de las instalaciones de la Facultad de Ingeniería.



*Ilustración 18 Cilindros en el cuarto de Curado*

## Pruebas realizadas a los cilindros

En el laboratorio, se llevaron a cabo una serie de ensayos para medir la deformación axial de cilindros de concreto bajo carga utilizando la máquina Universal (marca Amsler). Este procedimiento es fundamental para determinar el comportamiento mecánico del concreto, específicamente su módulo de elasticidad y resistencia a la compresión. A continuación, se detalla el proceso seguido para realizar esta medición.

## Preparación de los cilindros

Antes de comenzar el ensayo, se aseguró de que los cilindros de concreto, con dimensiones de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, estuvieran debidamente curados y listos para la prueba. Cada cilindro fue marcado con una identificación única para rastrear los resultados de manera precisa.

### Instalación en la máquina Universal (marca Amsler)

#### Alineación del cilindro:

El cilindro fue colocado en la plataforma inferior de la máquina Universal (Amsler), asegurándose que estuviera centrado. Este paso es crucial para evitar cualquier excentricidad que pueda afectar los resultados del ensayo. Se ajustó la placa superior de la máquina Universal (Amsler) para que quedara en contacto con la superficie superior del cilindro.



*Ilustración 19 Máquina Universal*

#### Colocación de extensómetros:

Para medir la deformación axial, fueron empleados extensómetros de alta precisión. Estos dispositivos se fijaron firmemente a ambos lados del cilindro a una altura intermedia, utilizando bandas o abrazaderas específicas para evitar deslizamientos durante el ensayo.

Previamente se verificó que los extensómetros estuvieran calibrados y sincronizados con el sistema de adquisición de datos de la máquina Universal (Amsler).



*Ilustración 20 Extensómetros*

#### Inicialización de la máquina:

La máquina Universal (Amsler) fue configurada según los parámetros del ensayo, siguiendo las especificaciones del proyecto. Esto incluyó establecer la velocidad de aplicación de la carga para asegurar una compresión controlada y uniforme.

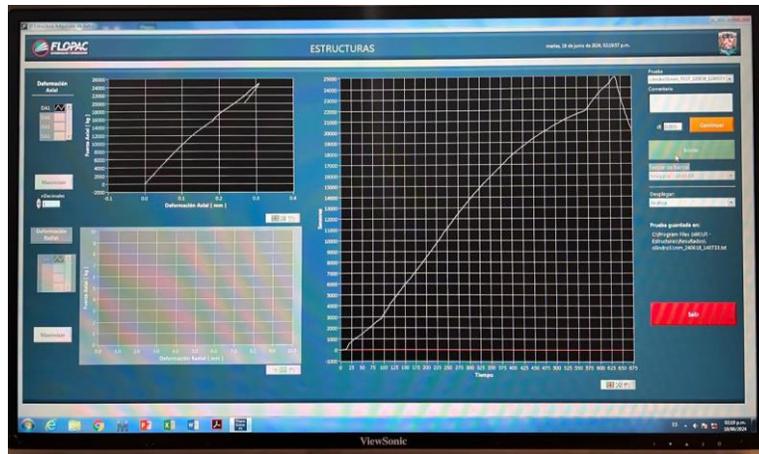


Ilustración 21 Programa FLOPAC

Resultando en la adquisición de datos para registrar la carga aplicada y la deformación en tiempo real.

Aplicación de la carga:

Se comenzó a aplicar la carga axial de manera gradual. La máquina Universal (Amsler) incrementó la carga a una velocidad constante, mientras los extensómetros registraban la deformación axial del cilindro.

Durante el ensayo, se observó cuidadosamente tanto el tablero de la máquina Universal (Amsler) como el sistema de adquisición de datos para asegurar que todo funcionara correctamente.

El registro y análisis de datos. Ubicados en la memoria de cálculo de la tesina, así como se muestra en los resultados un ejemplo de las tablas que se obtuvieron.



Ilustración 22 Cilindro en la Máquina Universal

Medición de la deformación:

Los extensómetros, conectados a un sistema de adquisición de datos, registraron la deformación axial en milímetros. Estos datos fueron continuamente monitoreados y almacenados para su posterior análisis.

La máquina universal (Amsler) también registró la carga aplicada en kilogramos (kg), lo que permitió correlacionar la carga con la deformación observada.

## Determinación de la resistencia a compresión ( $f'_c$ )

Para la determinación de la resistencia a la compresión  $f'_c$ , cada uno de los cilindros se probó en una prensa manual hasta que el cilindro mostró señales de falla, evidenciada por una caída brusca en la capacidad de carga y la aparición de grietas visibles.

Al alcanzar el punto de falla, la máquina dejó de aplicar carga y fue registrado la carga máxima aplicada y la deformación correspondiente.



Ilustración 23 Prensa Manual



Ilustración 24 Falla de Cilindro

## Obtención de resultados

Tablas de la deformación axial respecto a la carga de cada uno de los 25 cilindros.

### Ciudad de México

Para cada uno de los cilindros ensayados, se buscó llegar a los 25,000.00 kg de carga, pasando más del 40% de la carga estimada a soportar, por lo que se obtuvieron 25 diferentes tablas de relación de datos, en las cuales se tienen el tiempo en el que los sensores de la máquina universal fue incrementando la carga y así mismo la deformación obtenida por dicha carga, como la siguiente tabla, la cual sólo se coloca una de las 25 tablas por cuestión de espacio, por lo que los datos de dichas 25 tablas tienen como sustento la relación de datos obtenidos en la maquina universal.

Cilindro 1 CIUDAD DE MÉXICO		
Tiempo	Carga [kg]	Deformación Unitaria [mm]
1	2.87	0.00000
2	11.10	0.00000

Tiempo	Carga [kg]	Deformación Unitaria [mm]
3	36.02	0.00000
4	58.66	0.00000
5	78.72	0.00000

Tiempo	Carga [kg]	Deformación Unitaria [mm]
6	97.08	0.00000
7	122.86	0.00001
8	140.47	0.00001

Tiempo	Carga [kg]	Deformación Unitaria [mm]
9	163.34	0.00001
10	193.70	0.00001
11	221.35	0.00001
12	252.44	0.00001
13	290.29	0.00001
14	329.14	0.00001
15	366.24	0.00002
16	403.93	0.00002
17	445.50	0.00002
18	490.00	0.00002
19	537.15	0.00002
20	584.65	0.00002
21	637.69	0.00002
22	683.56	0.00003
23	733.76	0.00003
24	780.18	0.00003
25	839.24	0.00003
26	896.39	0.00004
27	966.27	0.00004
28	1038.42	0.00004
29	1107.31	0.00004
30	1164.00	0.00005
31	1233.27	0.00005
32	1294.11	0.00005
33	1359.18	0.00005
34	1427.28	0.00005
35	1495.55	0.00006
36	1545.93	0.00006
37	1592.67	0.00006
38	1645.13	0.00006
39	1702.25	0.00007
40	1756.35	0.00007
41	1807.94	0.00007
42	1848.68	0.00007
43	1882.76	0.00007
44	1926.72	0.00007

Tiempo	Carga [kg]	Deformación Unitaria [mm]
45	1973.80	0.00007
46	2022.08	0.00008
47	2076.39	0.00008
48	2133.21	0.00008
49	2188.15	0.00008
50	2238.57	0.00008
51	2288.22	0.00009
52	2340.67	0.00009
53	2390.43	0.00009
54	2441.21	0.00009
55	2491.72	0.00009
56	2544.50	0.00010
57	2597.69	0.00010
58	2643.50	0.00010
59	2693.51	0.00010
60	2752.28	0.00010
61	2818.34	0.00011
62	2870.95	0.00011
63	2921.54	0.00011
64	2977.04	0.00011
65	3033.46	0.00011
66	3092.47	0.00012
67	3151.64	0.00012
68	3214.72	0.00012
69	3275.20	0.00012
70	3335.80	0.00013
71	3403.91	0.00013
72	3475.30	0.00013
73	3544.46	0.00013
74	3614.94	0.00014
75	3686.20	0.00014
76	3755.49	0.00014
77	3826.87	0.00014
78	3904.41	0.00015
79	3977.57	0.00015
80	4052.70	0.00015

