



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

“Incorporación del grafeno para mejorar el comportamiento mecánico a compresión del  
concreto  $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , Lima 2019”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO CIVIL**

**AUTORES:**

Aliaga Parra Alejandro Miuller (ORCID: 0000-0002-5488-7204)

Contreras Gamboa Maycol Cristian (ORCID: 0000-0003-1220-77x)

**ASESOR:**

Mg. Choque Flores Leopoldo (ORCID: 0000-0003-0914-7159)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**  
Diseño sísmico y estructural

Lima – Perú

2019

### **Dedicatoria**

A dios, a nuestros padres por ser las personas que nos educaron hasta convertirnos en lo que somos ahora.

### **Agradecimiento**

A nuestras familias por todo el apoyo brindado durante la etapa universitaria.

A nuestros docentes de la universidad, al Mg. Choque Flores Leopoldo por el tiempo brindado y las constantes recomendaciones para las continuas mejoras en la investigación.

Los autores

Página del Jurado

## Página del Jurado

## Declaratoria de Autenticidad

Yo, Alejandro Miuller Aliaga Parra con DNI 71447157, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima, diciembre del 2019



.....

Alejandro Miuller Aliaga Parra

DNI: 71447157

## Declaratoria de Autenticidad

Yo, Maycol Cristian Contreras Gamboa con DNI 47276331, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima, diciembre del 2019



.....  
Maycol Cristian Contreras Gamboa

DNI: 47276331

## ÍNDICE

Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Página del Jurado.....	iv
Declaratoria de Autenticidad.....	vi
ÍNDICE.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT .....	x
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MÉTODO .....	17
2.1. Tipo y Diseño de investigación .....	17
2.2. Operacionalización de Variables.....	18
2.3. Población y muestra .....	21
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad .....	22
2.5. Procedimiento.....	23
2.6. Métodos de análisis de datos .....	24
2.7. Aspectos éticos .....	24
III. RESULTADOS .....	24
IV. DISCUSIÓN.....	54
V. CONCLUSIONES.....	56
VI. RECOMENDACIONES .....	57
REFERENCIAS .....	58
ANEXOS.....	61
Acta de Aprobación de Originalidad de Tesis.....	106
Pantallazo del Software Turnitin .....	108
Autorización para la Publicación de la Tesis.....	109
Autorización de la Versión Final del Trabajo de Investigación .....	111



## RESUMEN

Esta investigación tiene por objetivo principal mejorar el comportamiento mecánico a compresión del concreto  $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  con la incorporación del grafeno, para lo cual se ha recopilado y analizado información inherente al tema de estudio y se verificó que el grafeno tiene efectos positivos en el concreto siendo este una importante alternativa para un desarrollo en la tecnología del concreto. Para ello se usó la siguiente metodología, la investigación tiene un diseño experimental ya que se analizará el efecto que tiene el grafeno en la resistencia a la compresión del concreto  $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ , se analizará cuatro proporciones de grafeno que van desde 0.02%, 0.04%, 0.06% al 0.08% esto en relación al peso del cemento. La investigación tiene un enfoque cuantitativo ya que basara en medidas, y estas medidas se expresarán en datos que nos ayudaran a resolver el problema para lograr nuestros objetivos. Para el desarrollo de la investigación se inició mediante el análisis de las propiedades físicas de los agregados tanto del agregado fino como del agregado grueso procedentes de la cantera San Martin ubicado en el distrito de ate, con los resultados se realizó el diseño de la mezcla patrón con el método ACI 211 para un concreto de  $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ , al que se le añadió proporciones de grafeno con las siguientes dosis 0.02%, 0.04%, 0.06% al 0.08%, en relación al peso del cemento. Se realizaron 10 probetas de concreto patrón y 48 probetas con las dosis de grafeno 12 por cada proporción estos fueron sometidos a la compresión a las edades de 7, 14, 28 días de curado. En el concreto en su estado fresco se determinó que aumenta su consistencia con respecto al concreto patrón esto se pudo determinar con el ensayo de cono de abrams. Las propiedades del concreto que se observaron en su estado sólido fueron la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad. Logrando una mejora de las resistencias, la dosis que más mejoras tiene es la del 0.04% de grafeno logrando incrementar su resistencia en un 17% respecto al concreto patrón. Llegando a la conclusión de que la dosis óptima para que el concreto mejore se resistencia es la del 0.04%.

**Palabras Clave:** Concreto, comportamiento mecánico, grafeno, resistencia, consistencia, módulo de elasticidad.

## ABSTRACT

This research has as main objective to improve the mechanical compression behavior of concrete  $F'c = 210 \text{ Kg / cm}^2$  with the incorporation of graphene, for which information inherent to the subject of study has been collected and analyzed and it was verified that graphene has effects positive in concrete being this an important alternative for a development in concrete technology. For this, the following methodology was used, the research has an experimental design since the effect that graphene has on the compressive strength of concrete  $F'c = 210 \text{ Kg / cm}^2$  will be analyzed, four proportions of graphene that range from 0.02%, 0.04%, 0.06% to 0.08% this in relation to the weight of the cement. The research has a quantitative approach since it will be based on measures, and these measures will be expressed in data that will help us solve the problem to achieve our objectives. For the development of the investigation, the physical properties of the aggregates of both the fine aggregate and the coarse aggregate from the San Martin quarry located in the ate district were analyzed, with the results the design of the standard mixture was carried out with the ACI 211 method for a concrete of  $F'c = 210 \text{ Kg / cm}^2$ , to which graphene proportions were added with the following doses 0.02%, 0.04%, 0.06% to 0.08%, this in relation to the weight of the cement. 10 standard concrete specimens and 48 specimens with graphene doses 12 were made for each proportion, these were subjected to compression at the ages of 7, 14, 28 days of curing. In the concrete in its fresh state it was determined that it increases its consistency with respect to the standard concrete this could be determined with the Abrams cone test. The properties of the concrete that were observed in its solid state were the compressive strength and the modulus of elasticity. Achieving an improvement in resistance, the dose that has the most improvements is 0.04% graphene, increasing its resistance by 17% compared to the standard concrete. Coming to the conclusion that the optimum dose for concrete to improve is resistance is 0.04%.

Keywords: Concrete, mechanical behavior, graphene, resistance, consistency, modulus of elasticity.

## **I. INTRODUCCIÓN**

### **Realidad problemática**

Desde hace décadas el concreto es muy indispensable para las construcciones, es por ello cada vez se busca mejorar sus propiedades, ya sea con algún aditivo o adicionando algún material que ayude al concreto a tener mejor comportamiento, en este caso en la presente investigación se busca mejorar la resistencia a la compresión del concreto. Ante a ello, en la presente investigación proponemos un nuevo material que ayude a mejorar las propiedades mecánicas del concreto, hablamos del grafeno.

También es importante mencionar que, el grafeno ya se había obtenido, pero aún era inestable. Sin embargo, Jiménez (2017) en su artículo menciona que “[...] Su historia se remonta a 1947, cuando Wallace, Philip Russell. Describió por primera vez la estructura de bandas del entonces llamado “monocapa de grafito” mediante un estudio teórico que envió a la revista *Physical Review*”. Por ello, en el 2004, Novoseloy, Serguéievich Novosiólov con sus colaboradores que lograron describir experimentalmente las propiedades de grafeno de una cubierta delgada de pocos átomos de espesor. En ese año se logró crear un grafeno estable con condiciones normales de temperatura y humedad, contrarrestando la opinión de Jiménez (2017) sobre la investigación del grafeno.

Después del descubrimiento del grafeno, en la actualidad este material se ha vuelto muy interesante, donde los investigadores están sumamente interesados para producir grafeno. Así mismo realizar investigaciones aprovechando las propiedades que este posee. Ya que, esta puede mejorar la durabilidad, la permeabilidad, trabajabilidad y la resistencia del concreto, no cabe duda que aquellos conocedores de este material mencionan que, el grafeno es más fuerte que el acero, de tal manera aumenta la resistencia con láminas muy delgadas de algunos elementos como el concreto.

A inicios del 2017, investigadores de la Universidad de Illinois hallaron una manera de producir grafeno relativamente sencillo y un costo reducido. Esta consiste en la utilización de agua carbonatada y descomponer químicamente. Por ello, esta nueva técnica permite que el material esté disponible en cantidades mayores para poder realizar proyectos de investigación científica de manera académica. Según las investigaciones el grafeno puede mejorar las propiedades del concreto con proporciones pequeñas. Por ello en esta investigación se utilizará proporciones pequeñas de grafeno en relación al peso del cemento. Esta investigación es un tema no abordado en las investigaciones que se realizan durante todo el tiempo. Así mismo, en dicha investigación se va a incorporar el grafeno en pequeñas

proporciones para realizar un análisis del comportamiento mecánico del concreto. Ya que el objetivo de esta investigación es obtener un concreto con mejores propiedades que tengan un comportamiento mecánico resistente a la compresión.

### **Trabajos previos.**

#### **Antecedentes nacionales:**

Ccopa, (2017). En su tesis titulada “Efecto del grafeno como aditivo nanotecnológico en la resistencia del concreto”. Podemos mencionar que el objetivo fue estudiar que efecto produce el grafeno como un aditivo nanotecnológico, de este modo aumentar la resistencia y trabajabilidad del concreto a una altura de 3800 msnm. Experimentando cambios muy interesantes en la trabajabilidad del concreto, así mismo determinar los cambios del porcentaje de aplicación del grafeno y sobre todo la resistencia del concreto. El método que uso fue correlacional – explicativo, ya que esta busca intencionalmente relacionar y vincular entre si el comportamiento mecánico a compresión con la inclusión de grafeno como aditivo, el nivel es explicativo, esta se centra en determinar las razones que esta origina a la variación de los resultados. Donde se aplicó el método ACI para la realización del diseño de mezcla y para los agregados el método de módulo de finesa. Podemos concluir que, la mejora que produce el grafeno al concreto, es un incremento de un 26% a una de sus propiedades que es la resistencia a la compresión, ya que valor obtenido es a travez de la comparación de resultados con el concreto patrón. Del mismo modo, incrementa su consistencia y acelera el tiempo de fraguado, como también el aumento de su resistencia conforme va aumentando la edad del concreto.

Bazan, (2017). En su tesis titulada “Estudio espectroscópico y morfológico en el grafeno químicamente modificado”. Su objetivo fue elaborar un estudio espectroscópico y morfológico del grafeno químicamente modificado (GQM) obtenido por reducción química de su precursor de síntesis, el óxido de grafeno (OG). La metodología que usaron fue la descripción ya que describen la evolución del método de exfoliación química como ruta de síntesis en la obtención del grafeno. Finalmente se concluyó a través del estudio morfológico, que la etapa de reducción química generó una restitución estructural sobre el GQM, otorgándole una mayor homogeneidad superficial asociada a la disminución en la densidad de defectos. Así mismo, el análisis porfilométrico de las escamas de GQM, mostraron escamas con espesores en el rango de 20 a 30 nm, con lo cual se estimó que el número de capas que conforman al GQM se encuentra en el rango de 25 a 40 monocapas de grafeno oxofuncionalizado.

Apaza y Quispe, (2018). Cuya tesis titulada “Mejoramiento de propiedades mecánicas del concreto con adición de nanotubos de carbono”. Lo cual busca, demostrar que la adición de nanotubos de carbono, mejore sustancialmente las propiedades mecánicas del concreto. La metodología se usó en esta investigación fue de carácter cuantitativa, quiere decir que sus datos numéricos que resultan de la elaboración de ensayos de concreto de estado fresco y estado sólido hechas en laboratorio. Llegando a la conclusión, que se ha demostrado que las adiciones de Nanotubos de Carbono (NTC) mejoran las propiedades mecánicas del concreto de forma integral usando cantidades óptimas de NTC, para el caso de mezclas elaboradas con cemento Yura tipo IP es 0,05% del peso del cemento, ya que desde el punto de vista económico y de performance es el que mejor se comporta. En el caso de concretos con cemento tipo I -Wari se ha llegado a una dosificación óptima de 0,10%, sin embargo, esta alternativa resulta antieconómica.

#### **Antecedentes internacionales:**

Ávila, (2018). En su tesis titulada “Evaluación del comportamiento en compresión de morteros reforzados con oxido de grafeno y costos inherentes al proceso productivo de la mezcla”. Lo cual busca determinar una de sus propiedades mecánicas a la compresión en cubos de mortero que han sido reforzados con oxido de grafeno de origen ecuatoriano, registrando los costos de producción del aditivo y mortero por unidad volumétrica ensayada. La metodología que usó fue ensayos en el laboratorio de materiales, procedimiento, muestras de morteros por medio de probetas reforzado para ser ensayadas mecánicamente a compresión. Llegando a la conclusión que el estudio del comportamiento mecánico bajo cargas de compresión aplicadas a cubos de mortero, se utilizaron muestras que fueron reforzadas con óxido de grafeno, esta fue obtenida por el método de síntesis química “Improved Synthesis of Graphene Oxide”, y muestras reforzadas con óxido de grafeno reducido, en ambos casos se incorporó policarboxilato (0,5% de peso de cemento) para optimizar las propiedades de adhesión del óxido de grafeno y su dispersión en la matriz de cemento (Babak y Col., 2014). Teniendo en cuenta que no se utilizó la dispersión mediante ultrasonido (sonicación) para mejorar la solubilidad del óxido de grafeno en el agua, lo que implícitamente mejoraría la adherencia entre el GO y el cemento, se recomienda repetir el ensayo incorporando la sonicación para determinar el efecto que produce el GO en el comportamiento de su resistencia sometida a fuerzas de compresión.

De la Peña, (2017). En su tesis titulada “Generación de un nuevo revestimiento arquitectónico, a partir del grafeno, aplicado a las pinturas exteriores de los edificios”. Donde

busca diseñar y desarrollar un nuevo material compuesto, utilizando pinturas combinadas con grafeno para exteriores en las edificaciones. Además, adicione propiedades nuevas y mejores que las pinturas sin reforzar. El grafeno en esta oportunidad está presente como integrante de una nueva cubierta arquitectónica a través de las pinturas. La metodología que uso fue las pruebas en laboratorio con el agregado del grafeno llegando a la conclusión de que, con pequeños porcentajes, estos son suficientes para la mejora favorable de sus propiedades, de acuerdo a la relación que existe entre área y su volumen de los nanomateriales usados, del mismo modo adquirir una técnica que facilite la aplicación, rentabilidad y fácil manejo.

Paz, (2018). Con su tesis de grado “El grafeno posibilidades del grafeno en la arquitectura”. Su objetivo fue contextualizar el papel del grafeno en el contexto de la construcción y arquitectura. La metodología empleada para este trabajo se basa en cuatro principios resumidos en el acrónimo IMRAD: introducción, método, resultado y discusión. Llegando a la conclusión, la nanotecnología y el concreto con grafeno van a suponer una revolución en el rubro de la construcción. Para ello es necesario ser capaces de intuir todas las posibilidades que nos ofrece la ciencia.

Botto y Santacruz, en su tesis de maestría “Evaluación de las propiedades en estado fresco y endurecido de un concreto para uso en pavimento rígido, adicionado con nanocompuesto de carbono”. Su objetivo fue evaluar la influencia de la adición de nanocompuestos de carbono sobre sus propiedades del concreto en estado fresco y en estado endurecido, donde será usado en pavimento rígido. La metodología que usó fue la fase experimental. Llegando a la conclusión, que los ensayos realizados de resistencia y flexión, no se mostraron una tendencia o influencia significativa de las mezclas adicionadas con respecto a la mezcla control, debido a que los resultados que se obtengan tienen que estar dentro del límite de los coeficientes de variación.

Chao, (2016). Construcción y tecnología del concreto. México. Presenta una investigación acerca de un aditivo a base del grafeno. De la mano con la Universidad Católica san Antonio de Murcia (UCAM), se presentó el aditivo con la buena noticia de que ayudará a que los edificios sean más resistentes en caso de terremotos. Además, las dos instituciones destacaron que el producto mejora todas las características que afectan a la durabilidad del concreto. José Antonio Martínez vicepresidente de la firma subrayó que el aditivo mejora factores tan importantes como la resistencia a la carbonatación, cloruros y sulfatos. Además, logra que la vida útil del concreto aumente de manera notable. Por supuesto, como efecto

colateral positivo ayuda a optimizar los recursos naturales y logra reducir las manifestaciones de óxido de carbono a la atmósfera, que son a causa de la extracción, manipulación, producción y transporte de las materias primas.

### **Teorías relacionadas al tema**

#### **Concreto.**

Cuando se habla de concreto se sabe que es uno de los materiales que más se usa en construcción, ya que es fácil de manejar, es muy versátil. Aceros Arequipa en su manual para el constructor define al concreto como “Se le llama concreto al conglomerado cemento, agregado fino, grueso, agua. Conforme avanza la reacción agua cemento el concreto se va endureciendo”. Podemos definir que el concreto depende de la cantidad de cada material, donde su resistencia específica en los planos estructurales, nos indica para cada tipo de elemento estructural. Así mismo, conseguir que la resistencia tenga la suficiente capacidad de aguantar las cargas y transferirlas a los cimientos.

#### **Componentes del concreto.**

Los componentes del concreto son los siguientes materiales como: agregado fino, agregado grueso, agua, cemento, aire y aditivos si fuera necesario mejorar sus propiedades. Estos componentes cumplen un rol importante ya que influyen directamente en el desempeño del concreto.

En el uso del concreto no solo se debe conocer los resultados del producto en la utilización de los materiales para realizar el concreto, sino también sus componentes y su relación que existe entre ellas. Ya que, es imprescindible el uso de estas, limpias de impurezas para garantizar el buen producto que se desea ofrecer u obtener.

#### **Cemento portland.**

El cemento es producto de la calcinación de rocas a temperaturas muy elevadas que pasan un proceso mecánico, donde estas son molidas hasta lograr material muy fino, que, al interactuar con el agua, esta adquiere sus propiedades de adherencia y resistencia. Este material es indispensable para la construcción en la fabricación de concreto, mortero y enlucidos que se puede realizar en obras civiles. Por ello Villarino (2011, p.57) menciona que “El cemento Portland ha llegado a una gran perfección y es material industrializado de construcción de mayor consumo. Cabe mencionar que el cemento es el material más importante del hormigón, [...]”. De cierta manera, este material fue desarrollándose significativamente donde se realizó tipos de cemento para todo tipo de aplicación según el contexto lo requiera.

### **Tipos de cemento portland.**

El Perú produce una variedad de cementos que son requeridos en el mercado, de acuerdo a sus características comerciales. Donde estas cumplen estrictamente los requerimientos de normas nacionales e internacionales como la norma ASTM. Así mismo existe múltiples de productores de cemento, pero todos cumplen la misma finalidad. Es por ello, existen diversos tipos de cemento para necesidades específicas, como nos muestra en la siguiente tabla de tipos de cementos existentes.

Tabla 1: Principales tipos de cemento portland.