Tiempo	Carga [kg]	Deformación Unitaria [mm]
81	4127.98	0.00016
82	4200.85	0.00016
83	4281.82	0.00016
84	4357.40	0.00016
85	4433.16	0.00017
86	4509.04	0.00017
87	4588.66	0.00017
88	4677.30	0.00018
89	4755.28	0.00018
90	4830.42	0.00018
91	4909.76	0.00019
92	4990.95	0.00019
93	5074.96	0.00019
94	5160.01	0.00020
95	5239.80	0.00020
96	5325.04	0.00020
97	5408.01	0.00021
98	5494.34	0.00021
99	5579.13	0.00021
100	5664.69	0.00021
101	5752.83	0.00022
102	5837.33	0.00022
103	5925.60	0.00023
104	6011.27	0.00023
105	6097.47	0.00023
106	6182.67	0.00023
107	6269.61	0.00024
108	6356.49	0.00024
109	6443.43	0.00025
110	6531.33	0.00025
111	6624.27	0.00025
112	6712.16	0.00026
113	6803.53	0.00026
114	6896.33	0.00026
115	6987.68	0.00027
116	7077.20	0.00027

Tiempo	Carga [kg]	Deformación Unitaria [mm]
117	7167.41	0.00027
118	7258.57	0.00028
119	7350.72	0.00028
120	7439.91	0.00029
121	7528.48	0.00029
122	7603.78	0.00029
123	7688.96	0.00030
124	7783.97	0.00030
125	7874.47	0.00030
126	7971.40	0.00031
127	8073.12	0.00031
128	8176.04	0.00031
129	8255.33	0.00032
130	8340.39	0.00032
131	8434.82	0.00033
132	8523.83	0.00033
133	8629.86	0.00033
134	8719.19	0.00034
135	8810.48	0.00034
136	8904.88	0.00034
137	9003.17	0.00035
138	9098.43	0.00035
139	9189.45	0.00036
140	9282.67	0.00036
141	9375.06	0.00036
142	9468.26	0.00037
143	9563.10	0.00037
144	9662.71	0.00038
145	9754.55	0.00038
146	9849.44	0.00038
147	9943.06	0.00039
148	10035.56	0.00039
149	10132.39	0.00039
150	10224.86	0.00040
151	10317.01	0.00040
152	10411.11	0.00041

Tiempo	Carga [kg]	Deformación Unitaria [mm]
153	10507.55	0.00041
154	10599.70	0.00041
155	10691.28	0.00042
156	10788.08	0.00042
157	10883.74	0.00043
158	10981.16	0.00043
159	11072.47	0.00044
160	11166.98	0.00044
161	11262.32	0.00044
162	11353.31	0.00045
163	11444.33	0.00045
164	11536.11	0.00046
165	11627.85	0.00046
166	11714.65	0.00046
167	11803.45	0.00047
168	11894.29	0.00047
169	11987.17	0.00048
170	12079.77	0.00048
171	12176.47	0.00048
172	12270.01	0.00049
173	12362.24	0.00049
174	12457.17	0.00050
175	12549.70	0.00050
176	12643.82	0.00050
177	12737.03	0.00051
178	12833.15	0.00051
179	12928.29	0.00052
180	13019.59	0.00052
181	13115.88	0.00053
182	13212.98	0.00053
183	13310.40	0.00053
184	13405.47	0.00054
185	13500.32	0.00054
186	13596.70	0.00055
187	13693.13	0.00055
188	13793.72	0.00055

Tiempo	Carga [kg]	Deformación Unitaria [mm]
189	13892.35	0.00056
190	13984.25	0.00056
191	14073.96	0.00057
192	14172.00	0.00057
193	14269.56	0.00058
194	14362.02	0.00058
195	14458.78	0.00059
196	14551.56	0.00059
197	14648.81	0.00059
198	14742.79	0.00060
199	14833.96	0.00060
200	14925.93	0.00061
201	15019.28	0.00061
202	15114.19	0.00062
203	15206.94	0.00062
204	15295.61	0.00063
205	15387.69	0.00063
206	15478.73	0.00063
207	15577.52	0.00064
208	15673.72	0.00064
209	15766.77	0.00064
210	15846.91	0.00065
211	15940.92	0.00065
212	16023.71	0.00066
213	16109.54	0.00066
214	16202.87	0.00067
215	16295.95	0.00067
216	16386.19	0.00068
217	16474.10	0.00068
218	16571.41	0.00068
219	16659.27	0.00069
220	16743.38	0.00069
221	16833.17	0.00070
222	16920.27	0.00070
223	17010.04	0.00071
224	17098.73	0.00071

Tiempo	Carga [kg]	Deformación Unitaria [mm]
225	17185.58	0.00071
226	17270.99	0.00072
227	17355.33	0.00072
228	17437.66	0.00073
229	17524.58	0.00073
230	17605.92	0.00073
231	17690.63	0.00074
232	17774.52	0.00074
233	17862.81	0.00075
234	17945.36	0.00075
235	18025.05	0.00076
236	18107.91	0.00076
237	18190.00	0.00077
238	18274.70	0.00077
239	18356.32	0.00077
240	18437.34	0.00078
241	18515.94	0.00078
242	18595.54	0.00079
243	18674.66	0.00079
244	18750.49	0.00079
245	18832.43	0.00080
246	18910.13	0.00080
247	18979.45	0.00080
248	19053.67	0.00081
249	19133.95	0.00081
250	19214.52	0.00082
251	19287.64	0.00082
252	19363.08	0.00082
253	19439.36	0.00083
254	19513.60	0.00083
255	19586.83	0.00084
256	19659.16	0.00084
257	19732.83	0.00084
258	19801.09	0.00085
259	19869.34	0.00085
260	19935.97	0.00086

Tiempo	Carga [kg]	Deformación Unitaria [mm]
261	20016.27	0.00086
262	20095.28	0.00086
263	20173.35	0.00087
264	20247.78	0.00087
265	20319.98	0.00088
266	20383.09	0.00088
267	20444.91	0.00088
268	20507.55	0.00089
269	20575.13	0.00089
270	20643.18	0.00089
271	20712.42	0.00090
272	20787.72	0.00090
273	20860.25	0.00091
274	20933.13	0.00091
275	20998.41	0.00091
276	21065.82	0.00092
277	21127.73	0.00092
278	21192.77	0.00093
279	21270.35	0.00093
280	21342.48	0.00093
281	21406.96	0.00094
282	21451.08	0.00094
283	21510.95	0.00094
284	21569.78	0.00095
285	21631.66	0.00095
286	21697.39	0.00095
287	21759.39	0.00096
288	21822.14	0.00096
289	21881.76	0.00096
290	21937.55	0.00097
291	21991.94	0.00097
292	22047.94	0.00097
293	22104.16	0.00098
294	22161.59	0.00098
295	22218.86	0.00098
296	22271.82	0.00099

Tiempo	Carga [kg]	Deformación Unitaria [mm]
297	22326.08	0.00099
298	22378.81	0.00099
299	22432.40	0.00100
300	22486.59	0.00100
301	22537.71	0.00100
302	22589.83	0.00101
303	22643.59	0.00101
304	22696.15	0.00101
305	22747.44	0.00102
306	22801.42	0.00102
307	22852.91	0.00102
308	22909.85	0.00103
309	22970.50	0.00103
310	23025.46	0.00103
311	23080.08	0.00104
312	23130.95	0.00104
313	23170.64	0.00104
314	23219.82	0.00105
315	23274.25	0.00105
316	23316.33	0.00105
317	23367.82	0.00105
318	23416.56	0.00106
319	23464.64	0.00106
320	23511.12	0.00106
321	23560.85	0.00107
322	23607.54	0.00107
323	23654.40	0.00107
324	23702.64	0.00108
325	23748.42	0.00108
326	23794.58	0.00108
327	23844.95	0.00109
328	23895.51	0.00109
329	23937.38	0.00109
330	23982.74	0.00109
331	24022.14	0.00110
332	24068.75	0.00110