Tipo	ASTM	Descripción
<b>Tipo I</b>	C 150 - 84	Portland común
<b>Tipo II</b>	C 150 - 84	Portland con moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación
<b>Tipo III</b>	C 150 - 84	Portland de endurecido rápido
<b>Tipo IV</b>	C 150 - 84	Portland de bajo calor de hidratación
<b>Tipo V</b>	C 150 - 84	Portland resistente al sulfato
<b>Tipo IP</b>	C 595 – 83 a	Portland puzolánico de 15 a 40% de puzolana

Fuente: Norma ASTM.

### **Agregados.**

Son elementos que conforman el concreto, que al mezclarlo con el cemento forman la estructura resistente. Donde en su gran mayoría del total del volumen de la pasta son los agregados. Por ello, cumplen una función muy importante en el comportamiento del concreto. Así mismo, Palomino, (2017, p. 32) menciona que “Los agregados son los que conforman el esqueleto granular del concreto y representan aproximadamente las tres cuartas partes del volumen del concreto [...]”. En general, la arena fina y la piedra chancada son agregados que se usan en su gran mayoría para la fabricación del concreto, donde la calidad de esta es muy importante, porque al incumplir puede limitar su resistencia, del mismo modo afectar su durabilidad y el desempeño a que este diseñado.

### **El Agregado fino.**

Burgos, (2012, p. 17) menciona que “Es el material proveniente del tamizado de las rocas, que pasa como mínimo el 95% por el tamiz N° 3/8” (9.51 mm) y queda retenido en el tamiz N° 200 que cumple con los límites establecidos en la norma NTP 400.037”. Consiste de arena natural con partículas que son duras, compactas y resistentes. También, esta arena fina tiene que estar limpio de impurezas como el limo, ya que esta daña las propiedades del cemento. Así mismo, debe estar de acuerdo a los requerimientos que rigen en la Norma ASTM C 33. Esta norma establece los límites sobre sustancias que son perjudiciales del



agregado fino para el concreto, como límite de la cantidad terrones de arcilla que se descomponen fácilmente. Aquellas limitan en un 3 por ciento, el limo también limita en 3 por ciento, el carbón y el lignito limita en 5 por ciento, todas limitan un porcentaje de la totalidad de la masa. Estos elementos son quienes se encargan que el concreto pierda fuerza en todas sus propiedades y esta se deteriore. Sin embargo, nos brinda requerimientos de granulometría del agregado fino para un mejor control y garantizar un buen producto.

Tabla 2: Requerimientos de granulometría para el agregado fino.

MALLA	% QUE PASA
3/8	100
4	95 – 100
8	80 – 100
16	50 – 85
30	25 – 60
50	10 – 30
100	2 – 10

Fuente: Norma ASTM – C33.

### **El agregado grueso.**

Según Olarte, (2017, p. 46) “los agregados gruesos están conformados por una grava o una cantidad de gravas o agregado triturado dichas partículas son predominantemente entre 9.5 mm y 38 mm para ello los agregados gruesos deben cumplir ciertas características para poder ser usados en la fabricación del concreto”. Estos agregados gruesos deben cumplir ciertos criterios para poder ser usados para la fabricación del concreto. Requisitos como que estas deben ser partículas que duren con el tiempo, limpias, resistentes y sobre todo libres de productos que perjudiquen el concreto, como recubrimiento de arcilla y más materiales finos y que esto pudiera perjudicar la hidratación y el confinamiento del material en este caso el cemento.

Por otro lado, el agregado grueso conocido también como la piedra chancada que se obtiene de las canteras. Este material se pasa por un tamizaje y la grava es el material que es retenido por el tamiz número 4 de (4.5mm) cumpliendo los requisitos que estipula la norma ASTM C 33. La característica principal de la grava es brindarle volumen y resistencia al concreto, esta es obtenida de la trituración artificial de las rocas o gravas provenientes de la erosión de las rocas por agentes naturales, generalmente encontradas en canteras.

### **Agua.**

El agua es muy importante en la elaboración del concreto, así mismo en la construcción porque tiene un rol muy significativo en el momento de la fabricación del concreto. Por ello Ore, (2014, p. 11) menciona que “El líquido que está en la mezcla del concreto reacciona

químicamente con el cemento para lograr la formación de la pasta y permitir que la masa del concreto adquiriera propiedades en su estado fresco que permitan una adecuada trabajabilidad [...]”. Del mismo modo, el agua es comúnmente potable, caso contrario se usaría el agua de los ríos, lagos, lagunas o corriente natural, es importante mencionar que este líquido debe ser clara sin olores apreciables y cumplan los requerimientos de la norma técnica peruana NTP 339.088, donde menciona requisitos de la calidad del agua para la preparación del concreto y los límites permisibles que deben cumplir las sustancias disueltas mostradas en la siguiente tabla.

Tabla 3: Límites permisibles de contenidos y sustancias disueltas.

<b>Descripción</b>	<b>Límite permisibles</b>
Sólidos en suspensión	5 000 ppm máximo
Materia orgánica	3 ppm máximo
Alcalinidad (NaHCO <sub>3</sub> )	1 00 ppm máximo
Sulfatos (ión SO <sub>4</sub> )	600 ppm máximo
Cloruros (ión Cl)	1 000 ppm máximo
PH	5 a 8 máximo

Fuente: NTP 339.088.

El agua en la mezcla del concreto tiene funciones muy interesantes como de reaccionar con el cemento, a la vez ser como lubricante para la trabajabilidad, su manipulación y en relación de agua y cemento para su resistencia. Por lo tanto, otra de las funciones del agua en el concreto es la necesidad de hidratación del cemento, otra función que también es importante después del fraguado, es el curado, donde se usa para obtener su máxima resistencia del concreto, cabe mencionar que, al agua, así como ayuda obtener su resistencia, también puede deteriorar al concreto si está expuesto a ella.

### **Propiedades del concreto fresco**

#### **Trabajabilidad**

Es una propiedad del concreto, donde en su estado fresco permite que el concreto sea fácil de ser mezclado, como también al ser transportado y colocado en el encofrado, esta propiedad llamada trabajabilidad se puede evaluar de una manera muy simple viendo como la mezcla fluye al ser empujada por su propio peso.

#### **Consistencia**

Aceros Arequipa en su manual menciona que “la consistencia está definida por la fluidez de la mezcla, es decir su capacidad de desplazarse dentro de los encofrados y llenarlos completamente”. Esto también va a depender mucho de la relación agua cemento que se le proporciona a la mezcla, así como también de la calidad de los agregados que se le incorpora a la mezcla cabe mencionar que estos agregados deben ser de una cantera de confianza.

### **Propiedades mecánicas del concreto en estado endurecido.**

Se llama concreto endurecido cuando después del estado plástico pasa al estado rígido, cuando está empezando a adquirir resistencia y pasa a ponerse duro. Una de las propiedades mecánicas más importante del concreto en estado endurecido, es la resistencia a la compresión, es por ello que se abordara en este proyecto de investigación.

#### **Resistencia a la compresión.**

Cuenca y Solórzano, (2018, p. 24) menciona que “la resistencia a la compresión podemos definir como el tamaño máximo de la resistencia a la carga axial, esta medida es la más común de desempeño que hoy en día emplean los ingenieros para diseñar edificios u otras estructuras [...]”. Se mide aplicando presión constante a los testigos de concreto de forma cilíndricas, esta es aplicada por una máquina de ensayos de compresión, donde esta se calcula a partir de la carga ultima de ruptura dividida entre área de sección resistente de los testigos de concreto a la carga sometida.

La resistencia del concreto está definida como el esfuerzo ultimo o carga ultima que puede soportar dicho material. Este principalmente toma esfuerzos de compresión, es la medida de su resistencia o resistencia máxima la que determinará la calidad del producto. Para obtención de resultados de los testigos realizados se realiza de acuerdo a la norma NTP 339.034, donde menciona los parámetros a seguir como realizar los ensayos de ruptura a los 7, 14 y 28 días con un mínimo de 3 muestras en cada día.

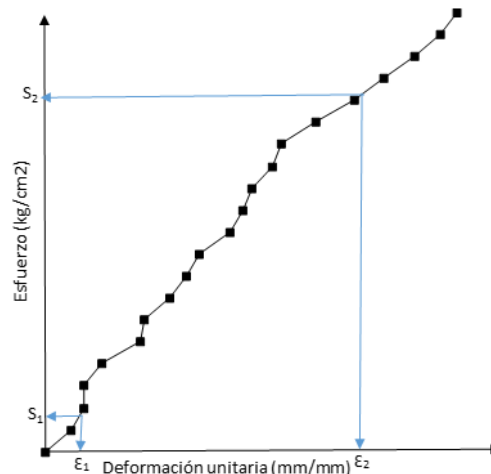
#### **Módulo de elasticidad**

El módulo de elasticidad es un parámetro que consiste en describir la respuesta de la rigidez de un material que está sometido a una carga constante, generando un comportamiento elástico siempre y cuando no sobrepase el límite elástico.

Según el ASTM C-469 el registro se debe realizar sin interrupciones, de ello indica los valores o resultados a los que se debe tomar registro como, el valor de carga constante aplicada, la deformación longitudinal del material, durante en el ensayo cuando la deformación longitudinal sea de 50 millonésimas y cuando esfuerzo sometido es el 40% del esfuerzo o de ruptura.

Para generar la curva de esfuerzo y deformación se debe realizar dos o más lecturas cuando la carga aplicada es constante, los cuales se utilice algún instrumento que garantice un registro continuo.

Figura 1: Módulo de elasticidad.



Fuente: ASTM C 469.

Su módulo de elasticidad se obtiene cuando la deformación unitaria ( $\epsilon_1$ ) este punto es los 50 millonésimas (0.000050) como menciona en el ASTM C- 469, donde si trazamos una línea perpendicular tendremos el valor del esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria longitudinal ( $S_1$ ), para obtener el esfuerzo último correspondiente al 40% de carga última donde es la máxima resistencia de la probeta ante un esfuerzo ( $S_2$ ), de igual manera como indica en la figura se traza una línea perpendicular a ésta para obtener la deformación unitaria longitudinal producida por el esfuerzo  $S_2$  ( $\epsilon_2$ ).

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

Dónde: E: Módulo de elasticidad

### Comportamiento mecánico del concreto.

El comportamiento del concreto es a partir de datos de ensayo a compresión, donde es posible calcular valores de esfuerzo y deformación unitaria, a través de curva de esfuerzo y deformación de los valores obtenidos a los 7, 14 y 28 días. Estas curvas se deben estudiar cuidadosamente porque, al inicio las curvas son aproximadamente rectas, mientras que la carga crece a un tercio o un medio de la resistencia ultima del concreto. De lo mencionado, Cormac y Brown, (2016, p.16) “ El concreto no tiene una resistencia a la fluencia plastica definida; mas bien, las curvas se comportan suavemente hasta sus puntos de ruptura bajo deformaciones unitarias de entre 0.003 y 0.004”. De lo mencionado líneas arriba se puede expresar en la figura 1 la curva de esfuerzo y deformación unitaria.

## Esfuerzo.

El esfuerzo es la resistencia de un material que se distribuye en toda su área, por ello se define esfuerzo a la fuerza por unidad de área, y esta tendrá que soportar una carga externa aplicada hacia dicho material. Es un parámetro que permite comparar la resistencia del concreto.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Donde:

$P$ : Fuerza axial

$A$ : Area de sección transversal

## Deformación unitaria.

Para el diseño y el análisis de la estructura, no solo la resistencia del concreto es tan importante estudiarla, sino también se debe inspeccionar las deformaciones para que el concreto cumpla con el objeto para que se diseñó. Las deformaciones se relacionan con los cambios que generan las cargas aplicadas al material, analizando con respecto a su longitud inicial. Por ello, la deformación se representa de la siguiente fórmula matemática.

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

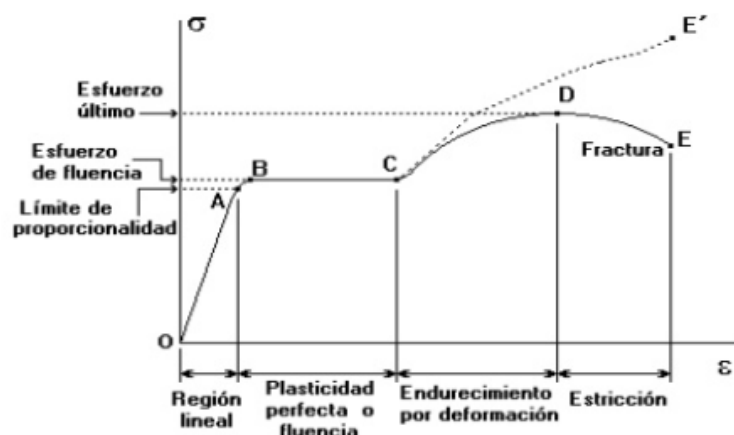
Donde:

$\varepsilon$ : deformacion unitaria

$\delta$ : Alargamiento

$L$ : Longitud inicial

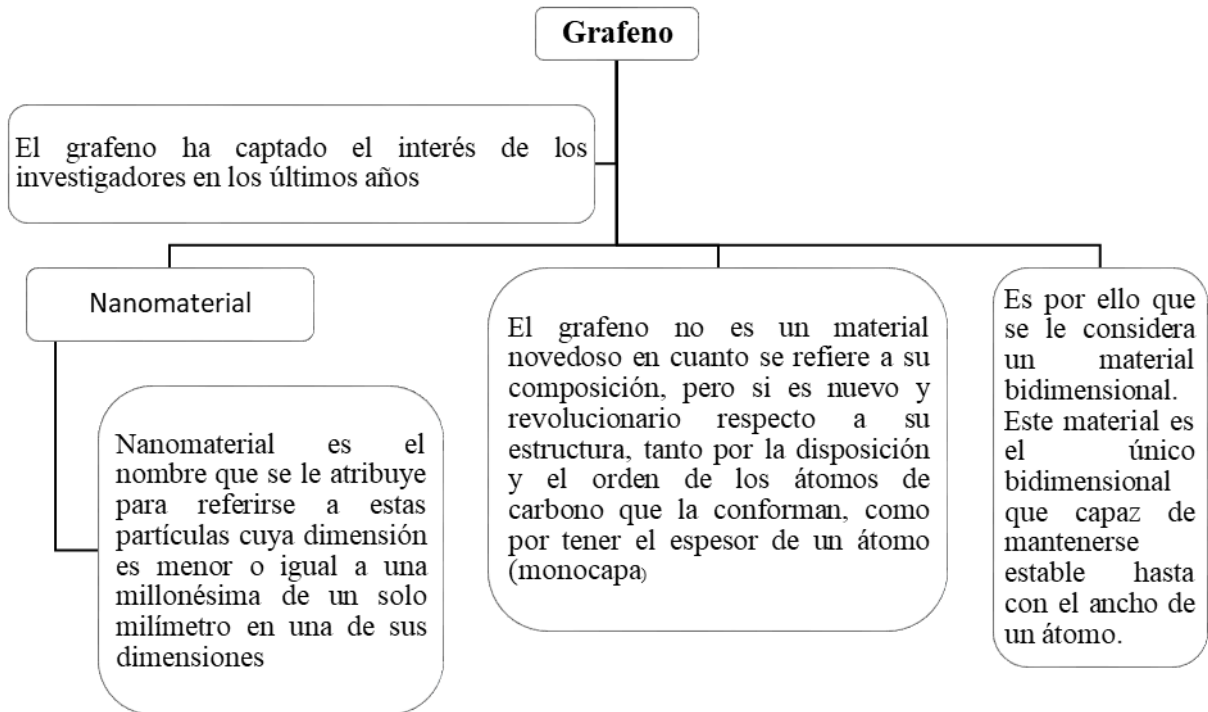
Figura 2: Curva de esfuerzo y deformación unitaria



Fuente: Barrios, (2015).

## Grafeno.

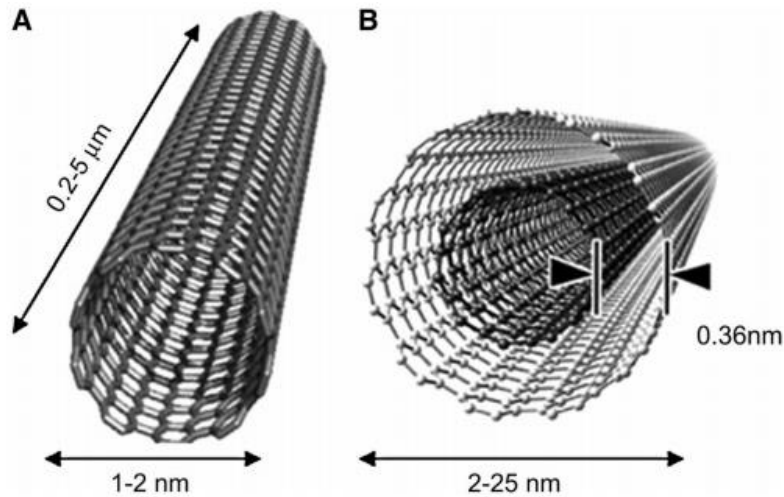
Figura 3: Grafeno



Fuente: Propia

Según Navarro y Horacio, (2017, p. 43) “Es una estructura de forma tubular con tamaño de su diámetro de orden nanométrico (nm), donde un nanómetro es igual a 1 billonésima parte de un metro  $1 \times 10^{-9}$  m, [...]”. Los nanotubos de carbono son láminas enrolladas de grafeno, dependiendo del tamaño y la estructura interna se puede presentar diversos tamaños y geometría de láminas enrolladas de grafeno. Sin embargo, existen láminas enrolladas de grafeno conformadas por una sola capa, también se puede encontrar conformadas por multicapas, así como se muestra en la siguiente figura.

Figura 4: Laminas enrolladas de grafeno de una sola capa y multicapa.



Fuente: Navarro y Horacio, (2017).

Así mismo se muestra los porcentajes en peso con respecto a la cantidad de capas de grafeno.

Tabla 4: porcentaje en peso con respecto a la cantidad de capas de grafeno.

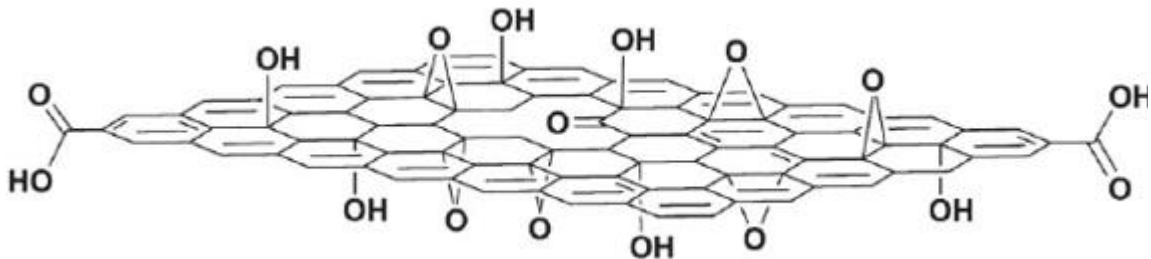
Grafeno
Grafeno (> 99% en peso, D 0.5-3 μ m, <3 capas)
Grafeno (> 98% en peso, D 1-5 μ m, 1-2 capas)
Grafeno (> 98% en peso, D 8-15 μ m, 1-2 capas)
Grafeno (> 98% en peso, D> 50 μ m, 1-2 capas)

Fuente: www.nanoamor.com

## Propiedades

El grafeno posee asombrosas características por las propiedades que esta posee como dureza y resistencia. Así mismo, el grafeno posee increíbles propiedades térmicas, electrónicas y mecánicas. Sin embargo, muchos investigadores nombraron al grafeno como el material de futuro, gracias a sus propiedades. Por ello, el grafeno se puede describir como una lámina bidimensional que en su contenido contiene átomos de carbono, la cual es representada como la forma de panal de abejas. Así como se detalla en la siguiente figura.

Figura 5: Modelo de la estructura de grafeno.



Fuente: Aguirre, (2015)

Este material presenta propiedades muy excelentes. Los cuales son usadas para la conductividad electrónica. En general, estas láminas de grafeno son soluble en el agua para emplear en el concreto.

Por ello, se aprovechará la resistencia, que es una de las propiedades del grafeno, importante para este proyecto de investigación incorporado con grafeno al concreto, para aumentar sus propiedades como la resistencia, permeabilidad, durabilidad, trabajabilidad.

A continuación, daremos a conocer las propiedades del grafeno.

### **Es bidimensional.**

Un claro ejemplo para demostrar que el grafeno es bidimensional, es comparándolo con el espesor de un cabello humano, ya que el grafeno sería 100.000 veces delgado debido a que es conformado por capas muy finitas de un átomo de espesor.

### **Es ligero.**

El grafeno tiene un peso de  $0.77 \text{ mg/m}^2$  lo que hace que este sea demasiado ligero. Además, una superficie específica de  $2600 \text{ m}^2/\text{g}$  lo que hace que el grafeno sea ligero y flexible.

### **Es flexible**

Una pequeña lámina de grafeno puede dilatarse un 10% de su tamaño natural y doblarse hasta un 20% sin obtener daños, también es capaz de crear nanotubos enrollándose en sí misma.

### **Es duro y resistente.**

Este material tiende a soportar fuerzas extremas sin deformarse, con una resistencia mecánica de  $42 \text{ N/m}$ . siendo este valor, su esfuerzo de rotura. Así mismo, si se desea atravesar una lámina de grafeno se necesita un peso mayor de 4 toneladas.

### **Es transparente**

El grafeno en su transparencia es muy similar al vidrio, ya que una monolamina de grafeno absorbe un 2.3% de luz blanca de la superficie. Importante mencionar que, lo que se desea que la lámina contenga mayor transparencia entonces esta no debe contener muchas láminas de grafeno porque es menos transparente, pero incrementa la absorción de luz.

### **Es conductor eléctrico y térmico**

Una propiedad interesante como excelente conductor térmico y eléctrico. Es mejor que el cobre porque es capaz de conducir energía eléctrica de  $5,000 \text{ W/mK}$ . No podemos mencionar que el cobre es un mal conductor eléctrico, al contrario, el cobre también es un buen conductor eléctrico.



### **Soporta la radiación ionizante**

Los investigadores a través de sus estudios han demostrado que el grafeno químicamente reactivo, por lo que se ha demostrado la capacidad de soportar la radiación ionizante. Sin embargo, si se incide luz con la propagación de electrones, entonces el átomo no llegara a desprenderse del electrón.

### **Es denso e impermeable**

El grafeno es impermeable, ya que las moléculas del gas helio son incapaces de penetrarla. No obstante, si deja pasar el agua, pero se evapora a la misma velocidad, similar a como esté expuesto al ambiente.

### **Composición química**

El grafeno es una sustancia conformada en su estructura de carbono puro, es hexagonal plano como el panal de abejas a base de átomos de carbono con enlaces covalentes que se forman a partir de la superposición de híbridos  $sp^2$

### **Aplicaciones**

Como se manifestó líneas arriba, ya que las propiedades del grafeno son muchas, también la parte de la aplicación del grafeno son muchas prácticamente ilimitadas es por eso que hay una cantidad de empresas que ahora mismo están investigando sus demás propiedades. Ahora bien, los campos de aplicación es el sector energético, industria de blindaje, telefonía móvil, eléctrica y sobre todo en el sector de la ingeniería civil mejorando las propiedades mencionadas líneas arriba.

### **Elaboración de concreto con grafeno.**

En la elaboración del concreto se incorpora el grafeno con respecto al peso del cemento portland, el resultado nos muestra mejoras en las propiedades mecánicas y físicas. Esta producida por dispersión de hojas de grafeno en el agua, y se mezcla con material de cemento. Ya que, esta es soluble en el agua se puede aplicar en el momento de realizar el mezclado con el material cementicio, así mismo para su mejor mezclado con el cemento, alternativamente pueden ser producidas mediante la adición de grafeno en el momento del mezclado con el material cementicio, agregar líquidos, agregados y otros aditivos convencionales.

### **Formulación del problema**

#### **Problema general:**

¿De qué manera la incorporación del grafeno mejorará el comportamiento mecánico a compresión del concreto  $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ ?

### **Problemas específicos:**

PE1: ¿De qué manera la incorporación del grafeno en proporciones de 0,02%, 0,04%, 0,06% y 0,08% incrementará la consistencia del concreto  $F'_c=210 \text{ Kg/cm}^2$ ?

PE2: ¿De qué manera la adición del grafeno en proporciones de 0,02%, 0,04%, 0,06% y 0,08% aumentará la resistencia a la compresión del concreto  $F'_c=210 \text{ Kg/cm}^2$ ?

PE3: ¿En qué medida la incorporación del grafeno en proporciones de 0,02%, 0,04%, 0,06% y 0,08% incrementará el módulo de elasticidad del concreto  $F'_c=210 \text{ Kg/cm}^2$ ?

### **Justificación de estudio.**

#### **Practica**

La presente investigación contribuirá al mejoramiento mecánico a compresión del concreto  $F'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ , así como también se describirán la metodología que se usó para la obtención de los resultados de laboratorio, de esa manera se contribuirá con la obtención o no de un concreto con mejor comportamiento a esfuerzos de compresión.

#### **Social**

En las construcciones de la actualidad el material que es más usado es el concreto, es por eso que cada vez se busca mejorar las características de este material en la presente investigación, lo que se busca es mejorar su comportamiento ante esfuerzos de compresión, con el fin de tener un material mucho más resistente.

#### **Teórica**

Para la presente investigación se tomó en cuenta tesis, libros y artículos donde se estudian al grafeno como una alternativa para el mejoramiento del concreto, se revisó los objetivos, la metodología y a la conclusión que llegaron para tener in sustento para la investigación, ya que buscamos mejorar el comportamiento mecánico del concreto con la adición de grafeno.

### **Hipótesis**

#### **Hipótesis general:**

HG: La incorporación del grafeno mejoraría el comportamiento mecánico a compresión del concreto  $F'_c=210 \text{ Kg/cm}^2$ ?

#### **Hipótesis específicas:**

HE1: La incorporación del grafeno en proporciones de 0.02%, 0,04%, 0,06% y 0,08% incrementaría la consistencia del concreto  $F'_c=210 \text{ Kg/cm}^2$ .

HE2: La adición del grafeno en proporciones de 0,02%, 0,04%, 0,06% y 0,08% aumentaría la resistencia a la compresión del concreto  $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ .

HE3: La incorporación del grafeno en proporciones de 0,02%, 0,04%, 0,06% y 0,08% incrementaría el módulo de elasticidad del concreto  $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ .

## **Objetivos**

### **Objetivo general:**

Mejorar el comportamiento mecánico a compresión del concreto  $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$  con La incorporación del grafeno.

### **Objetivos específicos:**

OE1: Incrementar la consistencia del concreto  $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$  con la incorporación del grafeno en proporciones de 0.02%, 0,04%, 0,06% y 0,08%.

OE2: Aumentar la resistencia a la compresión del concreto  $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$  con la adición del grafeno en proporciones de 0.02%, 0,04%, 0,06% y 0,08%.

OE3: Incrementar el módulo de elasticidad del concreto  $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$  con la incorporación del grafeno en proporciones de 0.02%, 0,04%, 0,06% y 0,08%.

## **II. MÉTODO**

### **2.1. Tipo y Diseño de investigación**

#### **Tipo de investigación.**

Este proyecto tiene un tipo de investigación aplicada ya que los conocimientos son adquiridos mediante estudios ya establecidas y este conocimiento lo aplicaremos para la solución de inconvenientes. Según Vargas (2009, p.159), la investigación aplicada “Se caracteriza así ya que busca aplicar y utilizar los conocimientos que se aprendieron antes, y los de ahora, para implementar y sistematizar la practica basada en la investigación. El empleo de conocimientos y los resultados de una investigación trae como consecuencia un resultado de una forma organizada, sistemática, rigurosa de como conocer la realidad”.

#### **Diseño de investigación**

Es un paso previo al proyecto de investigación camino a obtener los objetivos, por ello la presente investigación será experimental, ya que analizaremos con la incorporación del grfaeno (variable independiente) el efecto que producirá en el concreto, así mismo en el comportamiento mecánico a compresión del concreto (variable dependiente). Según Hurtado (2010, p.696), “El diseño experimental el investigador puede manipular los eventos explicativos, pero al mismo tiempo puede ejercer controles estrictos sobre las variables

extrañas”. Es por ello, que la investigación es experimental ya que ejercerá el control de la variable independiente, se usará varios porcentajes de grafeno para ver el comportamiento del concreto a compresión.

### **Método**

El método de investigación científico nos permite realizar una serie de procesos que nos ayudaran a llegar a nuestros objetivos trazados en la investigación. Método científico Según Robaina (2005, p.1), El método científico “consiste en realizar toda una serie de pasos específicos que los usa la ciencia para llenarse de conocimientos. Estos pasos específicos son una serie de normas y pasos que hay que seguir, estos deberían de estar bien definidos, ya que al final permitirán que se realicen y se obtengan resultados confiables”.

### **Nivel de investigación**

El proyecto de investigación es de nivel descriptivo ya que durante el desarrollo de la investigación se describirá el comportamiento del concreto a compresión. Según Arias (2012, p.2), Dice que la “una investigación descriptiva permite como así lo indica su nombre describir y analizar situaciones, los acontecimientos o eventos que sean de nuestro interés, esto se logra midiendo y evidenciando sus características”.

### **Enfoque de investigación**

Existente dos tipos de metodología de investigación, una de ellas es la cuantitativa, esta metodología se aboca principalmente en las medidas, las unidades, los números, es decir todas las cosas que se pueden medir y expresar mediante datos. Por otro lado, también tenemos la metodología que es la cualitativa, está en diferencia con la otra no cuenta con una unidad de medida sino de las cualidades las cuales se determinan por medio de la opinión o criterio del que lo mide. Es por eso que teniendo en cuenta los conceptos mencionados anteriormente, podemos decir que esta investigación tiene un enfoque cuantitativo ya que se busca comprobar una hipótesis mediante la recolección de datos y números.

## **2.2. Operacionalización de Variables.**

### **Variable**

Según Pérez (2007, p.171), La “variable es todo aquel que tiene características propias y que estas mismas características la diferencia de las demás, que puede ser susceptible de cambio o modificación ya que, la podemos estudiar, controlar o medir en una investigación”.

### **Variables:**

Variable independiente: grafeno

Variable dependiente: comportamiento mecánico a compresión del concreto.

### **Operacionalización de variables**

#### **VI: grafeno**

Según Grafenano, (2017) en su artículo menciona que. “El grafeno es un nanomaterial bidimensional, consistente en una sola capa de átomos de carbono. A pesar de ser tan fino y ligero, es el material más fuerte que se conoce en la naturaleza, [...]”. Está conformado por capas muy finas con un espesor de un átomo, un claro ejemplo sería unas 100.000 veces más delgado que el cabello humano.

#### **VD: Comportamiento mecánico del concreto**

El comportamiento del concreto es a partir de datos de ensayo a compresión, donde es posible calcular valores de esfuerzo y deformación unitaria, generando la curva de esfuerzo y deformación, estos valores obtenidos son a los 7, 14 y 28 días. Estas curvas se deben estudiar cuidadosamente porque, al inicio las curvas son aproximadamente rectas, mientras aumenta la carga a un tercio de la resistencia última del concreto. De lo mencionado, Cormac y Brown, (2016, p.16) “ El concreto no tiene una resistencia a la fluencia plástica definida; mas bien, las curvas se comportan suavemente hasta sus puntos de ruptura bajo deformaciones unitarias de entre 0.003 y 0.004”.

Tabla 5: Matriz de Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
<b>V1: grafeno</b>	Según Grafenano, (2017) en su artículo menciona que. “El grafeno es un nanomaterial bidimensional, consistente en una sola capa de átomos de carbono. A pesar de ser tan fino y ligero, es el material más fuerte que se conoce en la naturaleza, [...]”. Está conformado por finísimas capas de un átomo de espesor, un claro ejemplo sería unas 100.000 veces más delgado que el cabello humano.	Esta variable se ha presentado en cuanto a su organización en 2 dimensiones que son evaluados por un total de 6 indicadores.	<b>grafeno</b>	granulometría
				densidad
			<b>Dosificación de grafeno</b>	Porcentaje de grafeno de 0,02%
				Porcentaje de grafeno de 0,04%
				Porcentaje de grafeno de 0,06%
Porcentaje de grafeno de 0,08%				
<b>V2: comportamiento mecánico a compresión del concreto.</b>	El comportamiento del concreto es a partir de datos de ensayo a compresión, donde es posible calcular valores de esfuerzo y deformación unitaria, a través de curva de esfuerzo y deformación de los valores obtenidos a los 7, 14 y 28 días. Estas curvas se deben estudiar cuidadosamente porque, al inicio las curvas son aproximadamente rectas, mientras que la carga crece a un tercio o un medio de la resistencia última del concreto. De lo mencionado, Cormac y Brown, (2016, p.16) “El concreto no tiene una resistencia a la fluencia plástica definida; más bien, las curvas se comportan suavemente hasta sus puntos de ruptura bajo deformaciones unitarias de entre 0.003 y 0.004”. En la siguiente tabla se muestran la curva de esfuerzo y deformación unitaria.	Esta variable se ha presentado en cuanto a su organización en 2 dimensiones que son evaluados por un total de 6 indicadores.	<b>Resistencia a la compresión del concreto</b>	Esfuerzo de compresión a la edad de 7 días
				Esfuerzo de compresión a la edad de 14 días
				Esfuerzo de compresión a la edad de 28 días
			<b>Comportamiento mecánico del concreto</b>	Esfuerzo
				Deformación unitaria
Módulo de elasticidad.				

Fuente: Elaboración propia

## 2.3. Población y muestra

### Población

Según López (2018, p. 69), “La población es un conjunto de personas u objetos de los que se desea saber algo en una investigación”. En esta investigación la población es la cantidad de concreto de resistencia a la compresión = 210 Kg/cm<sup>2</sup>. Con adición de grafeno en proporciones de 0.02%, 0,04%, 0,06% y 0,08%.

### Muestra

Según López (2018, p. 69), “la muestra es un subconjunto o parte de la población en que se llevará a cabo la investigación. La muestra es una parte representativa de la población”. Como menciona López la muestra es una parte de la población para esta investigación, la muestra vendría a ser la cantidad de probetas que se ensayarán en este caso son 58 probetas. Las primeras 9 probetas son del concreto patrón y 1 probeta destinada para el ensayo de módulo de elasticidad, así obtener el esfuerzo y la deformación unitaria.

Tabla 6: probetas para el concreto patrón.

Cantidad de probetas para el concreto patrón				
Tipo de mezcla	7 días	14 días	28 días	total
Patrón	3	3	3	9
Ensayo de módulo de elasticidad	-	-	-	1
Total				10

Fuente: Elaboración propia.

Estás 36 son con incorporación del grafeno en porcentajes de 0.02%, 0.04%, 0.06% y 0.08%

Tabla 7: probetas con adición de grafeno.

Cantidad de probetas con la incorporación de grafeno				
Tipo de mezcla	7 días	14 días	28 días	Total
Con 0.02 % de grafeno	3	3	3	9
Con 0.04 % de grafeno	3	3	3	9
Con 0.06 % de grafeno	3	3	3	9
Con 0.08 % de grafeno	3	3	3	9
Total				36

Fuente: Elaboración propia.

12 probetas para el ensayo de módulo de elasticidad en cada porcentaje de grafeno

Tabla 8: probetas para módulo de elasticidad.

Probetas para el ensayo de módulo de elasticidad				
Tipo de mezcla	7 días	14 días	28 días	Total
Con 0.02 % de grafeno	1	1	1	3
Con 0.04 % de grafeno	1	1	1	3
Con 0.06 % de grafeno	1	1	1	3
Con 0.08 % de grafeno	1	1	1	3
Total				12

Fuente: Elaboración propia.

## Muestreo

Según Manterola (2017, p.228), manifiesta que “Una determinada muestra puede ser tomada de dos tipos como son: probabilística y no probabilística. Los muestreos probabilísticos, ayudan a conocer la probabilidad de cada objeto de estudio este tiene que ser incluido en la muestra por una selección al azar. En cambio, la no probabilística la selección de los objetos dependerá de ciertas características, criterios, etc. Que los investigadores consideren en ese momento”.

Debido a que la muestra no fue asignada al azar, sino según la norma y criterio y de acuerdo a lo que expresa Manterola, la presente investigación tiene una técnica no probabilística.

## 2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Como se mencionó anteriormente esta investigación tiene un enfoque cuantitativo, por tal motivo es que se analizara los resultados que se vayan a obtener en el laboratorio para la recolección de datos.

### Técnica de recolección de datos

En este proyecto de investigación se aplicará la técnica de la **observación**. Donde la información se recopila en presencia del evento cuando se esté realizado, observando o participando de él. Así mismo, durante el evento realizado el investigador tiene el completo acceso para percibir directamente el evento.

### Instrumento de recolección de datos

Según Hurtado (2010, p. 773), “La recolección de datos a través de ciertas técnicas e instrumentos implica tres procesos, los cuales no siempre aparecen juntos, en el mismo instrumento: la captación, el registro y la medición.” Por ello, los tres procesos que menciona



el autor se aplicarán en el proyecto, ya que nos permitirá recolectar datos, captar las manifestaciones del evento y medir los resultados a través de pruebas realizadas.

Tabla 9: instrumento de recolección de datos.

Técnica	Instrumento de recolección de datos	Instrumento de registro
Observación	Guía de observación	Papel y lápiz
	Balanza	Cámara fotográfica
	Cinta métrica	Cámara de video
	Fichas	

Fuente: Elaboración propia.

### Validez.

Gallardo y Moreno (1987, p. 51), mencionan sobre la validez que. “[...] La validez de un determinado instrumento de validez se mide por el nivel de significancia con la que se mide la variable de estudio [...]”. Los estudios que se realizarán serán respaldados mediante los ensayos en laboratorio por expertos en el tema. Solo así se interpreta los resultados sin inconvenientes.