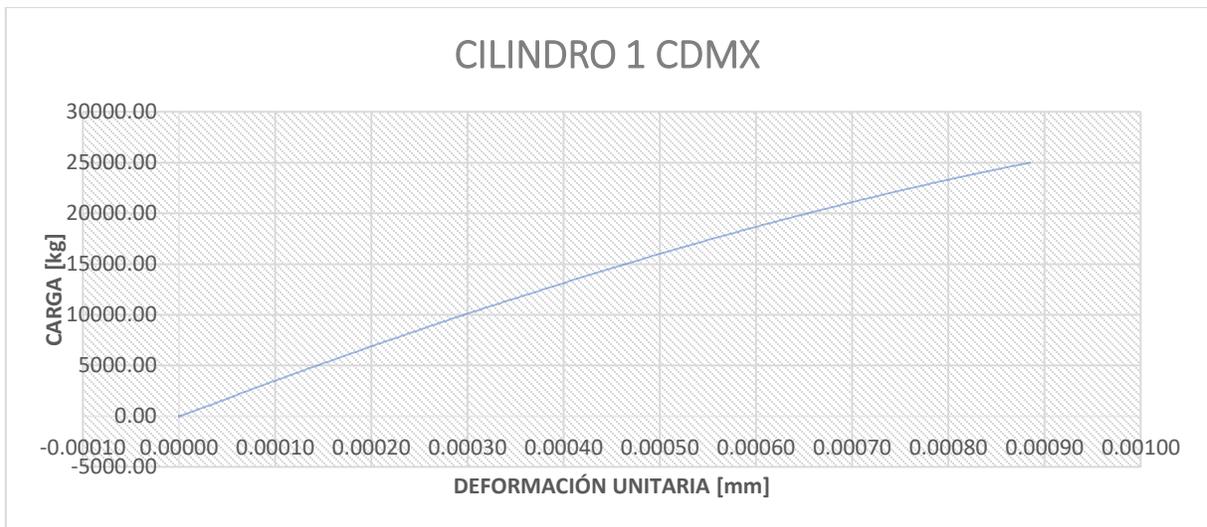
Tiempo	Carga [kg]	Deformación Unitaria [mm]
333	24103.63	0.00110
334	24143.73	0.00111
335	24192.39	0.00111
336	24235.57	0.00111
337	24278.36	0.00111
338	24318.92	0.00112
339	24359.40	0.00112
340	24398.55	0.00112
341	24439.77	0.00113

Tiempo	Carga [kg]	Deformación Unitaria [mm]
342	24478.24	0.00113
343	24520.50	0.00113
344	24567.98	0.00113
345	24614.15	0.00114
346	24649.16	0.00114
347	24685.18	0.00114
348	24718.99	0.00114
349	24754.93	0.00115
350	24793.21	0.00115
351	24831.79	0.00115

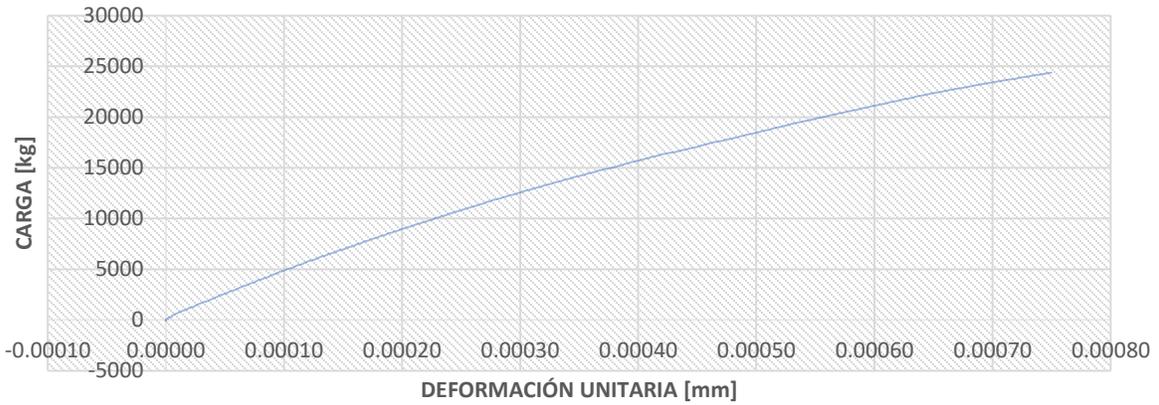
Tiempo	Carga [kg]	Deformación Unitaria [mm]
352	24866.61	0.00115
353	24904.84	0.00116
354	24938.36	0.00116
355	24974.85	0.00116
356	25008.77	0.00116

Tabla 4 Resultados Máquina Universal Cilindro 1 CDMX

Con los datos observados en la Tabla 4 Resultados Máquina Universal Cilindro 1 CDMX se graficó la primer relación, así como las 24 relaciones posteriores.