### Confiabilidad

Corral (2009, p. 238), menciona que “Antes de iniciar el trabajo en campo, siempre se debe probar el cuestionario sobre una parte de la población. Dicha prueba piloto nos ayudara a garantizar las condiciones de trabajo en el campo real”. Por ello, es necesario entender que la confiabilidad como propiedad de la validez, se basa al instrumento que mide solo el evento lo que se desea medir como se menciona líneas arriba. De esta manera se evaluará la confiabilidad del cuestionario aplicando el procedimiento de validez de jueces o expertos. Quienes son ingeniero(a)s expertos en el tema.

Tabla 10: Jueces o expertos quienes validaron el instrumento.

Ingeniero(a)s expertos en el tema	Código CIP
Yvan Arturo, Laura Vargas	176780
Mayra, Rojas Navarro	199628
Daisy, Dipas Torres	200892

Fuente: Elaboración propia.

## 2.5. Procedimiento

Se siguió los siguientes procedimientos para alcanzar los objetivos propuestos:

- A. Revisión de bibliografías relacionadas al tema de investigación
- B. Extracción de los agregados fino y grueso de la cantera San Martin
- C. Transporte de los agregados hacia el laboratorio INGEOCONTROL ingeniería geotécnica y control de calidad
- D. Toma de muestras de cada agregado para los ensayos físicos

- E. Compra de cemento y aditivo (grafeno)
- F. Elaboración de los diseños de mezcla patrón y con aditivo
- G. Elaboración de las probetas
- H. Curado de las probetas
- I. Ensayo a compresión de las probetas de concreto a edades de 7, 14, y 28 días
- J. Análisis de datos obtenidos y presentación de resultados
- K. Conclusiones y recomendaciones

## **2.6. Métodos de análisis de datos**

En primera etapa para ejecutar el análisis de los datos de este proyecto de investigación; se realizará la visita de la cantera San Martín, está ubicada en el distrito de Ate. Seguidamente, obtener las muestras del agregado fino y grueso. Inmediatamente destinarlas al laboratorio para análisis de las características de los mismos. En una segunda etapa, se hará los diseños de mezclas por el método ACI, de los cuales se realizarán un concreto convencional y otra con la incorporación al concreto con grafeno. 58 probetas se realizarán para analizarlas a los 7, 14 y 28 días. De cierta manera demostrar si durante ese lapso de tiempo, el concreto tuvo un aumento o disminución respecto a la resistencia a compresión. No obstante, demostrar el comportamiento del concreto con la incorporación de grafeno al concreto. En la tercera etapa del proyecto de investigación se procederá analizar los datos obtenidos y demostrar el porcentaje de mejora en la resistencia a compresión y determinar el comportamiento del concreto. Es por ello, que usaremos la metodología cuantitativa.

## **2.7. Aspectos éticos**

Los investigadores están comprometidos bajo responsabilidad de la veracidad de la obtención de todos los resultados en el proyecto de investigación. Así mismo, confiar en los resultados que nos brindara el laboratorio donde se realizó los respectivos ensayos para determinar el comportamiento del concreto.

## **III. RESULTADOS**

### **Ensayo de agregados.**

De los ensayos realizados al agregado grueso y agregado fino se muestran los resultados y usados en el diseño de mezclas. De las cuales, se realizan estudios de las características físicas del agregado grueso y agregado fino como a continuación mencionaremos: el peso específico, peso unitario suelto y compactado, contenido de humedad y absorción, módulo de fineza y la granulometría de los agregados.

## Características físicas del agregado grueso

Tabla 11: características físicas del agregado grueso

Características físicas del agregado grueso	
P. Especifi. De masa seco (gr/cm <sup>3</sup> )	2.628
P. Especifi. De masa SSS (gr/cm <sup>3</sup> )	2.642
P. Especifi. De masa aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	2.664
P. Unitario Compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1566
P. Unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1485
Humedad de absorción (%)	0.51
Tamaño Máximo	1 ½"
Tamaño Máximo Nominal	1"
Módulo de Fineza	7.26
% < Malla N° 200 (0.75 um)	0.62

Fuente: Elaboración propia

## Granulometría del agregado grueso

Se usó la norma ASTM C33 para el desarrollo de la granulometría, así como también para los aparatos usados que cumplan los requerimientos que estipula dicha norma, los alcances para los agregados a estudiar, y el procedimiento a seguir para la obtención de los resultados. Este método se usa para agrupar las partículas según el tamaño tanto de los agregados finos como gruesos mediante el uso de tamices.

se muestra en la siguiente tabla los datos obtenidos del proceso del tamizado del agregado grueso.

Tabla 12: Resultados de ensayo de granulometría – agregado grueso.

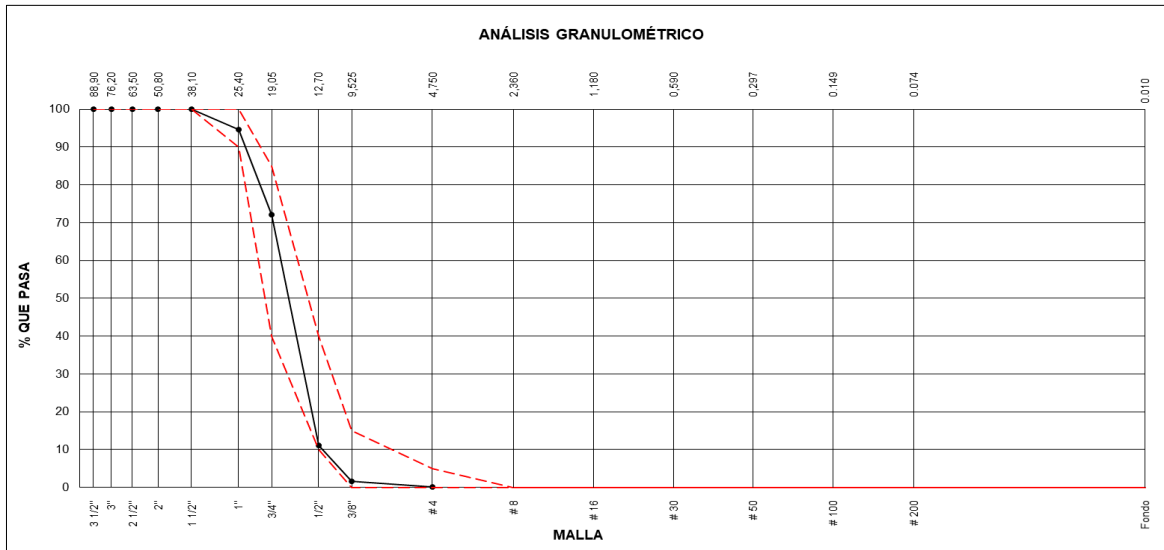
AGREGADO GRUESO ASTM C33 HUSO #56							
Malla		Peso Ret. (gr)	Peso Ret. (%)	Peso Ret. Acum.(%)	% Pasa Acum.	ASTM "LIM SUP"	ASTM "LIM INF"
4"	101.60mm		0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
3 ½"	88.90 mm		0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
3"	76.20 mm		0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
2 ½"	63.50 mm		0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
2"	50.80 mm		0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1 ½ "	38.10 mm		0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1"	25.40 mm	209	5.44	5.44	94.56	90.00	100.00
¾"	19.05 mm	890	22.37	27.81	72.19	40.00	85.00
½"	12.70 mm	2352	61.19	89.00	11.00	10.00	40.00
3/8"	9.53 mm	363	9.44	98.44	1.56	0.00	15.00
#4"	4.75 mm	59	1.53	99.97	0.03	0.00	5.00
#8"	2.36 mm		0.00	99.97	0.03	0.00	0.00
#16"	1.18 mm		0.00	99.97	0.03	0.00	0.00
#30"	0.59 mm		0.00	99.97	0.03	0.00	0.00
#50"	0.30 mm		0.00	99.97	0.03	0.00	0.00
#100"	0.15 mm		0.00	99.97	0.03	0.00	0.00
#200"	0.07 mm		0.00	99.97	0.03	0.00	0.00
Fondo	0.01 mm	1	0.03	100.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia.

## Análisis granulométrico del Agregado grueso.

De los resultados obtenidos se procede a realizar un diagrama, esto va a permitir estudiar y comprender el análisis granulométrico. Sin embargo, la curva granulométrica se representará con el porcentaje acumulado que pasa (% pasa acum.) y los límites inferiores y superiores del HUSO #56, como se puede observar a continuación la representación del análisis granulométrico del agregado grueso.

Figura 6: Curva granulométrica del agregado grueso



Fuente: elaboración propia

La curva granulométrica logra determinar que el agregado grueso cumple con los límites inferiores y superiores del HUSO # 56. Esto significa que el agregado usado cumple con los requerimientos, y es bueno para realizar nuestros ensayos.

## Características físicas del agregado fino

El agregado fino muestra en la siguiente tabla propiedades físicas del agregado fino, este material es sustraído de la cantera San Martín, de los cuales esta se encuentra en los parámetros de la norma.

Tabla 13: resumen de las propiedades físicas del agregado fino

Características físicas	
P. Especifi. De masa seco (gr/cm <sup>3</sup> )	2.643
P. Especifi. De masa SSS (gr/cm <sup>3</sup> )	2.682
P. Especifi. De masa aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	2.752
P. Unitario Compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1828
P. Unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1580
Humedad de absorción (%)	1.5
Tamaño Máximo	-
Tamaño Máximo Nominal	-
Módulo de Fineza	3.28
% < Malla N° 200 (0.75 um)	4.29

Fuente: Elaboración propia

## Granulometría del agregado fino

A continuación, vemos la tabla del tamizado del agregado fino.

Tabla 14: resultados de ensayo de granulometría – agregado fino.

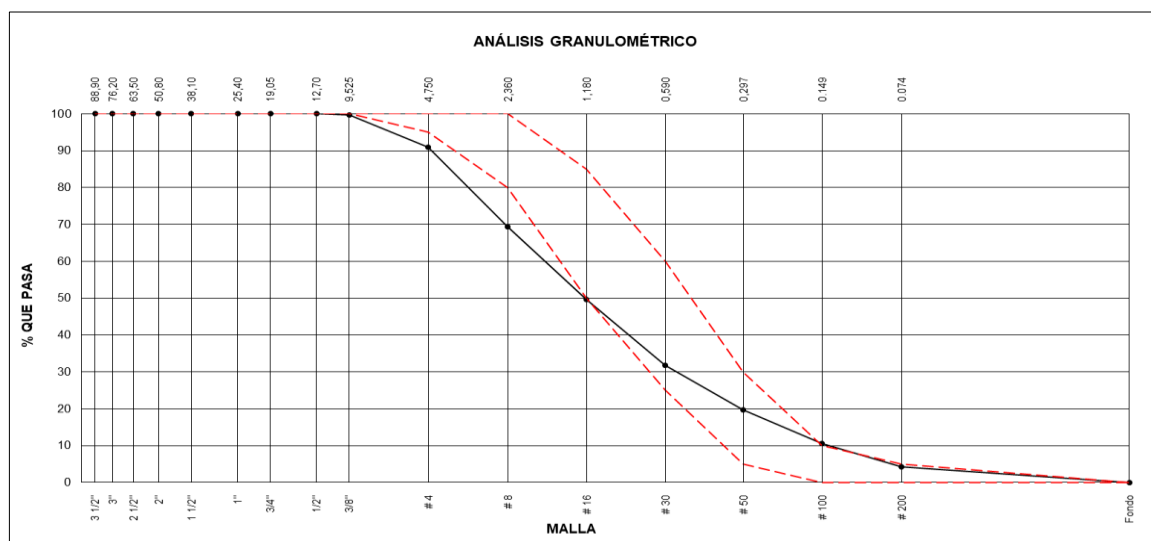
Malla		Peso Ret. (gr)	Peso Ret. (%)	Peso Ret. Acum. (%)	% Pasa Acum.	ASTM "LIM SUP"	ASTM "LIM INF"
4"	101.60mm	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
3 ½"	88.90 mm	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
3"	76.20 mm	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
2 ½"	63.50 mm	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
2"	50.80 mm	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1 ½ "	38.10 mm	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1"	25.40 mm	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
¾"	19.05 mm	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
½"	12.70 mm	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
3/8"	9.53 mm	5.9	0.34	0.34	99.66	100.00	100.00
#4"	4.75 mm	152.2	8.70	9.04	90.96	95.00	100.00
#8"	2.36 mm	378.9	21.66	30.70	69.30	80.00	100.00
#16"	1.18 mm	344.6	19.70	50.39	49.61	50.00	85.00
#30"	0.59 mm	310.3	17.74	68.13	31.87	25.00	60.00
#50"	0.30 mm	211.9	12.11	80.24	19.76	5.00	30.00
#100"	0.15 mm	162.3	9.28	89.52	10.48	0.00	10.00
#200"	0.07 mm	110.4	6.31	95.83	4.17	0.00	5.00
Fondo	0.01 mm	72.9	4.17	100.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia

Una vez obtenido esta tabla se genera la curva granulométrica, en la cual se tiene en cuenta el porcentaje acumulado que pasa (% pasa Acum.) y los límites superiores e inferiores. En la imagen se representa la curva granulométrica del agregado fino.

### Análisis granulométrico del agregado fino.

Figura 7: Curva granulométrica del agregado fino.



Fuente: elaboración propia

Los agregados finos no cuentan con una variedad de HUSOS, solo se rige por los límites superiores e inferiores establecidos en la Norma ASTM C33, después de realizado el ensayo se pudo determinar que, los finos del material están cumpliendo según la norma, pero el porcentaje de material grueso es mucho mayor, quiere decir que es necesario zarandear el material. Sin embargo, se puede utilizar el material siempre y cuando cumpla con la resistencia requerida para el concreto. Por ello, la norma E 060 de concreto armado del reglamento nacional de edificaciones menciona que “Los agregados que no cumplan con los requisitos indicados en las NTP, podrán ser utilizados siempre que el constructor demuestre, a través de ensayos y por experiencias de obra, que producen concreto con la resistencia y durabilidad requerida”.

### **Grafeno para la incorporación en el diseño**

El grafeno incorporado tiene un diámetro de 5 - 10  $\mu\text{m}$ , con un espesor de 3- 10 nm, así mismo un área de superficie específica de 31.657  $\text{m}^2/\text{g}$ , también una densidad de 0.075  $\text{g}/\text{cm}^3$  como una densidad aparente de 0.050  $\text{g}/\text{cm}^3$ , donde el contenido de carbono es de 99.5% esto indica el grado de pureza del grafeno industrial de 3 a 5 capas, de apariencia en polvo de negro y gris, con una conductividad eléctrica de 500 - 1000  $\text{s}/\text{cm}$ .

### **Diseño de mezcla.**

Para poder realizar las probetas, primero debemos de realizar el diseño de mezclas ya que ahí se obtendrá la cantidad de material que se va usar. El diseño de mezcla lo realizamos por el método ACI 211.

### **Diseño de mezcla:**

#### **Dosificación de mezcla patrón**

Dosificación por 0.030  $\text{m}^3$

Tabla 15: diseño de mezcla patrón.

Material	Cantidad
Cemento sol tipo 1	11.52 kg
Agua	6.53 Litros
Agregado grueso	27.4 kg
Agregado fino	24.1 kg

Fuente: Elaboración propia.

**Dosificación de diseño de mezcla con incorporación de grafeno de 0.02%, 0.04%, 0.06%, 0.08% con respecto al peso del cemento.**

#### **Dosificación de mezcla con 0.02% de grafeno**

Dosificación por 0.030  $\text{m}^3$

Tabla 16: diseño de mezcla con 0.02% de grafeno.

Material	Cantidad
Cemento sol tipo 1	11.52 kg
Agua	6.68 Litros
Agregado grueso	27.4 kg
Agregado fino	24.0 kg
Grafeno	2.3 g

Fuente: Elaboración propia.

### **Dosificación de mezcla con 0.04% de grafeno**

Dosificación por 0.030m<sup>3</sup>

Tabla 17: diseño de mezcla con 0.04% de grafeno.

Material	Cantidad
Cemento sol tipo 1	11.52 kg
Agua	6.68 Litros
Agregado grueso	27.4 kg
Agregado fino	24.0 kg
Grafeno	4.6 g

Fuente: Elaboración propia.

### **Dosificación de mezcla con 0.06% de grafeno**

Dosificación por 0.030 m<sup>3</sup>

Tabla 18: diseño de mezcla con 0.06% de grafeno.

Material	Cantidad
Cemento sol tipo 1	11.52 kg
Agua	6.68 Litros
Agregado grueso	27.4 kg
Agregado fino	24.0 kg
Grafeno	6.9 g

Fuente: Elaboración propia.

### **Dosificación de mezcla con 0.08% de grafeno**

Dosificación por 0.030 m<sup>3</sup>

Tabla 19: diseño de mezcla con 0.08% de grafeno.

material	Cantidad
Cemento sol tipo 1	11.52 kg
Agua	6.68 Litros
Agregado grueso	27.4 kg
Agregado fino	24.0 kg
Grafeno	9.2 g

Fuente: Elaboración propia.

Las series de tablas 14, 15, 16, 17. Muestran la cantidad de material que se va a usar para cada una de las mezclas, por 0.030 m<sup>3</sup> de concreto. Estas cantidades se obtuvieron de los diseños de mezcla, este se puede observar en el anexo número 4.

### **Elaboración de probetas.**

Para la fabricación de las probetas se siguió los requisitos de la norma ASTM C39, en la que se menciona que, las probetas deben ser de 15cm x 30 cm o 10 cm x 20 cm, en este caso se usará las probetas de 10 cm x 20 cm.

La información detallada de la elaboración de las probetas del concreto patrón y del concreto con grafeno encuentra en el anexo número 5.

### Consistencia del concreto con la incorporación del grafeno

Con la incorporación del grafeno al concreto aumenta se consistencia tal como muestra en la siguiente tabla. haciendo una comparativa con el slump obtenido del concreto patrón y con los porcentajes adicionados de grafeno.

Tabla 20: asentamiento del concreto patrón vs concreto con grafeno.

Concreto patrón	Slump obtenido	Proporciones de grafeno	Slump obtenido
Patrón	3 ¾"	0.02%	5" pulgadas
		0.04%	5 ¾" pulgadas
		0.06%	6" pulgadas
		0.08%	6" pulgadas

Fuente: Elaboración propia.

### Determinación de las resistencias a la compresión del concreto ASTM C39.

La determinación de la resistencia a compresión del concreto endurecido se recurrió a la norma ASTM C39. En este caso los agregados tuvieron un tamaño máximo de 1 1/2" y un tamaño máximo nominal de 1".

### Resistencia del concreto sin la incorporación del grafeno

#### Concreto patrón

Se muestra resultados de los ensayos a compresión del concreto patrón a una edad de 7 días en la siguiente tabla.

Tabla 21: Resistencia a la compresión a los 7 días.

IDENTIFICACIÓN	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD	RELACIÓN ALTURA / DIÁMETRO	ESFUERZO	% F'c
PROBETA N° 01 DISEÑO PATRÓN f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	12/11/2019	7 días	2.02	264 kg/cm <sup>2</sup>	125.8
PROBETA N° 02 DISEÑO PATRÓN f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	12/11/2019	7 días	1.97	241 kg/cm <sup>2</sup>	114.7
PROBETA N° 03 DISEÑO PATRÓN f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	12/11/2019	7 días	2.01	241 kg/cm <sup>2</sup>	114.8
					<b>249 kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>118.5</b>

Fuente: Elaboración propia



Los ensayos a compresión del concreto patrón a los 7 días nos muestran cómo va adquiriendo resistencia en este lapso de tiempo. a la edad de 7 días el concreto debería de estar a un 65 a 70 % de la resistencia requerida. En este caso vemos que ya paso ese porcentaje ya que tenemos un promedio de 249 Kg/cm<sup>2</sup>.

Se muestra resultados de los ensayos a compresión del concreto patrón a una edad de 14 días en la tabla siguiente.

Tabla 22: resistencia a la compresión a los 14 días.

IDENTIFICACIÓN	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD	RELACIÓN ALTURA / DIÁMETRO	ESFUERZO	% F'c
PROBETA N° 01 DISEÑO PATRÓN f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/10/2019	19/10/2019	14 días	1.95	282 kg/cm <sup>2</sup>	134.1
PROBETA N° 02 DISEÑO PATRÓN f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/10/2019	19/10/2019	14 días	1.96	275 kg/cm <sup>2</sup>	131.0
PROBETA N° 03 DISEÑO PATRÓN f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/10/2019	19/10/2019	14 días	1.95	294 kg/cm <sup>2</sup>	140.2
					<b>284</b> <b>kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>135.2</b>

Fuente: Elaboración propia

Los ensayos que se realizaron a compresión del concreto patrón a los 14 días nos muestran claramente cómo va ganando resistencia el concreto, con este lapso de tiempo el concreto debe de adquirir una resistencia del 80% de la resistencia requerida. en este caso tenemos un promedio de 284 kg/cm<sup>2</sup>.

Se muestra resultados de los ensayos a compresión del concreto patrón a una edad de 28 días en la tabla siguiente.

Tabla 23: resistencia a la compresión a los 28 días.

IDENTIFICACIÓN	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD	RELACIÓN ALTURA / DIÁMETRO	ESFUERZO	% F'c
PROBETA N° 01 DISEÑO PATRÓN f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/10/2019	03/12/2019	28 días	1.98	287 kg/cm <sup>2</sup>	136.7
PROBETA N° 02 DISEÑO PATRÓN f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/10/2019	03/12/2019	28 días	2.02	311 kg/cm <sup>2</sup>	148.0
PROBETA N° 03 DISEÑO PATRÓN f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/10/2019	03/12/2019	28 días	1.96	289 kg/cm <sup>2</sup>	137.8
					<b>296</b> <b>kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>140.1</b>

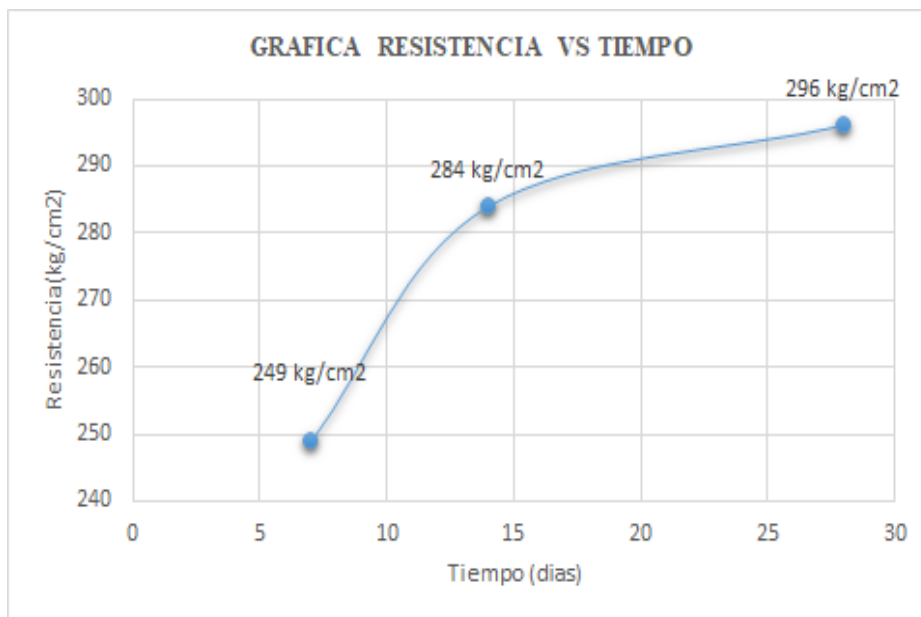
Fuente: Elaboración propia

La rotura de los ensayos del concreto patrón a los 28 días muestra una resistencia 296 kg/cm<sup>2</sup>, que es el promedio de los esfuerzos obtenidos. A esta edad el concreto debe de adquirir el 99% de su resistencia del diseño requerido.

Los ensayos ejecutados a los testigos cilíndricos del concreto patrón nos muestran cómo aumenta su resistencia conforme pasan los 7, 14 y 28 días. Pasado los 28 días el concreto llegó a su 99% de dureza, ya que con el tiempo aumentará su resistencia. De los cuales se puede observar la siguiente figura.

### Resistencia a compresión vs tiempo

Figura 8: Resistencia a compresión vs tiempo



Fuente: Elaboración propia.

### Resistencia del concreto con la incorporación de grafeno en diferentes porcentajes.

Resistencias a la compresión del concreto con adiciones de grafeno en porcentajes de 0.02%, 0.04%, 0.06%, 0.08% a los 7 días.

Tabla 24: Resistencia a la compresión con incorporación del grafeno a los 7 días.

IDENTIFICACIÓN	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDA D Días	RELACIÓN ALTURA / DIÁMETRO	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>	% F'c
PROBETA N° 01 GRAFENO 0.02% fc = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	12/11/2019	7	1.97	231 kg/cm <sup>2</sup>	109.9
PROBETA N° 02 GRAFENO 0.02% fc = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	12/11/2019	7	2.00	237 kg/cm <sup>2</sup>	112.9
PROBETA N° 03 GRAFENO 0.02% fc = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	12/11/2019	7	1.97	234 kg/cm <sup>2</sup>	111.2
<b>PROMEDIO</b> kg/cm <sup>2</sup>					<b>234</b> kg/cm <sup>2</sup>	111.4
PROBETA N° 01 GRAFENO 0.04% fc = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	12/11/2019	7	1.96	238 kg/cm <sup>2</sup>	113.1
PROBETA N° 02 GRAFENO 0.04% fc = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	12/11/2019	7	2.02	248 kg/cm <sup>2</sup>	118.2
PROBETA N° 03 GRAFENO 0.04% fc = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	12/11/2019	7	2.02	249 kg/cm <sup>2</sup>	118.6
<b>PROMEDIO</b> kg/cm <sup>2</sup>					<b>245</b> kg/cm <sup>2</sup>	116.7
PROBETA N° 01 GRAFENO 0.06% fc = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	12/11/2019	7	1.97	238 kg/cm <sup>2</sup>	113.4
PROBETA N° 02 GRAFENO 0.06% fc = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	12/11/2019	7	1.96	238 kg/cm <sup>2</sup>	113.1
PROBETA N° 03 GRAFENO 0.06% fc = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	12/11/2019	7	2.01	248 kg/cm <sup>2</sup>	117.9
<b>PROMEDIO</b> kg/cm <sup>2</sup>					<b>241</b> kg/cm <sup>2</sup>	114.8
PROBETA N° 01 GRAFENO 0.08% fc = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	12/11/2019	7	1.98	228 kg/cm <sup>2</sup>	108.4
PROBETA N° 02 GRAFENO 0.08% fc = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	12/11/2019	7	2.04	243 kg/cm <sup>2</sup>	115.7
PROBETA N° 03 GRAFENO 0.08% fc = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	12/11/2019	7	2.00	233 kg/cm <sup>2</sup>	110.9
<b>PROMEDIO</b> kg/cm <sup>2</sup>					<b>235</b> kg/cm <sup>2</sup>	111.1

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados de la resistencia a compresión obtenidos podemos mencionar que, a los 7 días ninguno de los concretos con adiciones de grafeno pudo superar al concreto patrón. Por el contrario, baja su resistencia siendo el porcentaje de 0.04% el que más se acerca al concreto patrón con 245 kg/cm<sup>2</sup>.

Resistencia a compresión del concreto con el grafeno incorporado en porcentajes de 0.02%, 0.04%, 0.06% y 0.08% a 14 días.

Resumen de las resistencias a la compresión de concreto obtenidas del laboratorio.

Tabla 25: Resistencia a la compresión con incorporación del grafeno a los 14 días.

IDENTIFICACIÓN	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD Días	RELACIÓN ALTURA / DIÁMETRO	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>	% F'c
PROBETA N° 01 GRAFENO 0.02% f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	19/11/2019	14	1.98	297 kg/cm <sup>2</sup>	141.6
PROBETA N° 02 GRAFENO 0.02% f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	19/11/2019	14	2.04	321 kg/cm <sup>2</sup>	152.9
PROBETA N° 03 GRAFENO 0.02% f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	19/11/2019	14	1.94	277 kg/cm <sup>2</sup>	132.0
<b>PROMEDIO</b> kg/cm <sup>2</sup>					<b>299 kg/cm<sup>2</sup></b>	142.3
PROBETA N° 01 GRAFENO 0.04% f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	19/11/2019	14	1.96	330 kg/cm <sup>2</sup>	157.2
PROBETA N° 02 GRAFENO 0.04% f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	19/11/2019	14	1.98	312 kg/cm <sup>2</sup>	148.4
PROBETA N° 03 GRAFENO 0.04% f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	19/11/2019	14	2.02	323 kg/cm <sup>2</sup>	153.6
<b>PROMEDIO</b> kg/cm <sup>2</sup>					<b>321 kg/cm<sup>2</sup></b>	152.8
PROBETA N° 01 GRAFENO 0.06% f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	19/11/2019	14	1.96	317 kg/cm <sup>2</sup>	151.2
PROBETA N° 02 GRAFENO 0.06% f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	19/11/2019	14	1.94	313 kg/cm <sup>2</sup>	148.9
PROBETA N° 03 GRAFENO 0.06% f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	19/11/2019	14	2.00	310 kg/cm <sup>2</sup>	147.8
<b>PROMEDIO</b> kg/cm <sup>2</sup>					<b>313 kg/cm<sup>2</sup></b>	149
PROBETA N° 01 GRAFENO 0.08% f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	19/11/2019	14	1.97	293 kg/cm <sup>2</sup>	139.4
PROBETA N° 02 GRAFENO 0.08% f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	19/11/2019	14	2.03	312 kg/cm <sup>2</sup>	148.5
PROBETA N° 03 GRAFENO 0.08% f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	19/11/2019	14	1.97	306 kg/cm <sup>2</sup>	145.7
<b>PROMEDIO</b> kg/cm <sup>2</sup>					<b>304 kg/cm<sup>2</sup></b>	144.8

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de los ensayos a compresión del concreto con adiciones de grafeno, se observa que a la edad de los 14 días incrementa significativamente, puesto que, llegan a

superar la resistencia del concreto patrón incluso a los 28 días, siendo el concreto de dosificación de 0.04% el que más resistencia adquiere en relación al resto de las dosificaciones.

Resistencia a compresión del concreto con adición de grafeno en porcentajes de 0.02%, 0.04%, 0.06% y 0.08% a los 28 días.

Tabla 26: Resistencia a la compresión con incorporación del grafeno a los 28 días.

IDENTIFICACIÓN	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD Días	RELACIÓN ALTURA / DIÁMETRO	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>	% F'c
PROBETA N° 01 GRAFENO 0.02% f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	03/12/2019	28	1.98	302 kg/cm <sup>2</sup>	144.0
PROBETA N° 02 GRAFENO 0.02% f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	03/12/2019	28	1.98	316 kg/cm <sup>2</sup>	150.6
PROBETA N° 03 GRAFENO 0.02% f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	03/12/2019	28	1.97	313 kg/cm <sup>2</sup>	149.2
<b>PROMEDIO</b> kg/cm <sup>2</sup>					<b>311 kg/cm<sup>2</sup></b>	148.1
PROBETA N° 01 GRAFENO 0.04% f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	03/12/2019	28	2.01	344 kg/cm <sup>2</sup>	163.8
PROBETA N° 02 GRAFENO 0.04% f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	03/12/2019	28	2.00	344 kg/cm <sup>2</sup>	163.8
PROBETA N° 03 GRAFENO 0.04% f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	03/12/2019	28	2.02	340 kg/cm <sup>2</sup>	161.9
<b>PROMEDIO</b> kg/cm <sup>2</sup>					<b>343 kg/cm<sup>2</sup></b>	163.3
PROBETA N° 01 GRAFENO 0.06% f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	03/12/2019	28	1.99	324 kg/cm <sup>2</sup>	154.2
PROBETA N° 02 GRAFENO 0.06% f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	03/12/2019	28	1.94	323 kg/cm <sup>2</sup>	153.7
PROBETA N° 03 GRAFENO 0.06% f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	03/12/2019	28	2.00	326 kg/cm <sup>2</sup>	155.2
<b>PROMEDIO</b> kg/cm <sup>2</sup>					<b>324 kg/cm<sup>2</sup></b>	154.2
PROBETA N° 01 GRAFENO 0.08% f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	03/12/2019	28	2.01	316 kg/cm <sup>2</sup>	150.3
PROBETA N° 02 GRAFENO 0.08% f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	03/12/2019	28	2.02	316 kg/cm <sup>2</sup>	150.3
PROBETA N° 03 GRAFENO 0.08% f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	05/11/2019	03/12/2019	28	2.01	315 kg/cm <sup>2</sup>	150.1
<b>PROMEDIO</b> kg/cm <sup>2</sup>					<b>315 kg/cm<sup>2</sup></b>	150

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del ensayo a compresión a los 28 días, podemos decir que el grafeno incrementa la resistencia a la compresión del concreto, según las cantidades de grafeno que tenga cada mezcla. Por los resultados obtenidos se ve una mejora de la resistencia a compresión.

**Resistencia a la compresión (concreto patrón vs concreto con grafeno 0.02%)**

La siguiente tabla nos muestra una comparativa de los resultados del ensayo a compresión del concreto patrón con el concreto con la dosificación de 0.02%.

Tabla 27: concreto patrón vs concreto con grafeno 0.02%.

Tiempo	Concreto patrón	Concreto con grafeno 0.02%
7 Días	249 kg/cm <sup>2</sup>	234 kg/cm <sup>2</sup>
14 Días	284 kg/cm <sup>2</sup>	299 kg/cm <sup>2</sup>
28 Días	296 kg/cm <sup>2</sup>	311 kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

Este resultado nos indica la disminución de la resistencia a los 7 días, sin embargo, a los 14 días se muestra un aumento de resistencia superior al patrón, de igual manera a los 28 días. esto quiere decir que el grafeno si aumenta la resistencia del concreto tal como se puede ver claramente en la gráfica resistencia vs tiempo el aumento progresivo del concreto incorporado el 0.02% de grafeno.

Figura 9: concreto patrón vs concreto con grafeno 0.02%



Fuente: Elaboración propia.

**Resistencia a la compresión (concreto patrón vs concreto con grafeno 0.04%)**

La siguiente tabla nos muestra una comparativa entre el concreto patrón y el concreto con grafeno con la dosis del 0.04%.

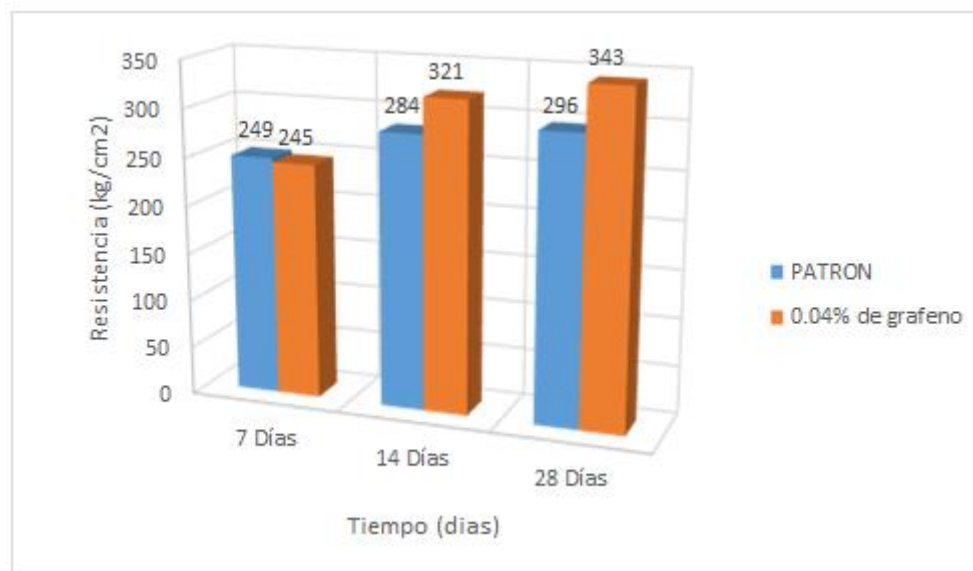
Tabla 28: concreto patrón vs concreto con grafeno 0.04%.

Tiempo	Concreto patrón	Concreto con grafeno 0.04%
7 Días	249 kg/cm <sup>2</sup>	245 kg/cm <sup>2</sup>
14 Días	284 kg/cm <sup>2</sup>	321 kg/cm <sup>2</sup>
28 Días	296 kg/cm <sup>2</sup>	343 kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

A los 14 días los resultados de este porcentaje de grafeno adicionado, muestra una resistencia mucho mayor al patrón, no cabe duda que a los 28 días obtuvimos un resultado esperado por este material incorporado. Ya que, en la siguiente busca demostrar.

Figura 10: concreto patrón vs concreto con grafeno 0.04%.



Fuente: Elaboración propia.

### **Resistencia a la compresión (concreto patrón vs concreto con grafeno 0.06%).**

La siguiente tabla nos muestra una comparativa entre el concreto patrón y el concreto con grafeno con la dosis del 0.06%.

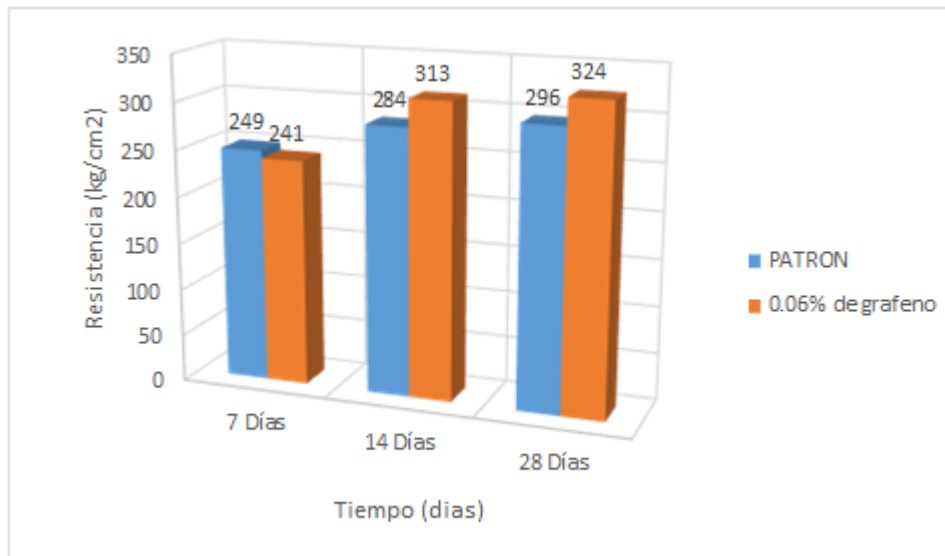
Tabla 29: concreto patrón vs concreto con grafeno 0.06%.