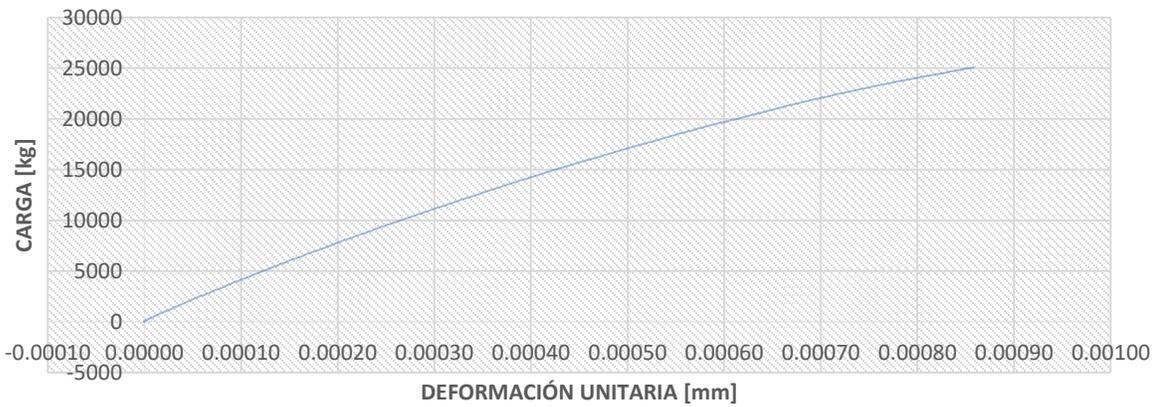


### CILINDRO 3 CDMX

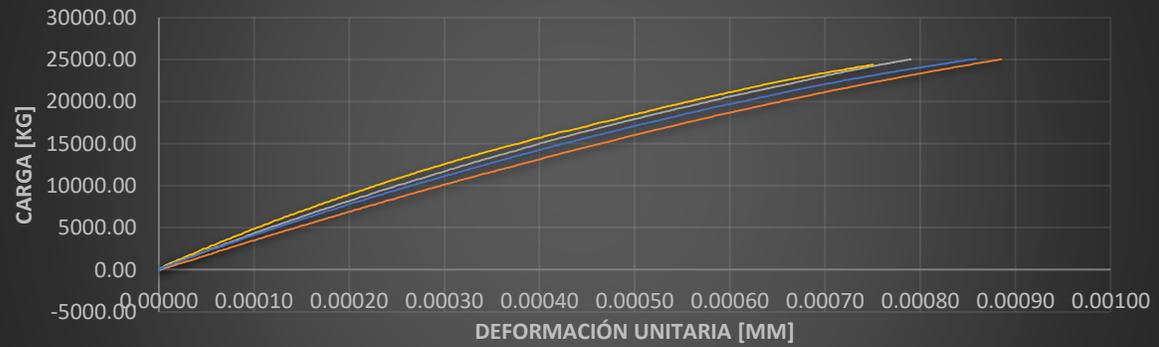


-Cilindro 4 eliminado por fractura-

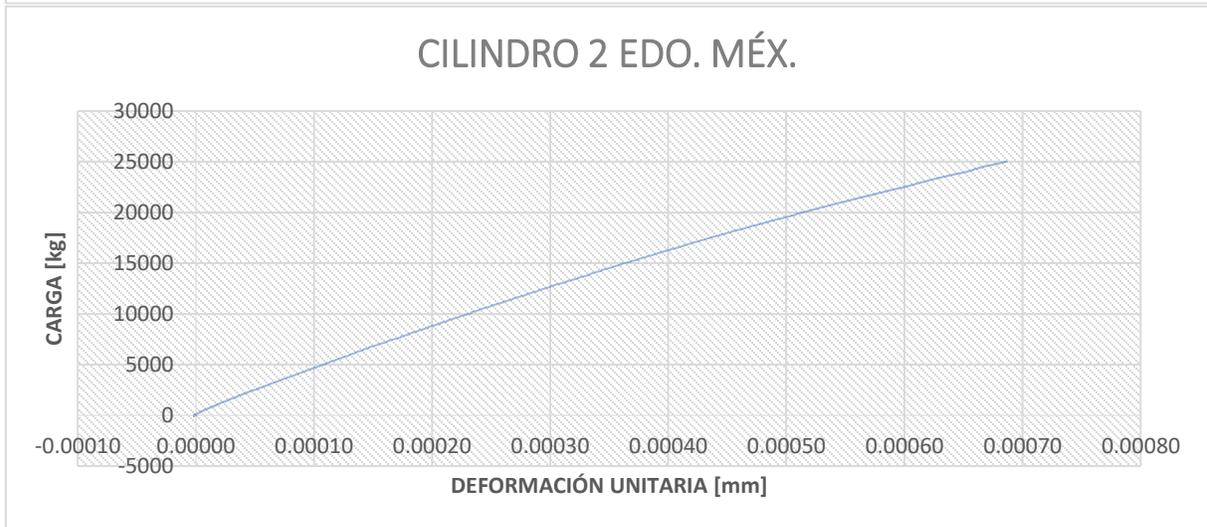
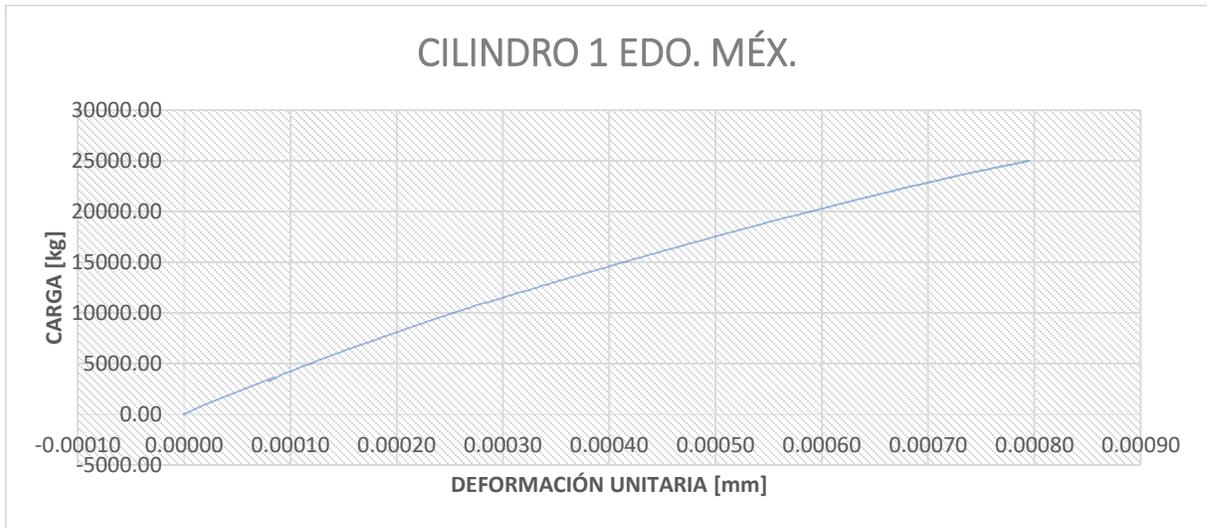
### CILINDRO 5 CDMX



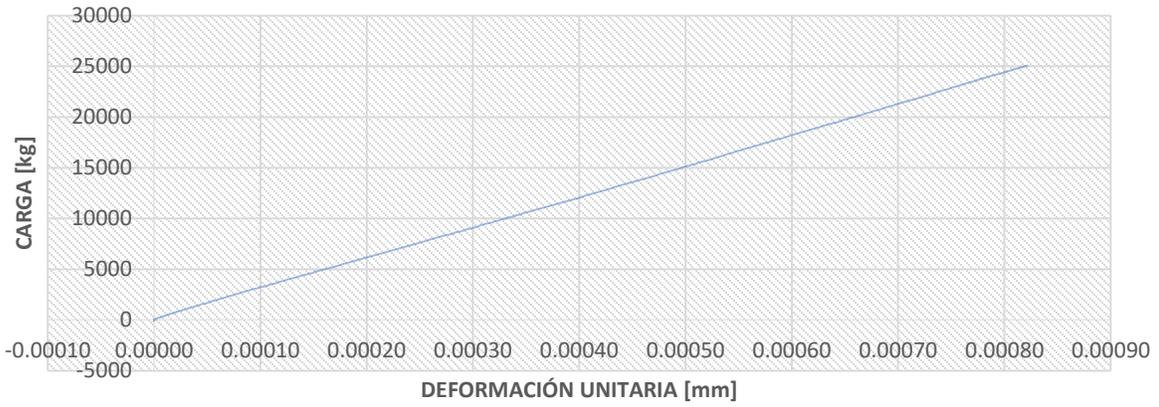
### CDMX



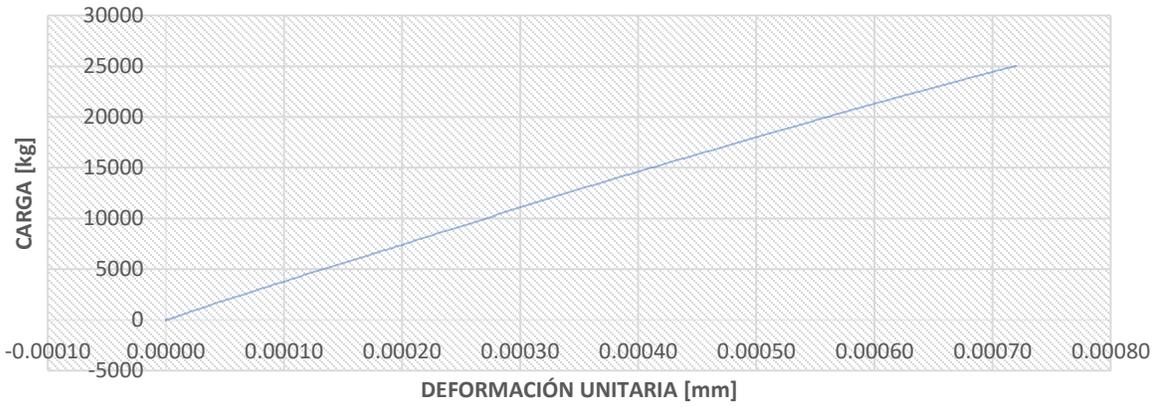
Estado de México



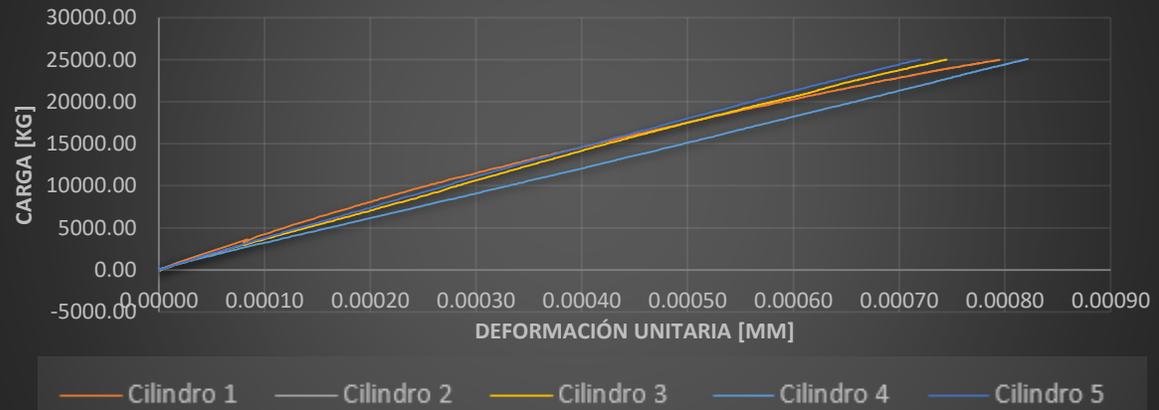
### CILINDRO 4 EDO. MÉX.