Tiempo	Concreto patrón	Concreto con grafeno 0.06%
7 Días	249 kg/cm <sup>2</sup>	241 kg/cm <sup>2</sup>
14 Días	284 kg/cm <sup>2</sup>	313 kg/cm <sup>2</sup>
28 Días	296 kg/cm <sup>2</sup>	324 kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

En la figura apreciamos como, el concreto con adición de grafeno de 0.06% tiende a disminuir su resistencia en comparación con el de 0.04%, de ahí se puede deducir que la cantidad de grafeno óptimo para que el concreto gane más resistencia es una dosificación de 0.04% en relación al peso del cemento.

Figura 11: concreto patrón vs concreto con grafeno 0.06%.



Fuente: Elaboración propia.

### Resistencia a la compresión (concreto patrón vs concreto con grafeno 0.08%)

En la siguiente tabla mostramos una comparativa entre el concreto patrón con el concreto con grafeno con una dosificación de 0.08%.

Tabla 30: concreto patrón vs concreto con grafeno 0.08%.

Tiempo	Concreto patrón	Concreto con grafeno 0.08%
7 Días	249 kg/cm <sup>2</sup>	233 kg/cm <sup>2</sup>
14 Días	284 kg/cm <sup>2</sup>	304 kg/cm <sup>2</sup>
28 Días	296 kg/cm <sup>2</sup>	315 kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

La figura siguiente nos a conocer como el concreto con una dosificación del 0.08% de grafeno adquiere resistencia en relación al concreto patrón, pero no es lo esperado, ya que el concreto con la dosificación de 0.04 alcanza una resistencia mayor.



Figura 12: concreto patrón vs concreto con grafeno 0.08%.



Fuente: Elaboración propia.

### Resumen de las resistencias a la compresión (concreto patrón vs concreto con grafeno).

En la siguiente tabla se muestra un consolidado de los resultados del ensayo a compresión del concreto patrón con el concreto con las cuatro dosificaciones que van desde el 0.02%, 0.04%, 0.06%, 0.08% de grafeno.

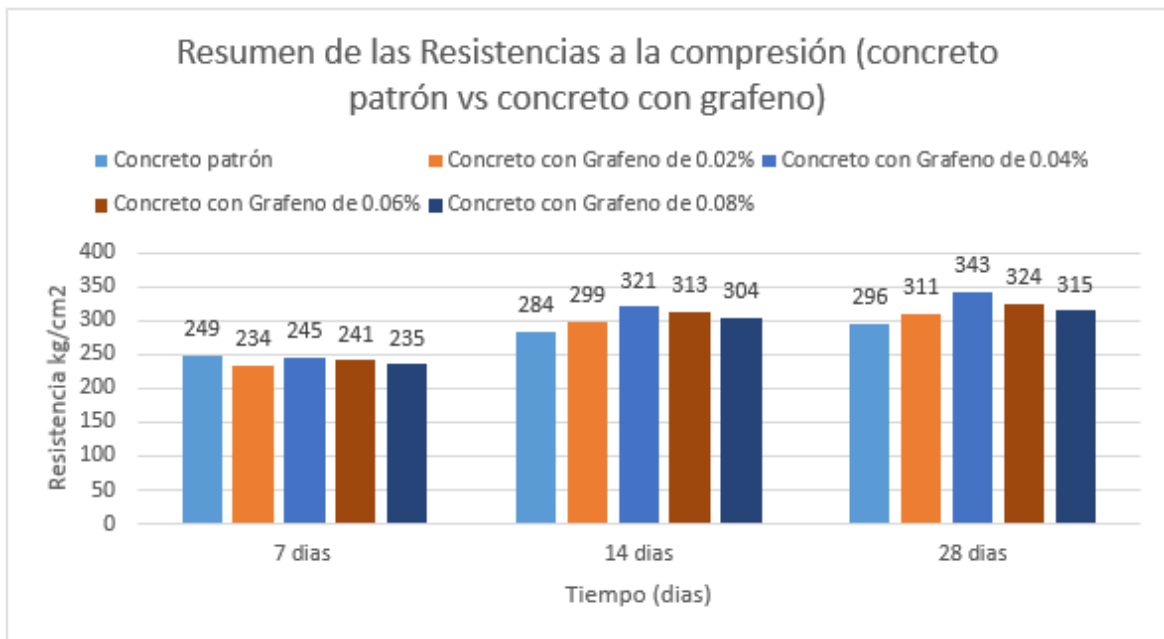
Tabla 31: resumen de las resistencias concreto patrón vs concreto con grafeno.

Tiempo	Concreto patrón	Concreto con Grafeno de 0.02%	Concreto con Grafeno de 0.04%	Concreto con Grafeno de 0.06%	Concreto con Grafeno de 0.08%
7 días	249 kg/cm <sup>2</sup>	234 kg/cm <sup>2</sup>	245 kg/cm <sup>2</sup>	241 kg/cm <sup>2</sup>	235 kg/cm <sup>2</sup>
14 días	284 kg/cm <sup>2</sup>	299 kg/cm <sup>2</sup>	321 kg/cm <sup>2</sup>	313 kg/cm <sup>2</sup>	304 kg/cm <sup>2</sup>
28 días	296 kg/cm <sup>2</sup>	311 kg/cm <sup>2</sup>	343 kg/cm <sup>2</sup>	324 kg/cm <sup>2</sup>	315 kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propio.

Podemos apreciar en el siguiente gráfico un consolidado de los concretos estudiados (concreto patrón con el concreto con grafeno), se ve que el grafeno incrementa su resistencia del concreto con todas las dosificaciones, pero la dosis optima donde se ve una mejora significativa es el de 0.04% esto nos lleva a pensar que el porcentaje óptimo de grafeno para en concreto es de 0.04% en relación al peso del cemento de cada mezcla.

Figura 13: resumen de las resistencias concreto patrón vs concreto con grafeno.



Fuente: Elaboración propia.

### Resumen de las resistencias a compresión (concreto con grafeno).

En la siguiente tabla se muestra los En el siguiente consolidado, la tabla muestra los resultados a compresión de concreto con grafeno con las siguientes dosificaciones.

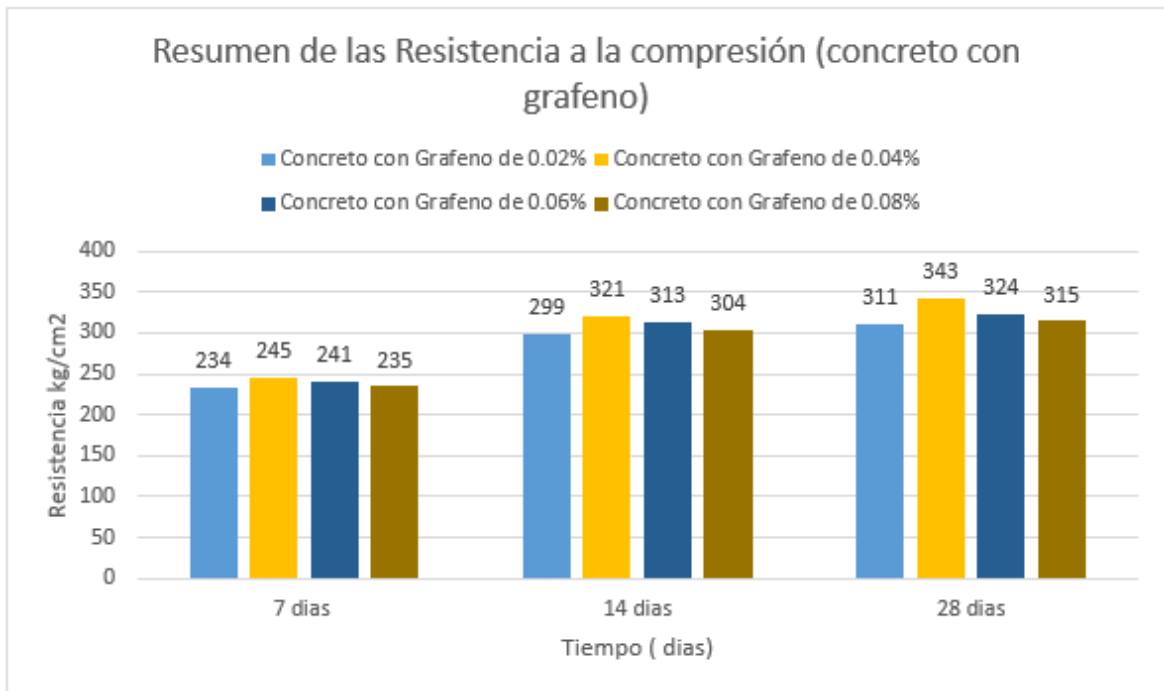
Tabla 32: resumen de las resistencias a compresión.

Tiempo	Concreto con Grafeno de 0.02%	Concreto con Grafeno de 0.04%	Concreto con Grafeno de 0.06%	Concreto con Grafeno de 0.08%
7 días	234 kg/cm <sup>2</sup>	245 kg/cm <sup>2</sup>	241 kg/cm <sup>2</sup>	235 kg/cm <sup>2</sup>
14 días	299 kg/cm <sup>2</sup>	321 kg/cm <sup>2</sup>	313 kg/cm <sup>2</sup>	304 kg/cm <sup>2</sup>
28 días	311 kg/cm <sup>2</sup>	343 kg/cm <sup>2</sup>	324 kg/cm <sup>2</sup>	315 kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

En el siguiente grafico se muestra el resumen de las resistencias a compresión del concreto con incorporación de grafeno con las dosis ya mencionadas. En ella se puede apreciar que existe un patrón de resistencia a compresión, vemos que con la dosis de 0.02% el concreto aumenta su resistencia, al igual que con la dosis de 0.04% este sigue aumentando su resistencia siendo con esta dosis que mayor resistencia gana. Después con la dosis de 0.06% la resistencia empieza a bajar y con la dosis de 0.08% también baja. Con esto llegamos a la conclusión de que el concreto gana mayor resistencia con la dosis de 0.04% de grafeno.

Figura 34: resumen de las resistencias a compresión.



Fuente: Elaboración propia.

### **Comportamiento mecánico a compresión del concreto.**

#### **Ensayo de módulo de elasticidad.**

El ensayo de módulo de elasticidad consiste en primera instancia medir el diámetro y longitud de la probeta de concreto. Se coloca el aparato de medición y se ajusta para tomar las deformaciones cuando la probeta este sometida a compresión, registrar datos de deformación que arroja el dial.

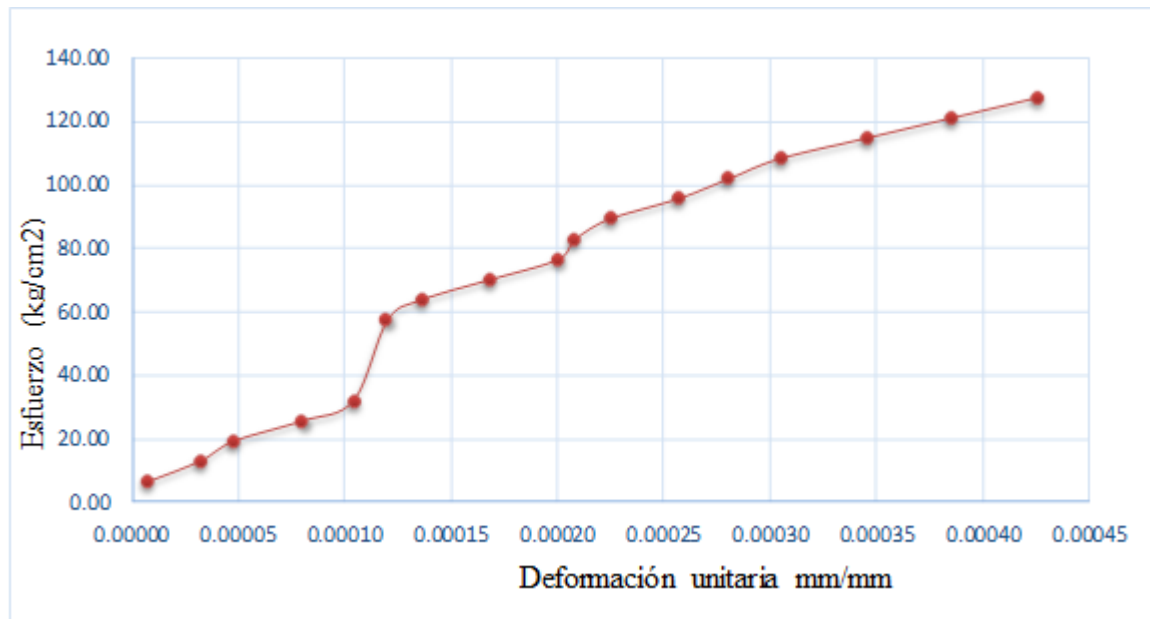
A través del ensayo de Módulo de elasticidad podremos obtener la deformación unitaria para un determinado esfuerzo. Con respecto al tiempo de curado de los 7, 14 y 28 días.

#### **Comportamiento mecánico a compresión del concreto patrón a los 28 días.**

Ya que el módulo de elasticidad es una propiedad mecánica del concreto, entonces es importante que se haga su estudio para determinar la rigidez y deformaciones de un material cuando a esta se aplique esfuerzos.

Según el ASTM. C469 de Modulo de Elasticidad tenemos.

Figura 15: Modulo de elasticidad patrón 28 días.



Fuente: Elaboración propia.

A partir de los datos obtenidos, del diagrama de esfuerzo y deformación unitaria nos ubicamos el ( $e_1$ ) deformación longitudinal de 50 millonésimos (0.00005) como lo indica en norma ASTM 469. Trazamos una línea perpendicular hasta la intersección de la curva, de ese modo obtenemos el valor del esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria ( $S_1$ ).

Tabla 33: Datos para el cálculo de módulo de elasticidad.

DATOS	SÍMBOLO	
$f'c$ A $d=0.000050$	$S_1 =$	<b>19.00</b>
$d=0.000050$	$e_1 =$	<b>0.00005</b>

Fuente: Elaboración propia.

El módulo de elasticidad se presenta con la deformación que tiene este material, al aplicar fuerzas de compresión por debajo de su límite elástico, estas cargas no deben sobrepasar los 40 % de resistencia máxima del concreto.

Para hallar el esfuerzo correspondiente al 40% del esfuerzo ultima o de ruptura. Se calcula el esfuerzo ultimo ( $f'c$ ) de la siguiente manera.

$$f'c \text{ ultimo } (kg/cm^2) = \frac{Wu}{\frac{\pi \times D^2}{4}}$$

Donde:

$Wu$  (kg) = carga ultima del ensayo a compresión

$D$  (cm) = diámetro promedio de la probeta

De los datos obtenidos remplazamos en la formula

$$f'c \text{ ultimo } (kg/cm^2) = \frac{22,841.90}{\frac{\pi \times 9.98^2}{4}}$$

$$f'c \text{ ultimo} = 292 (kg/cm^2)$$

Se calcula el esfuerzo correspondiente al 40% del esfuerzo último ( $S_2$ ) y su deformación unitaria producida por el  $S_2$  ( $e_2$ ) este valor se obtiene trazando una recta perpendicular.

Tabla 34: datos para hallar el módulo de elasticidad.

DATOS	SÍMBOLO	
f'c último (kg/cm <sup>2</sup> )		<b>292.00</b>
40% f'c último (kg/cm <sup>2</sup> )	$S_2$	<b>116.80</b>
d A 40% de f'c último	$e_2$	<b>0.000470</b>

Fuente: Elaboración propia.

De los datos calculados, se halla el módulo de elasticidad.

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

$$E = \frac{116.80 - 19}{0.000470 - 0.000050}$$

$$E = 232,856 (kg/cm^2)$$

Hallamos la constante elástica real con el esfuerzo ultimo obtenido del ensayo a compresión.

$$Cte. \text{Elastica. Real} = \frac{E}{\sqrt{f'c}}$$

$$Cte. \text{Elastica. Real} = \frac{232,856}{\sqrt{292.00}}$$

$$Cte. \text{Elastica. Real} = 13,627$$

Hallamos la constante elástica nominal con el esfuerzo ultimo teórico.

$$Cte. \text{Elastica. Nominal} = \frac{E}{\sqrt{f'c}}$$

$$Cte. \text{Elastica. Nominal} = \frac{232,856}{\sqrt{210}}$$

$$Cte. \text{Elastica. Nominal} = 16,068.6$$

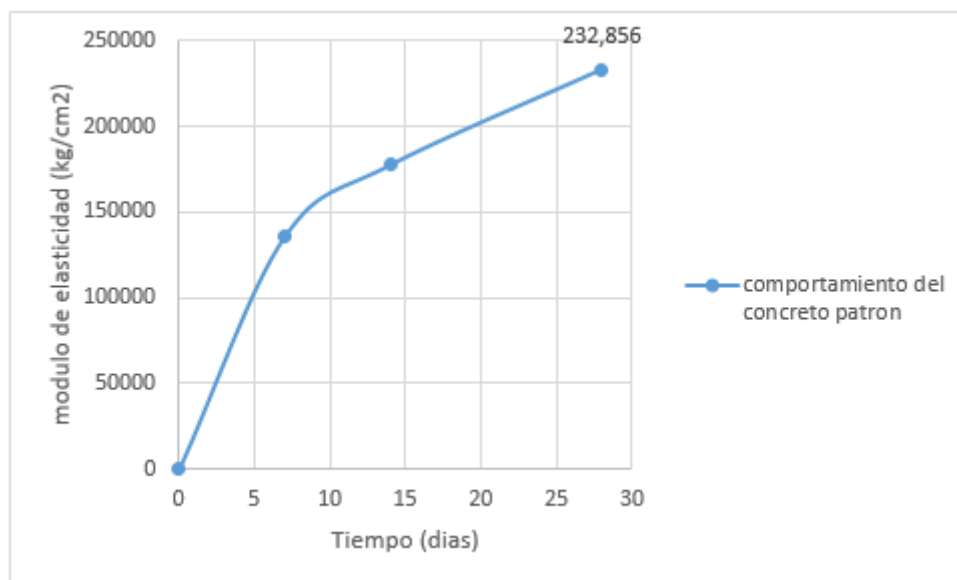
Tabla 35: Resultados

<b>RESULTADOS</b>	
<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD</b>	
Módulo Ec kg/cm <sup>2</sup>	<b>232,856</b>
Cte. Elás. fc Ult.	13,627
Cte. Elás. fc Nomin.	16,069

Fuente: Elaboración propia.