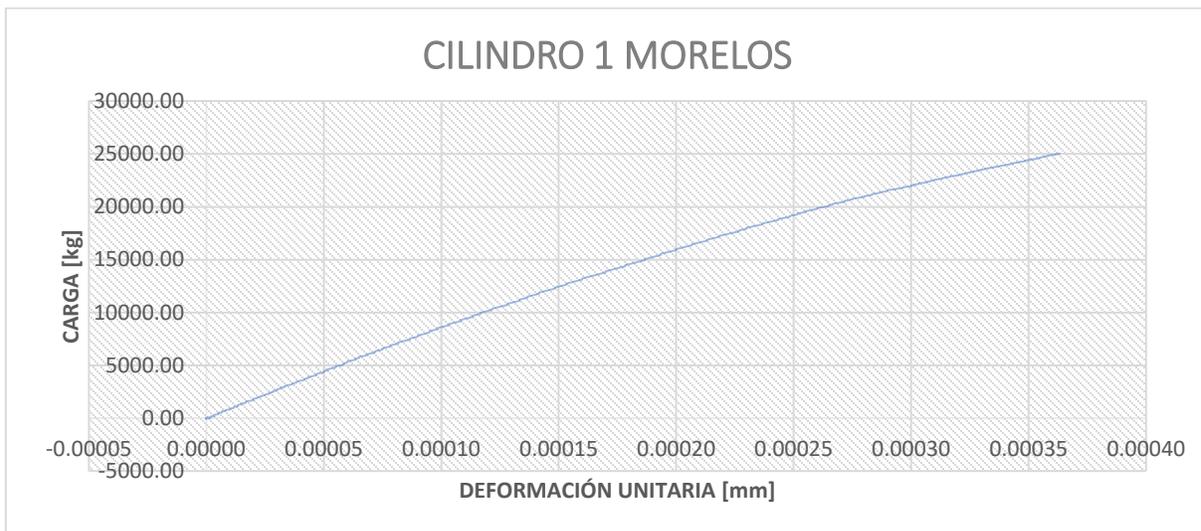
### CILINDRO 5 EDO. MÉX.



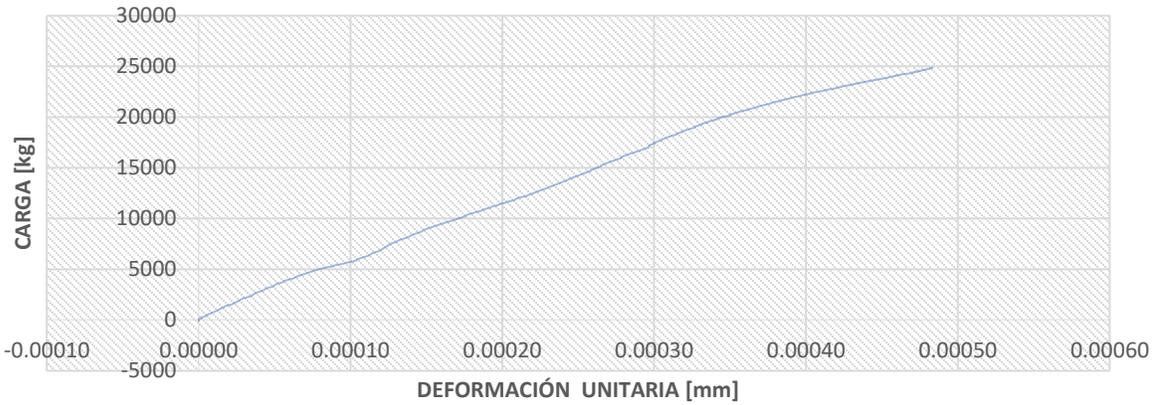
### EDO. MÉX.



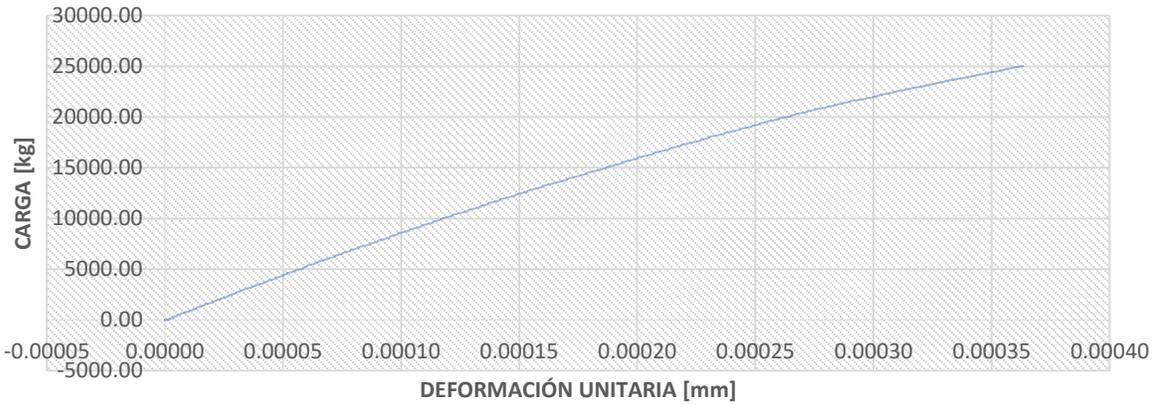
## Morelos



### CILINDRO 4 MORELOS



### CILINDRO 5 MORELOS



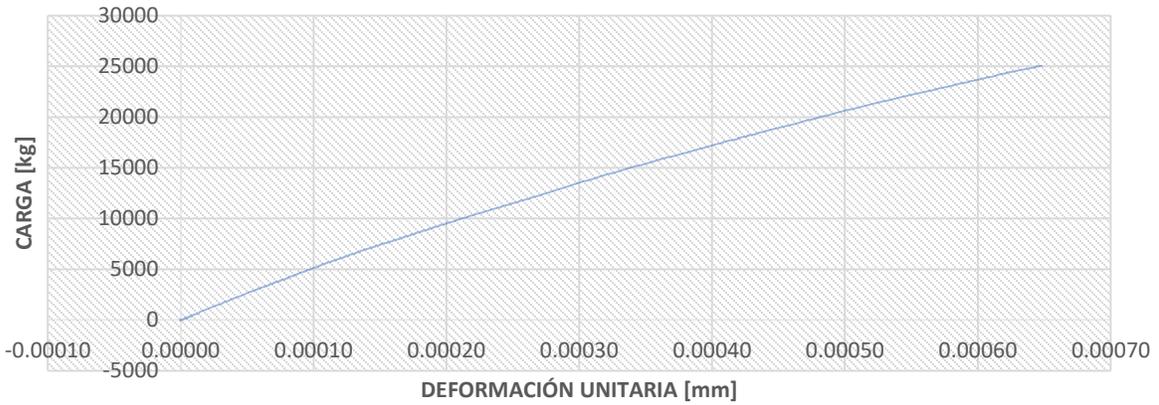
### MORELOS



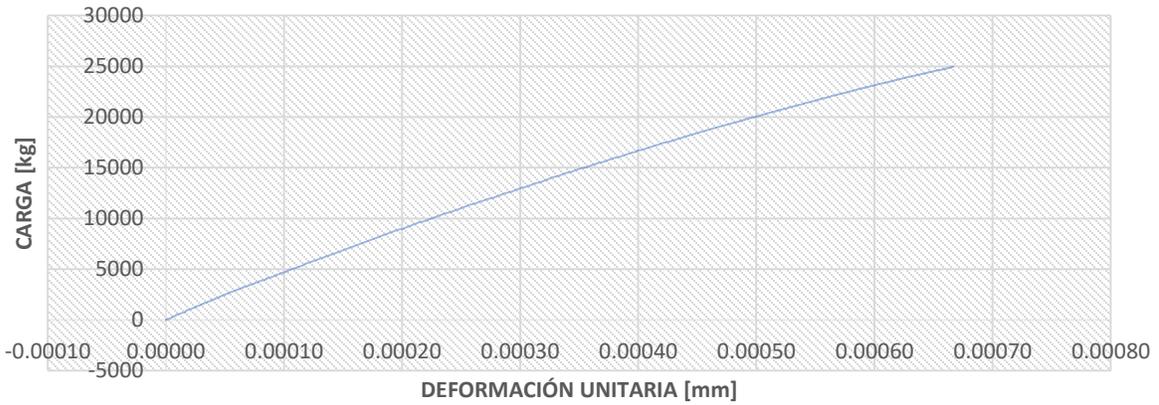
## Puebla



### CILINDRO 4 PUEBLA



### CILINDRO 5 PUEBLA



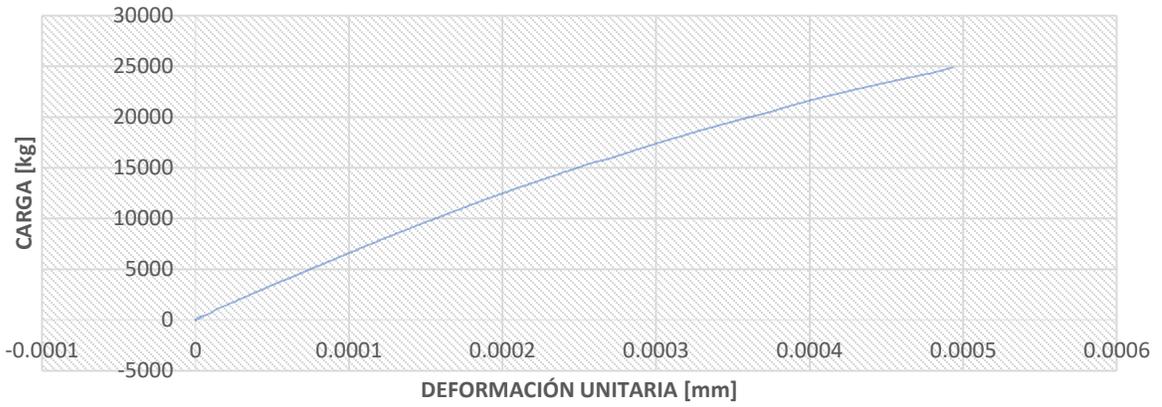
### PUEBLA



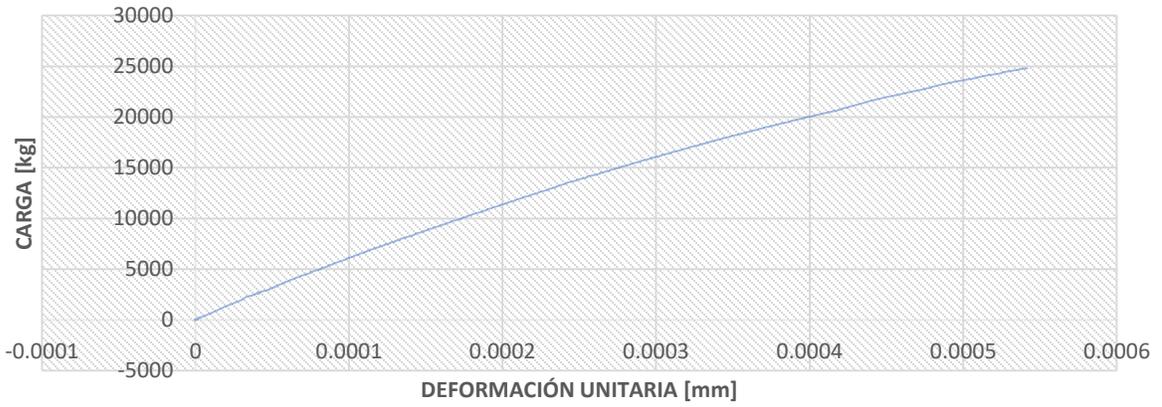
# Hidalgo



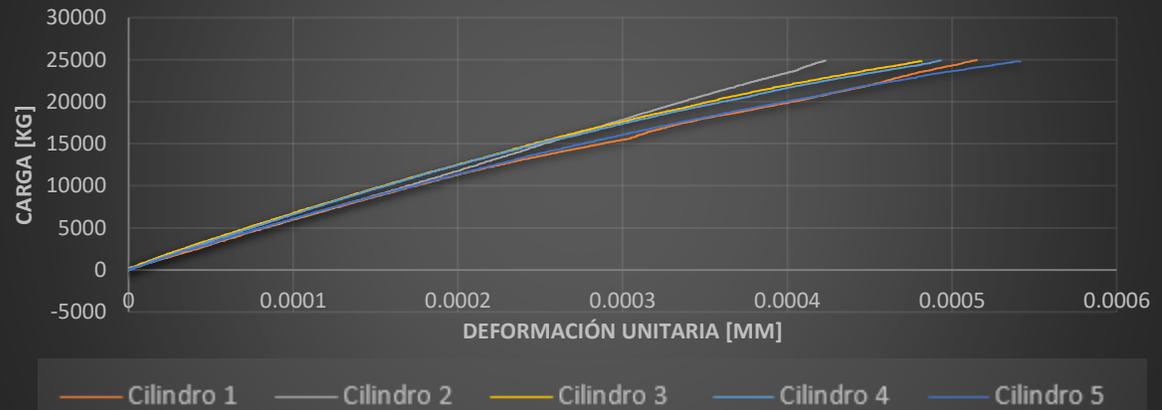
### CILINDRO 4 HIDALGO



### CILINDRO 5 HIDALGO



### HIDALGO



## Análisis de resultados

Para cada uno de los cilindros se analizó su respectivo módulo de elasticidad, llevando a la falla cada cilindro, considerando su deformación y obteniendo el módulo de elasticidad aplicando la siguiente relación mencionada en la NMX-C-128-ONNCCE-2020:

$$\text{Mod. Elást.} = \frac{S_2 - S_1}{e_2 - 0.00005}$$

$$\text{Mod. Elást.} = \text{Módulo de elasticidad} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

$$S_2 = \text{Esfuerzo correspondiente al 40\% del esfuerzo máximo} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

$$S_1 = \text{Esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria } 0.00005 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

$$e_2 = \text{Deformación unitaria correspondiente al esfuerzo } S_2$$

Cilindro	Estado		Resistencia máxima [kg]	40% Resistencia [kg]	S2 [kg/cm <sup>2</sup> ]	S1 [kg/cm <sup>2</sup> ]	e2	Módulo de Elásticidad [kg/cm <sup>2</sup> ]	Promedio M.E.. [kg/cm <sup>2</sup> ]	Densidad agregado [kg/cm <sup>3</sup> ]
1	Hidalgo	1	41,600	16,640	94.163	12.064	0.00042	221,259.78	241,439.88	2.61
2	Hidalgo	2	35,400	14,160	80.129	13.178	0.00031	253,548.19		
3	Hidalgo	3	42,200	16,880	95.521	14.661	0.00037	250,491.77		
4	Hidalgo	4	41,800	16,720	94.616	13.678	0.00038	247,371.86		
5	Hidalgo	5	32,800	13,120	74.244	13.452	0.00031	234,527.79		
6	Puebla	1	49,800	19,920	112.724	9.875	0.00060	187,545.42	174,230.95	2.31
7	Puebla	2	46,400	18,560	105.028	9.548	0.00057	184,312.30		
8	Puebla	3	45,000	18,000	101.859	8.645	0.00068	148,391.49		
9	Puebla	4	49,200	19,680	111.366	10.811	0.00062	176,371.29		
10	Puebla	5	45,800	18,320	103.670	9.787	0.00059	174,534.22		
11	Edo Mex	1	45,600	18,240	103.217	10.664	0.00069	144,550.54	148,591.31	2.24
12	Edo Mex	2	47,400	18,960	107.292	10.235	0.00063	166,558.19		
13	Edo Mex	3	47,200	18,880	106.839	7.865	0.00072	148,448.69		
14	Edo Mex	4	52,200	20,880	118.157	6.998	0.00090	130,299.94		
15	Edo Mex	5	52,000	20,800	117.704	7.702	0.00077	153,099.20		

Cilindro	Estado		Resistencia máxima [kg]	40% Resistencia [kg]	S2 [kg/cm2]	S1 [kg/cm2]	e2	Módulo de Elasticidad [kg/cm2]	Promedio M.E.. [kg/cm2]	Densidad agregado [kg/cm3]	
16	CDMX	1	41,600	16,640	94.163	6.587	0.00069	137,345.51	151,864.96	2.15	
17	CDMX	2	39,600	15,840	89.636	9.092	0.00056	156,826.72			
18	CDMX	3	37,200	14,880	84.204	10.384	0.00049	167,342.21			
19	CDMX	4	Eliminado por fractura								
20	CDMX	5	41,400	16,560	93.710	8.678	0.00063	145,945.38			
21	Morelos	1	38,000	15,200	86.014	17.742	0.00031	262,588.03	251,963.73	2.60	
22	Morelos	2	36,000	14,400	81.487	13.094	0.00037	213,727.88			
23	Morelos	3	41,000	16,400	92.805	14.807	0.00036	253,876.82			
24	Morelos	4	34,000	13,600	76.960	13.707	0.00032	238,428.36			
25	Morelos	5	40,000	16,000	90.541	17.742	0.00030	291,197.58			

Tabla 5 Tabla Resumen Módulo de Elasticidad

Como se puede observar, el cilindro 4 de la CDMX fue desechado antes de realizar el ensayo de su resistencia máxima debido a la presencia de defectos físicos significativos (FRACTURA). Este defecto al poder afectar la integridad del cilindro, comprometiendo la precisión y la validez de los resultados de los ensayos, fue desechado.