También se puede calcular con la fórmula de módulo de elasticidad de  $15000\sqrt{f'c}$ , pero estos resultados son reales del concreto patrón estudiado. De igual manera, el comportamiento del concreto se genera a través de su módulo de elasticidad, como en la siguiente grafica la representa.

Figura 16: Comportamiento mecánico del concreto patrón.



Fuente: Elaboración propia.

### Comportamiento mecánico a compresión con la incorporación de 0.02% de grafeno

En esta sección se muestra los resultados a los 7, 14 y 28 días.

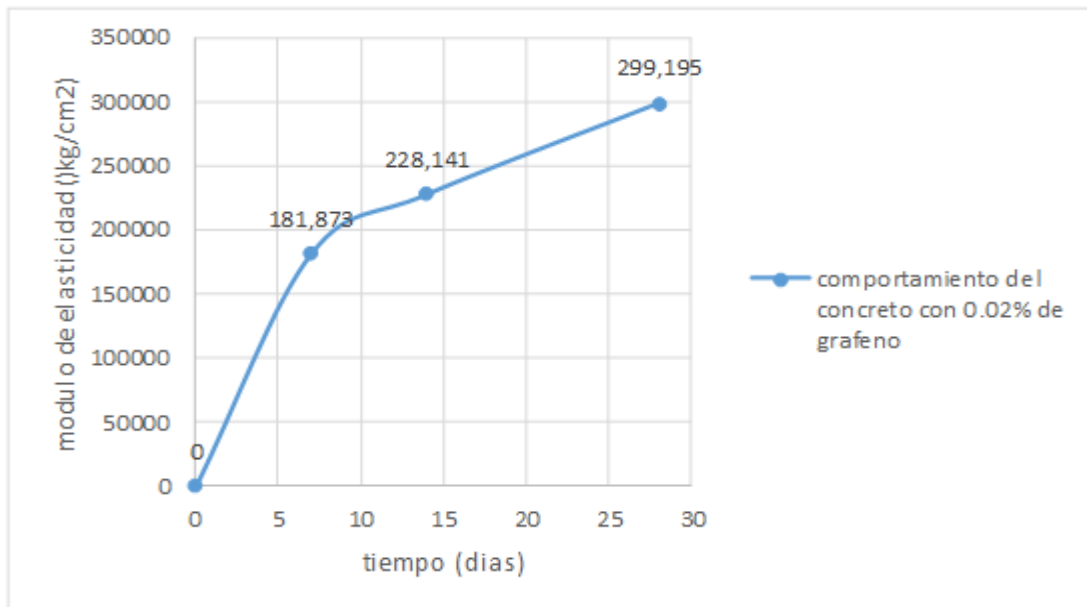
Tabla 36: Resultados a los 7, 14, 28 días con 0.02% de grafeno.

<b>RESULTADOS</b>			
<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD</b>	<b>7 días</b>	<b>14 días</b>	<b>28 días</b>
Módulo Ec kg/cm <sup>2</sup>	181,873	228,141	299,195
Cte. Elás. fc Ult.	11,572	14,516	17,303
Cte. Elás. fc Nomin.	12,550	15,743	20,646

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la tabla 36, fueron calculados del diagrama de esfuerzo y deformación, hallando el módulo de elasticidad del concreto con el porcentaje ya mencionado. En cuanto, a su constante real y teórica como su módulo de elasticidad, tiene un aumento progresivo. Cabe mencionar que, el comportamiento del concreto se mide a través de su módulo de elasticidad representada en la siguiente gráfica, ya que este concreto esta adicionado con el 0.02% de grafeno.

Figura 47: Comportamiento del concreto con 0.02% de grafeno.



Fuente: Elaboración propia.

El grafico nos da a conocer el comportamiento lineal del concreto que se obtuvo con el porcentaje de 0.02% con grafeno agregado. Se muestra que existe aumento del módulo de elasticidad, esto quiere decir que está mejorando su comportamiento del concreto.

### Comportamiento mecánico a compresión con la incorporación de 0.04% de grafeno

Resultados del módulo de elasticidad con la incorporación del 0.04% de grafeno a los 7, 14 y 28 días.

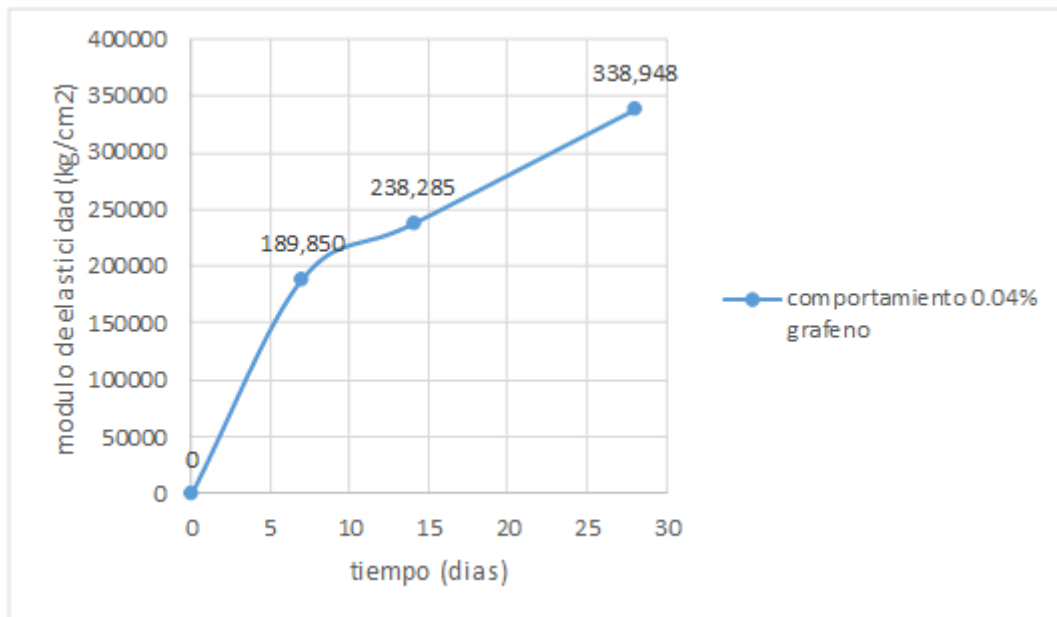
Tabla 37: Resultados a los 7, 14, 28 días con 0.04% de grafeno.

RESULTADOS			
MÓDULO DE ELASTICIDAD	7 días	14 días	28 días
Módulo Ec kg/cm <sup>2</sup>	189,850	238,285	338,948
Cte. Elás. f <sub>c</sub> Ult.	12,003	12,537	18,328
Cte. Elás. f <sub>c</sub> Nomin.	13,101	16,443	23,390

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de los módulos de elasticidad en los diferentes días, son calculados a través de su curva de esfuerzo y deformación unitaria. Así mismo, los resultados de constante elástica real y la constante elástica nominal, estos resultados también fueron aumentando progresivamente según el tiempo transcurrido. Por lo tanto, en la siguiente grafica se muestra el comportamiento del concreto con un porcentaje de 0.04% de grafeno.

Figura 58: Comportamiento del concreto con 0.04% de grafeno.



Fuente: Elaboración propia.

El grafico nos muestra el comportamiento lineal del concreto que se obtuvo con el porcentaje de 0.04% con grafeno agregado. Se muestra que existe aumento del módulo de elasticidad, esto quiere decir que está mejorando su comportamiento del concreto.

### Comportamiento mecánico a compresión con la incorporación de 0.06% de grafeno

Resultados del módulo de elasticidad con la incorporación del 0.06% de grafeno a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 38: : Resultados a los 7, 14, 28 días con 0.06% de grafeno.

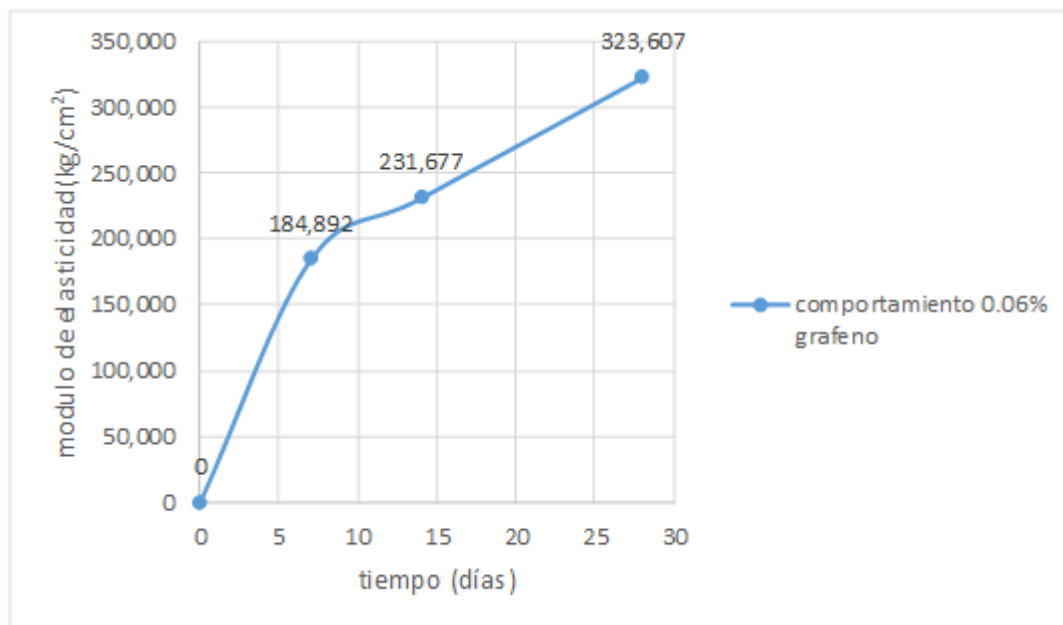
RESULTADOS			
MÓDULO DE ELASTICIDAD	7 días	14 días	28 días
Módulo Ec kg/cm <sup>2</sup>	184,892	231,677	323,607
Cte. Elás. f c Ult.	12,044	12,919	17,951
Cte. Elás. f c Nomin.	12,759	15,987	22,331

Fuente Elaboración propia.



De los datos del diagrama de esfuerzo y deformación unitaria, se calcularon los módulos de elasticidad de los concretos con una edad de 7, 14 y 28 días. También, se calcularon la constante real y la constante teórica o nominal, los cuales aumentan constantemente hasta adquirir su resistencia máxima que es a la edad de 28 días. Sin embargo, aun seguirá adquiriendo resistencia. Por lo tanto, podemos observar en la siguiente gráfica, el comportamiento del concreto con un porcentaje de 0.06% de grafeno.

Figura 69: Comportamiento del concreto con 0.06% de grafeno.



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico podemos observar el comportamiento lineal del concreto que se obtuvo con el porcentaje de 0.06% con grafeno agregado. Se muestra que existe aumento del módulo de elasticidad, esto quiere decir que está mejorando su comportamiento del concreto.

### Comportamiento mecánico a compresión con la incorporación de 0.08% de grafeno

Resultados del módulo de elasticidad con la incorporación de 0.08% a los 7, 14 y 28 días

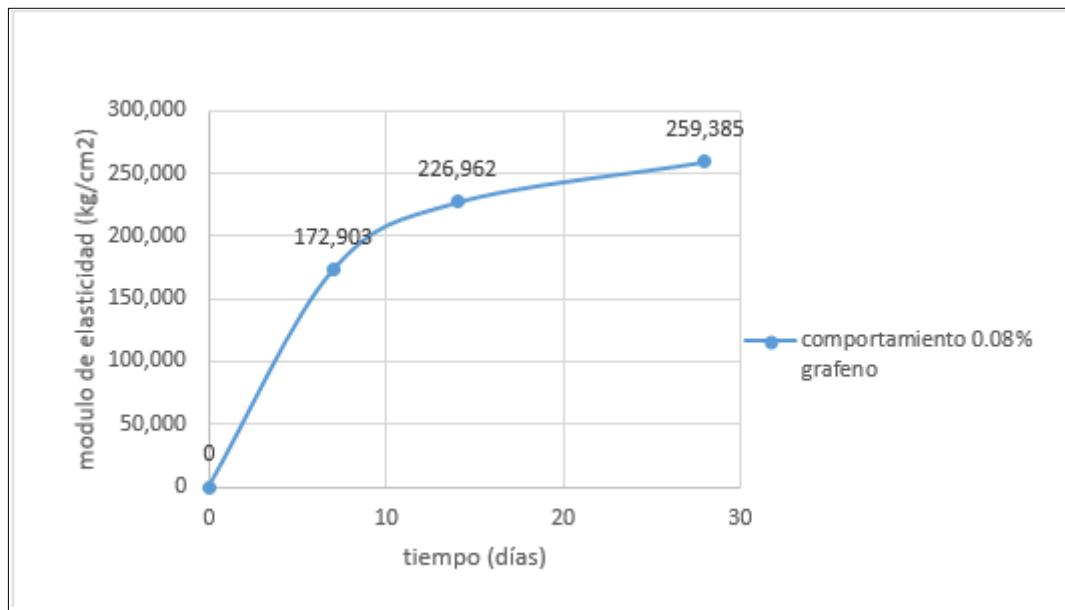
Tabla 39: Resultados a los 7, 14, 28 días con 0.08% de grafeno.

RESULTADOS			
MÓDULO DE ELASTICIDAD	7 días	14 días	28 días
Módulo Ec kg/cm <sup>2</sup>	172,903	226,962	259,385
Cte. Elás. f'c Ult.	11,452	12,403	14,654
Cte. Elás. f'c Nomin.	11,931	15,662	17,899

Fuente: Elaboración propia.

De los datos del diagrama de esfuerzo y deformación unitaria, se calcularon los módulos de elasticidad de los concretos con una edad de 7, 14 y 28 días. También, se calcularon la constante real y la constante teórica o nominal, como se muestra en la figura 19. Por lo tanto, podemos observar en la siguiente grafica como se muestra el comportamiento del concreto con un porcentaje de 0.08% de grafeno.

Figura 207: Comportamiento del concreto con 0.02% de grafeno.



Fuente: Elaboración propia.

Se observa en el grafico el comportamiento lineal del concreto que se obtuvo con el porcentaje de 0.08% con grafeno agregado. Se muestra que existe aumento del módulo de elasticidad, esto quiere decir que está mejorando su comportamiento del concreto.

### **Comparación de resultados del comportamiento mecánico del concreto patrón con el Concreto incorporado con grafeno.**

Los ensayos de módulo de elasticidad que determinan el comportamiento del concreto adicionados porcentajes de 0.02%, 0.04%, 0.06% y 0.08% siguió, ciertos estándares de la norma ASTM C- 469. De los cuales se muestra en la tabla 40, el resumen de los resultados de módulo de elasticidad, quienes determinan el comportamiento del concreto. Por ello, se hace una comparación el concreto patrón con el concreto que tiene incorporado el grafeno.

Tabla 40: consolidado Resultados a los 7, 14, 28 días con las 4 dosis de grafeno.

RESULTADO DE MODULO DE ELASTICIDAD					
	PATRON	0.02%	0.04%	0.06%	0.08%
0	0	0	0	0	0
7	135,523	181,873	189,850	184,892	172,903
14	177,237	228,141	238,285	231,677	226,962
28	232,856	299,195	338,948	323,607	259,385

Fuente: Elaboración propia.

Podemos observar que al comparar el concreto patrón con el concreto con 0.02% de grafeno incrementa su módulo de elasticidad en 28.5%.

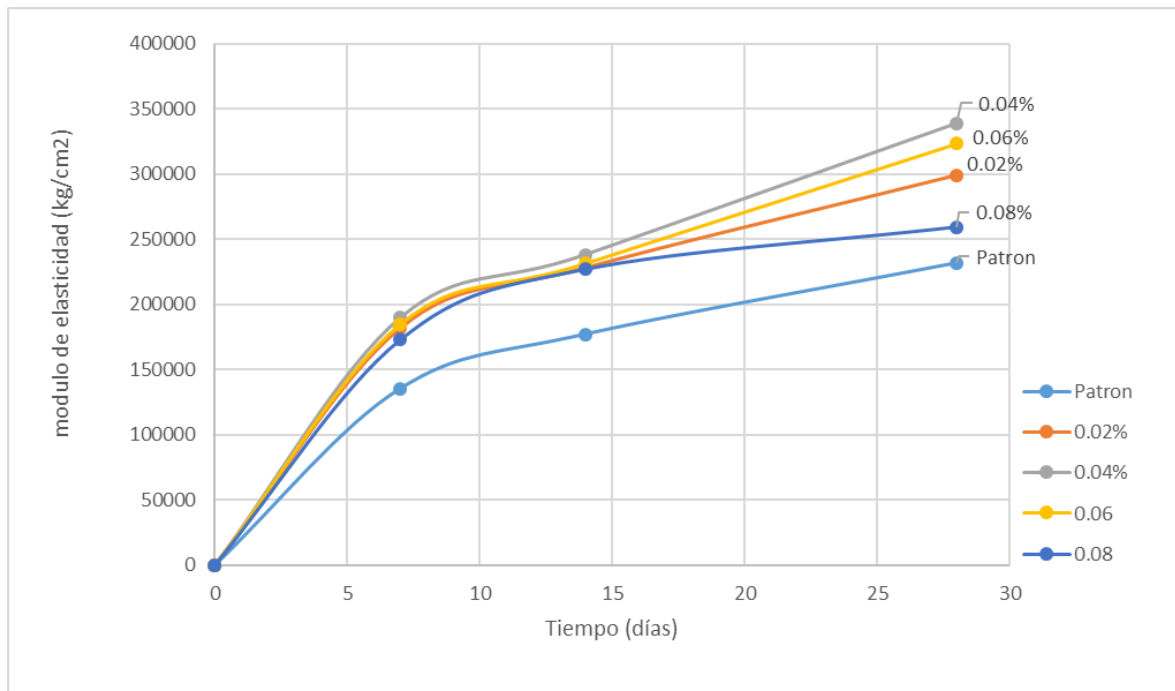
Mientras tanto con un porcentaje de 0.04% de grafeno su módulo de elasticidad se incrementa con un 45.5% con respecto al patrón.

Del mismo modo, el concreto adicionado con el 0.06% de grafeno, se observa un incremento considerable de 39% con respecto al módulo de elasticidad del patrón.

También, al comparar el concreto patrón con el concreto adicionado con el 0.08% de grafeno, se observa un incremento de un 11.4% con respecto al patrón.

Entonces, al comparar el comportamiento del concreto adicionado con grafeno y el patrón tenemos.

Figura 21: consolidado Resultados a los 7, 14, 28 días con las 4 dosis de grafeno.



Fuente: Elaboración propia.

El análisis de la comparación de los resultados del módulo de elasticidad, nos indica que el comportamiento del concreto incorporado con grafeno, se comporta mejor que el concreto patrón. Esto indica que el grafeno mejora el comportamiento a compresión del concreto. Sin

embargo, el porcentaje que mejor comportamiento ha demostrado es el 0.04%. No obstante, los porcentajes 0.02% y 0.06 tienen una similitud en su comportamiento a comparación del 0.08% que se comporta idénticamente como el concreto patrón.