El módulo de elasticidad del concreto, es una medida de la rigidez del material y refleja su capacidad para deformarse elásticamente bajo cargas aplicadas. Cambiar el módulo de elasticidad del concreto tiene varias implicaciones importantes en el comportamiento estructural y en las aplicaciones prácticas del concreto.

#### Efectos de un Módulo de Elasticidad Mayor

##### 1. Mayor Rigidez:

- Un módulo de elasticidad mayor indica que el concreto es más rígido, lo que significa que se deformará menos bajo una carga determinada. Esto es beneficioso para estructuras que requieren alta rigidez, como rascacielos, puentes y otras infraestructuras críticas.

##### 2. Menor Deformación:

- Las estructuras hechas con concreto de mayor módulo de elasticidad experimentarán menos deformaciones, lo que puede mejorar la estabilidad y la integridad estructural. Esto es especialmente importante en elementos que

están sujetos a cargas elevadas o que requieren tolerancias de deformación estrictas.

### Implicaciones en el Diseño y Construcción

La selección del módulo de elasticidad adecuado para el concreto depende del tipo de estructura y de las condiciones de carga a las que estará sometida. Los ingenieros estructurales deben considerar varios factores, incluyendo:

- Tipo de Cargas: Estáticas o dinámicas, constantes o cíclicas.
- Condiciones Ambientales: Cambios térmicos, humedad, exposición a productos químicos.
- Requisitos de Deformación: Tolerancias de deformación, estabilidad estructural.
- Durabilidad y Vida Útil: Resistencia a la fisuración, absorción de energía.

Por lo que, el módulo de elasticidad del concreto es un parámetro crítico que afecta significativamente el comportamiento mecánico del material y, por ende, la durabilidad de las estructuras de concreto. Un módulo de elasticidad mayor aporta rigidez y menor deformación, mientras que un módulo de elasticidad menor proporciona mayor flexibilidad y capacidad de absorción de energía. La elección del módulo adecuado debe basarse en un análisis cuidadoso de las necesidades específicas del proyecto y las condiciones operativas esperadas.

Tomando como base las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcción del Distrito Federal, “2.2.8.2 Se deberá verificar que el módulo de elasticidad especificado,  $E_c$ , se alcance de acuerdo con la norma NMX-C-128-ONNCCE-2013. En la determinación del parámetro  $K_c$  (igual a  $E_c/\sqrt{f'c}$ ), se deberá emplear la resistencia a compresión del concreto obtenida en el ensayo de módulo de elasticidad.” se relaciona que se tiene un factor K que se calculará para cada uno de los cilindros ensayados, tomando en cuenta que el factor K ira incrementando con forme a la relación de incremento de la densidad de cada agregado.

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

$E$  = Módulo de Elasticidad

$K$  = factor

$f'c$  = resistencia a la compresión

Despejando el Factor K

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

Para efectos de la ciudad de cada cilindro, así como un promedio de dicho factor, tendremos las siguientes relaciones:

Cilindro	Estado		Esfuerzo máximo [kg/cm <sup>2</sup> ]	Módulo de Elasticidad [kg/cm <sup>2</sup> ]	Prom Mod. Elast. [kg/cm <sup>2</sup> ]	Factor K	Promedio Factor K
1	Hidalgo	1	235	221,259.78	241,439.88	14,420.89	16,368.65
2	Hidalgo	2	200	253,548.19		17,914.10	
3	Hidalgo	3	239	250,491.77		16,209.64	
4	Hidalgo	4	237	247,371.86		16,084.16	
5	Hidalgo	5	186	234,527.79		17,214.47	
6	Puebla	1	282	187,545.42	174,230.95	11,171.92	10,651.40
7	Puebla	2	263	184,312.30		11,374.48	
8	Puebla	3	255	148,391.49		9,299.06	
9	Puebla	4	278	176,371.29		10,570.16	
10	Puebla	5	259	174,534.22		10,841.37	
11	Edo Mex	1	258	144,550.54	148,591.31	8,998.57	8,951.59
12	Edo Mex	2	268	166,558.19		10,169.81	
13	Edo Mex	3	267	148,448.69		9,083.26	
14	Edo Mex	4	295	130,299.94		7,581.33	
15	Edo Mex	5	294	153,099.20		8,924.98	
16	CDMX	1	235	137,345.51	151,864.96	8,951.67	8,099.37
17	CDMX	2	224	156,826.72		10,476.32	
18	CDMX	3	211	167,342.21		11,533.74	
19	CDMX	4					
20	CDMX	5	234	145,945.38		9,535.13	
21	Morelos	1	215	262,588.03	251,963.73	17,906.86	17,218.54
22	Morelos	2	204	213,727.88		14,974.29	
23	Morelos	3	232	253,876.82		16,667.38	
24	Morelos	4	192	238,428.36		17,189.16	
25	Morelos	5	226	291,197.58		19,355.04	

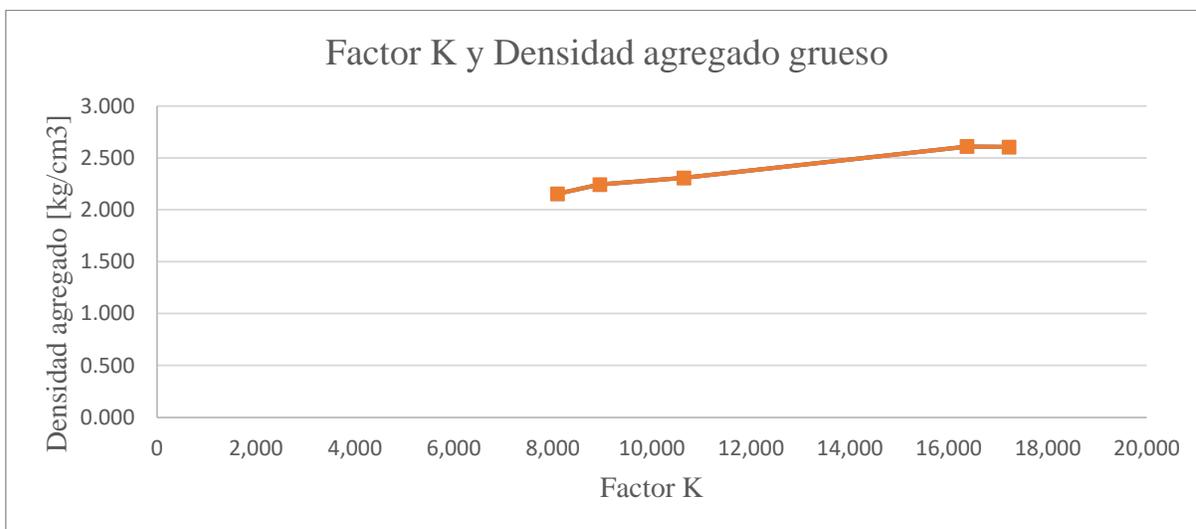
Tabla 6 Factor K

Tabla resumen:

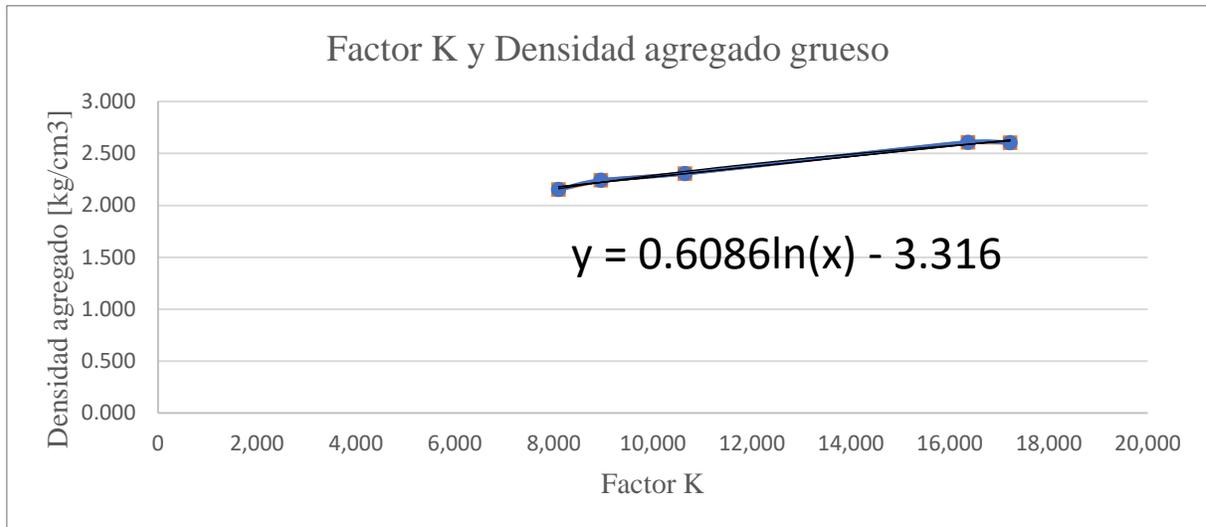
Estado	Promedio Factor K	Densidad agregado [kg/cm3]
Hidalgo	16,368.65	2.610
Puebla	10,651.40	2.308
Edo México	8,951.59	2.243
CDMX	8,099.37	2.153
Morelos	17,218.54	2.605

Tabla 7 Tabla Resumen Factor K y Densidad del agregado grueso

Gráfica de la relación del factor K con la densidad del agregado grueso:



Una vez analizados los resultados, podemos ver un comportamiento, en el cual hay una tendencia exponencial, ya que no se comporta como una recta, nos da pauta a poder inferir cual sería la representación matemática de nuestros datos, recordando que es una aproximación matemática con base en todos los datos obtenidos en todo el proceso descrito en esta tesina.



Considerando la gráfica anterior, podemos entender que, al requerir una menor deformación, el módulo de elasticidad debe de ser mayor, lo que nos lleva a que la constante K debe de ser mayor, relacionando únicamente que depende de la densidad de dicho agregado grueso.

Entendiendo que se puede prever la deformación de alguna estructura aumentando la altura de la sección o supervisando la densidad del agregado grueso, para poder ver una menor deformación, es que se se analizará la relevancia del agregado grueso con la deformación, analizando una viga simplemente apoyada con una carga uniforme para ver su influencia del módulo de elasticidad con la flecha obtenida con los resultados obtenidos en esta tesis.

Considerado que la flecha es calculada aplicando la siguiente formula:

$$Y = \frac{5 * q * L^3}{384 * E * I}$$

$Y =$  Longitud de la flecha [mm]

$q =$  carga disribuida  $\left[\frac{kg}{ml}\right]$

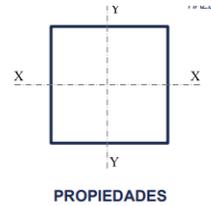
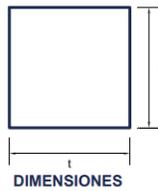
$L =$  longitud de la viga [m]

$E =$  módulo de elasticidad  $\left[\frac{kg}{cm^2}\right]$

$I =$  momento de inercia [cm<sup>4</sup>]

Para este ejercicio se consideró un perfil metálico para cada una de las vigas, teniendo todas la misma sección transversal, por ende el mismo momento de inercia.

## Perfil CS



Designación lado		Peso		Área	Ejes X -X y Y -Y			
					I	S	r	
PERFIL	mm	in	kg/m	lb/ft	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
CS	9.5	3/8	0.712	0.478	0.907	0.069	1.44E-03	0.275

Llevando a cabo el análisis de una viga simplemente apoyada con una carga distribuida de 15 kilogramos por cada metro lineal, con una longitud de 10 metros y con la configuración de cada uno de los módulos de elasticidad obtenidos, se calculó cual sería la flecha máxima en el centro de cada viga, obteniendo la siguiente relación:

Estado	E [kg/cm <sup>2</sup> ]	I [cm <sup>4</sup> ]	q [kg/ml]	L [m]	Y [mm]
Edo México	148,591.313	0.069	15	10	19.0496731
CDMX	151,864.955	0.069	15	10	18.6390332
Puebla	174,230.948	0.069	15	10	16.2463442
Hidalgo	241,439.879	0.069	15	10	11.7238956
Morelos	277,348.511	0.069	15	10	11.2342197

Tabla 8 Ejemplo Práctico

Cómo se puede observar en los resultados de la tabla anterior, se tiene una menor flecha en relación al módulo de elasticidad va aumentando, es por ello que queda demostrado el fin de esta tesis.

## Conclusiones

El presente estudio ha permitido corroborar que la densidad del agregado grueso empleada en la elaboración del concreto ejerce una influencia significativa sobre el módulo de elasticidad del mismo. El agregado grueso, un componente esencial del concreto, no solo contribuye a la resistencia y durabilidad del material, sino que su densidad, derivada de su formación geológica, desempeña un papel crucial en la modulación de las propiedades mecánicas del concreto.

La formación geológica del agregado grueso, que determina su densidad, está intrínsecamente ligada a procesos naturales como la sedimentación, la erosión, y la compactación, los cuales configuran las características físicas de los agregados. Estas características incluyen la composición mineralógica, la estructura interna y la porosidad, factores que, a su vez, influyen en la densidad del agregado grueso. Un agregado grueso de mayor densidad, formada bajo condiciones geológicas que favorecen la compactación y la reducción de porosidad, generalmente proporciona un concreto con un módulo de elasticidad superior. Esto se debe a la mayor rigidez y menor deformabilidad de los agregados más densos, que mejoran la capacidad del concreto para resistir deformaciones bajo carga.

En el análisis experimental, se observó que las mezclas de concreto elaboradas con agregado grueso de mayor densidad presentaron un incremento en el módulo de elasticidad, evidenciando una relación directa entre la densidad del agregado y el módulo de elasticidad del concreto. Esta correlación se explica por la capacidad de los agregados más densos para distribuir las cargas de manera más eficiente, reduciendo la deformación relativa del concreto bajo esfuerzos aplicados. Por el contrario, agregados gruesos de menor densidad, con mayor porosidad y menos compactación, resultaron en concretos con menores módulos de elasticidad, reflejando una mayor susceptibilidad a la deformación.

Este hallazgo tiene implicaciones prácticas significativas para el diseño y la fabricación de concreto en la ingeniería civil. La selección de agregados con densidades adecuadas puede optimizar las propiedades mecánicas del concreto, particularmente en estructuras donde se requiere alta rigidez y resistencia a la deformación. Además, la comprensión de la influencia geológica en la densidad del agregado grueso ofrece una perspectiva más holística para la selección de materiales, promoviendo el uso de recursos naturales de manera más eficiente y sustentable.

En conclusión, la densidad del agregado grueso, moldeada por su formación geológica, es un factor determinante en el módulo de elasticidad del concreto. La integración de este conocimiento en los procesos de diseño y fabricación del concreto no solo mejora las propiedades mecánicas del material, sino que también impulsa prácticas más informadas y responsables en la ingeniería de materiales. La consideración de la densidad de los agregados y su origen geológico constituye un avance significativo en la búsqueda de concretos con propiedades optimizadas, adecuados para las exigencias estructurales contemporáneas.

## Bibliografía

Dosificación de Mezclas de Concreto:

- American Concrete Institute (ACI). (1991). ACI 211.1-91: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete. ACI Manual of Concrete Practice. [https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Previews/211.1-91\\_Preview.pdf](https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Previews/211.1-91_Preview.pdf)

Influencia de la Densidad de la Agregado grueso en el Módulo de Elasticidad del Concreto:

- Neville, A. M., & Brooks, J. J. (2010). Concrete Technology. Pearson Education. (Para conceptos sobre el módulo de elasticidad del concreto y agregados).
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). Concrete: Microstructure, Properties, and Materials (4th ed.). McGraw-Hill Education. (Para información sobre la influencia de la densidad del agregado grueso).

Normas mexicanas

NMX-C-083-0NNCCE Industria de la Construcción-Concreto-Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto.

NMX-C-109-0NNCCE Industria de la Construcción-Concreto-Cabeceo de especímenes cilíndricos.

NMX-C-159 Industria de la Construcción-Concreto-Elaboración y curado en el laboratorio de especímenes de concreto.

NMX-C-160 Industria de la Construcción-Concreto-Elaboración y curado en obra de especímenes de concreto.

NMX-C-169-0NNCCE Industria de la Construcción-Concreto-Prueba de corazones y vigas extraídos de concreto endurecido.

[http://leias.fa.unam.mx/wp-content/uploads/2018/05/180515\\_Practica9\\_W\\_LMSE.pdf](http://leias.fa.unam.mx/wp-content/uploads/2018/05/180515_Practica9_W_LMSE.pdf)