### **Análisis estadístico de la resistencia a compresión a la edad de 28 días.**

A continuación, se muestra la prueba de normalidad, para nuestro análisis estadístico usaremos la prueba de Shapiro-Wilk, ya que, la muestra es menor que 50. De lo contrario usaríamos la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Que es para muestras mayores de 50.

Tabla 41: Pruebas de normalidad.

<b>Pruebas de normalidad</b>							
	diseño	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
resistencia	Modelo patrón (210)	,156	9	,200*	,930	9	,485
	porcentaje de grafeno 0.02%	,186	9	,200*	,872	9	,129
	porcentaje de grafeno 0.04%	,186	9	,200*	,922	9	,406
	porcentaje de grafeno 0.06%	,334	9	,004	,738	9	,004
	porcentaje de grafeno 0.08%	,266	9	,065	,763	9	,008
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.							
a. Corrección de significación de Lilliefors							

Fuente: Elaboración propia.

La prueba de normalidad se realiza con la intención de ver si nuestros datos son normales o no, ahora como saber si son normales. Cuando el valor de significancia es mayor a 0.05 significa que nuestros datos son normales, por la tanto se puede utilizar pruebas paramétricas como el anova. Como se puede apreciar en la tabla numero 41 la significancia es mayor a 0.05 por la tanto nuestros datos son normales.

Para realizar el análisis estadístico se realizó el análisis de varianza (ANOVA) estos datos fueron obtenidos de la variable según el tipo de mezcla, para adquirir la diferencia estadística entre los diseños propuestos se usó el rango múltiple de Tukey. De los cuales, los resultados se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 42: Análisis de la varianza de la resistencia a la compresión a los 28 días.

Resistencia								
	N	Medi a	Desv. Desviaci ón	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Modelo patrón (210)	9	276, 00	23,638	7,879	257,83	294,17	241	311
porcentaje de grafeno 0.02%	9	280, 89	24,907	8,302	261,74	300,03	244	307
porcentaje de grafeno 0.04%	9	342, 44	2,404	,801	340,60	344,29	338	345
porcentaje de grafeno 0.06%	9	293, 00	39,195	13,065	262,87	323,13	238	326
porcentaje de grafeno 0.08%	9	284, 67	38,360	12,787	255,18	314,15	228	316
Total	45	295, 40	36,875	5,497	284,32	306,48	228	345

Fuente: Elaboración propia.

Con carácter estadístico de ANOVA ( $0.01 < P < 0.05$ ); con alta significación estadística en el ANOVA ( $P < 0.01$ ); gl (Grados de libertad); F (F calculado).

Tabla 43: Medias de la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días.

ANOVA					
Resistencia					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	26289,689	4	6572,422	7,838	,000
Dentro de grupos	33541,111	40	838,528		
Total	59830,800	44			

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla se muestra la significancia que si es menor de 0.05 significa que las dos variables están relacionadas. La significancia que tenemos como resultado es 0.000 lo que significa por lo mencionado que las variables están relacionadas.

Se observa en la tabla los intervalos de confianza a los 95% confiables, así como las medias para cada diseño de mezcla. Los límites de confiabilidad que se muestran representan el rango a los que al 95% de certeza serán obtenidas las resistencias de un testigo escogido al azar para cada diseño de mezcla.

Tabla 44: Agrupación de información de la resistencia a compresión del concreto a los 28 días usando el método Tukey y un factor de confianza del 95%.

<b>Comparaciones múltiples</b>						
Variable dependiente: resistencia						
HSD Tukey						
(I) diseño	(J) diseño	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Modelo patrón (210)	porcentaje de grafeno 0.02%	-4,889	13,651	,996	-43,88	34,10
	porcentaje de grafeno 0.04%	-66,444*	13,651	,000	-105,43	-27,46
	porcentaje de grafeno 0.06%	-17,000	13,651	,725	-55,99	21,99
	porcentaje de grafeno 0.08%	-8,667	13,651	,968	-47,65	30,32
porcentaje de grafeno 0.02%	Modelo patrón (210)	4,889	13,651	,996	-34,10	43,88
	porcentaje de grafeno 0.04%	-61,556*	13,651	,001	-100,54	-22,57
	porcentaje de grafeno 0.06%	-12,111	13,651	,900	-51,10	26,88
	porcentaje de grafeno 0.08%	-3,778	13,651	,999	-42,77	35,21
porcentaje de grafeno 0.04%	Modelo patrón (210)	66,444*	13,651	,000	27,46	105,43
	porcentaje de grafeno 0.02%	61,556*	13,651	,001	22,57	100,54
	porcentaje de grafeno 0.06%	49,444*	13,651	,007	10,46	88,43
	porcentaje de grafeno 0.08%	57,778*	13,651	,001	18,79	96,77
porcentaje de grafeno 0.06%	Modelo patrón (210)	17,000	13,651	,725	-21,99	55,99
	porcentaje de grafeno 0.02%	12,111	13,651	,900	-26,88	51,10
	porcentaje de grafeno 0.04%	-49,444*	13,651	,007	-88,43	-10,46
	porcentaje de grafeno 0.08%	8,333	13,651	,973	-30,65	47,32
porcentaje de grafeno 0.08%	Modelo patrón (210)	8,667	13,651	,968	-30,32	47,65
	porcentaje de grafeno 0.02%	3,778	13,651	,999	-35,21	42,77
	porcentaje de grafeno 0.04%	-57,778*	13,651	,001	-96,77	-18,79
	porcentaje de grafeno 0.06%	-8,333	13,651	,973	-47,32	30,65

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Fuente: Elaboración propia.

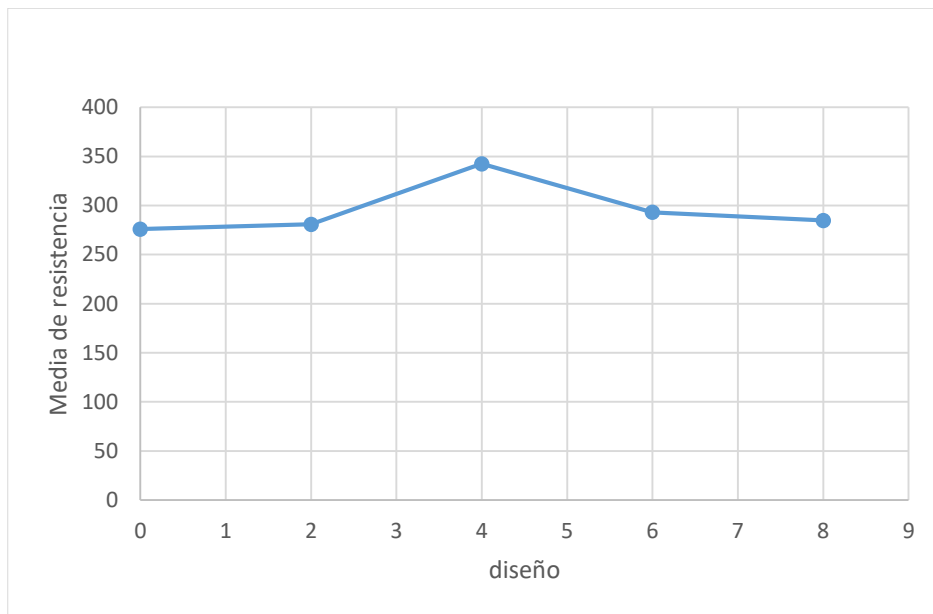
Tabla 45: Medias en subconjuntos homogéneos para la resistencia a la compresión a los 28 días.

<b>resistencia</b>			
<b>HSD Tukey<sup>a</sup></b>			
diseño	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Modelo patrón (210)	9	276,00	
porcentaje de grafeno 0.02%	9	280,89	
porcentaje de grafeno 0.08%	9	284,67	
porcentaje de grafeno 0.06%	9	293,00	
porcentaje de grafeno 0.04%	9		342,44
Sig.		,725	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9.000.

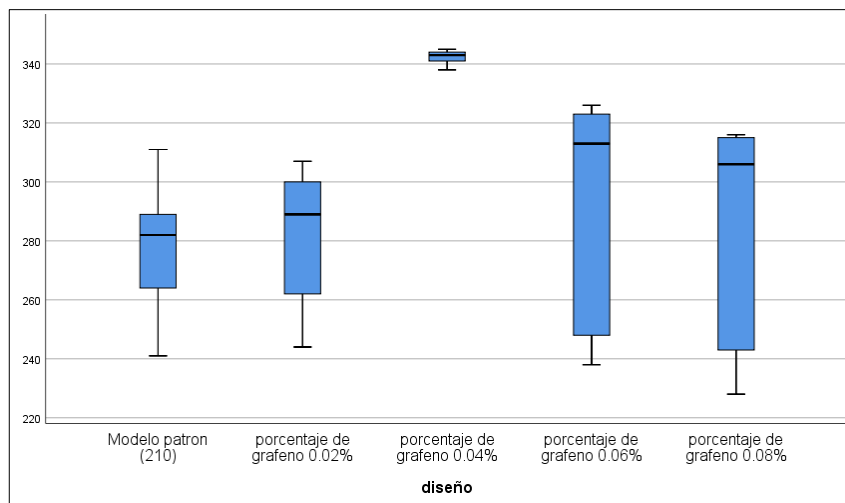
Fuente: Elaboración propia

Figura 82: Media de resistencia por cada diseño de mezcla a los 28 días



Fuente: Elaboración propia.

Figura 23: Grafica de caja de valores de resistencia a la compresión a los 28 días.



Fuente: Elaboración propia.

#### IV. DISCUSIÓN

DG: La incorporación del grafeno mejora significativamente su comportamiento mecánico a compresión del concreto, de los cuales se realizó una comparación de comportamientos del concreto patrón con el concreto adicionado con grafeno, el incremento de su módulo de elasticidad nos indica la mejora del comportamiento mecánico del concreto. Sin embargo, el porcentaje que mejor se comportamiento ha demostrado en la investigación es el 0.04%. No obstante, los porcentajes 0.02% y 0.06% tienen una similitud en su comportamiento a comparación del 0.08% que es idénticamente su comportamiento con el concreto patrón.

DE1: La consistencia mejora con la incorporación de 0.06% y 0.08% de grafeno, ya que esta es medida a través de su consistencia. La consistencia obtenida con los porcentajes ya mencionados es de 6" a comparación de concreto patrón que tiene una consistencia de 3 3/4" con un incremento de 60%, los cuales a comparación de Copa (2017), que en su investigación obtuvo una mejora del 25% con la adición 1% y 1.5% de grafeno. Esto varía por el tipo de agregados que ambos investigadores utilizaron.

DE2: El grafeno incorporado al concreto en proporciones de 0.02%, 0.04%, 0.06% y 0.08% aumenta su resistencia a la compresión significativamente. Se observó que, con el 0.02% de grafeno adicionado al concreto aumenta en 6% con respecto al concreto patrón. Sin embargo, en el 0.04% de grafeno incorporado es donde se obtuvo buenos resultados en el incremento de su resistencia a la compresión, con un 17% con respecto al patrón, con el 0.06% de grafeno adicionado incrementa en un 10.5% y con el 0.08% de grafeno incorporado incrementa 7% a comparación de la resistencia del concreto patrón. Por su parte, Apaza y Quispe (2018) obtuvieron mejores resultados con un incremento del 26% en resistencia con la adición de 0.05% y Ccopa (2017) incrementa su resistencia a compresión en un 13.39 % con una proporción de 0.1%.

DE3: La incorporación del grafeno mejora su comportamiento incrementando su módulo de elasticidad, de los cuales pudimos observar que al comparar el concreto patrón con el concreto con 0.02% de grafeno, incrementa su módulo de elasticidad en 28.5%. De igual manera, en un porcentaje de 0.04% de grafeno su módulo de elasticidad se incrementa con un 45.5% con respecto al patrón, indica que el grafeno mejora su comportamiento mecánico a compresión. Del mismo modo, el concreto adicionado con el 0.06% de grafeno, se observa



un incremento considerable de 39% con respecto al módulo de elasticidad del patrón. También, al comparar el concreto patrón con el concreto adicionado con el 0.08% de grafeno, se observa un incremento de un 11.4% con respecto al patrón. Esto quiere decir que, la incorporación del grafeno para obtener un buen comportamiento del concreto debe ser moderada.

## V. CONCLUSIONES

CG: La adición de grafeno mejora el comportamiento mecánico a compresión del concreto  $F'_c=210 \text{ Kg/cm}^2$ . La mejora se puede apreciar con mayor relevancia con la dosificación de 0.04% de grafeno.

CE1: Se llegó a la conclusión, que con la adición de grafeno mejora la consistencia del concreto en relación al concreto patrón, la cual permite que el concreto tenga una mayor fluidez y esto permita adaptarse con facilidad a los encofrados. Lo que permitiría que se trabaje con una menor relación de agua cemento en el diseño, las proporciones que tienen una mejora significativa es del 0.06% y 0.08% de grafeno ya que se obtiene una mezcla fluida para una mejor cohesión ya que fluyen con facilidad y se distribuye de una manera uniforme.

CE2: Con la adición de grafeno con la dosis de 0.02% incrementa su resistencia a la compresión del concreto  $F'_c=210 \text{ Kg/cm}^2$  en un 6%, mientras que con la dosis de 0.04% incrementa su resistencia en un 17%, con la dosis de 0.06% incrementa su resistencia en un 10.5% y con la dosis de 0.08 incrementa su resistencia en un 7%, siendo la dosis de 0.04% el que más incrementa su resistencia en relación al resto de dosis, Todo esto en relación al concreto patrón.

CE3: Se concluye que la dosis optima de grafeno que mejora las propiedades del concreto fresco y endurecido es la dosis de 0.04% de grafeno, ya que presenta un asentamiento fluida y una resistencia a la compresión del 17% más que el concreto patrón, por la tanto esto incrementa también el esfuerzo de ruptura del concreto ya que a mayor resistencia a la compresión tenga mayor será su esfuerzo a la ruptura.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda utilizar los porcentajes de grafeno como el 0.04% para la mejora de su resistencia y el comportamiento del concreto. Así mismo, mejora su consistencia elevando su trabajabilidad.
2. Se recomienda seguir realizando investigaciones con el aditivo grafeno, para conocer más propiedades con la permeabilidad y su resistencia a la flexión.
3. Se recomienda realizar estudios con la adición de grafeno de acuerdo a la cantidad de capas de grafeno aparte de la de dos capas que se usó para este estudio.
4. Se recomienda tener un control minucioso a la hora de realizar los ensayos a compresión, ver el estado de las probetas que deberían estar uniforme y lisos, de igual manera el estado de los neoprenos, pues si están deterioradas podría disminuir la resistencia a la hora del ensayo.

## REFERENCIAS

1. ABANTO, Oswaldo. Resistencia mecánica del concreto  $f^c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con la adición de fibras de acero Dramix y Sika. Tesis para optar el grado de ingeniero civil. Cajamarca: Universidad Privada del Norte, 2017.
2. AGUIRRE, Francisco. Síntesis y caracterización de capas conductoras de óxido de grafeno (GO): propiedades vibracionales bajo condiciones extremas de presión y temperatura. Tesis para el grado de Master. España: Universidad de Cantabria, 2015.
3. AVILA, Jhonnatan. Evaluación del comportamiento en compresión de morteros reforzados con óxido de grafeno y costos inherentes al proceso productivo de la mezcla. Tesis (título de ingeniero civil). Samborondón: universidad de especialidades espíritu santo, 2018.
4. APAZA, Víctor y QUISPE, Katherine. Mejoramiento de propiedades mecánicas del concreto con adición de nanotubos de carbono. Tesis (título de ingeniero civil). Arequipa: universidad nacional de san Agustín de Arequipa, 2018.
5. ABRIL, Bernarda. Determinación de la resistencia a compresión de hormigón preparado con policarbonatos, vidrio templado y hormigón reciclado. (tesis para optar por el título de ingeniero civil). Ambato: universidad técnica de Ambato, 2016.
6. ARIAS, Gabriela. Asignatura de investigación. Vol. (2): 1-12. 2012.
7. AMERICAN Concrete Institute 318 (ACI). Regulation requeriments for structural concrete. 1° Edition. United States, 2005.
8. AMERICAN Society for Testing and Materials (ASTM). C33/C33M. Standard Specification for Concrete Aggregates. United States, 2019.
9. AMERICAN Society for Testing and Materials (ASTM). C39/C39M. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. United States, 2019.
10. AMERICAN Society for Testing and Materials (ASTM). C469/C469M. Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression. United States, 2019.
11. BARZOLA, Carlos. Estudio del concreto con cemento portland tipo IP y aditivo superplastificante. (título para optar el grado de ingeniero civil). Lima: universidad nacional de ingeniería, 2017.

12. BAZAN, Antony. Estudio espectroscópico y morfológico en el grafeno químicamente modificado. Tesis (licenciado en química). Lima: universidad nacional de ingeniería, 2017.
13. BOTTO, Raisa y SANTACRUZ, Paola. Evaluación de las propiedades en estado fresco y endurecido de un concreto para uso en pavimento rígido, adicionado con nanocompuestos de carbono. Tesis (maestría de ingeniería civil). Bogotá: pontificia universidad javeriana, 2017. BURGOS, Edwin. Variación del módulo de finura del agregado fino de 3.0 a 3.6 en concretos de mediana a baja resistencia. Tesis para optar el grado de ingeniero civil. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2012.
14. CORAL, Yadira. Validez y confiabilidad de los instrumentos de investigación para la recolección de datos. (ensayo). Valencia: ciencias de la educación, 2009.
15. CUENCA, Elmer y SOLORZANO, Cristhy. (tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil). Trujillo: universidad cesar vallejo, 2018.
16. CHAO, Enrique. El grafeno, la nueva vitamina del concreto “construcción y tecnología en concreto”, (1): 06-16, 2016.
17. CCOPA, Heber. Efecto del grafeno como aditivo nanotecnológico en la resistencia del concreto. Tesis (título de ingeniero civil). Puno: universidad nacional del altiplano puno, 2017.
18. DE LA PEÑA, Pedro. Generación de un nuevo revestimiento arquitectónico, a partir del grafeno, aplicado a las pinturas exteriores de los edificios. Tesis (doctorado). Madrid: universidad politécnica de Madrid, 2017.
19. DE PELERAIS, Cira. Métodos cuantitativos y cualitativos: diferencias y tendencias. Vol. 2 (2): 347-352, 2000.
20. ESPINOSA, Eleazar. El método científico. (1): 26-09, 2005.
21. HURTADO, Jacqueline. Metodología de la investigación guía para la comprensión holística de la ciencia. 4.<sup>ta</sup> ed. Caracas: Quirón ediciones, 2010. 1324 pp.
22. ISBN: 54820100011105
23. JIMENEZ, Moisés. Grafeno. 6-06, 2017.
24. Manual de preparación, colocación y cuidados del concreto. Lima, 1(1). octubre 2014.
25. MASIAS, Kimberly, resistencia a la flexión y tracción en el concreto, usando ladrillo triturado como agregado grueso. (tesis para optar el título de ingeniero civil). Piura: universidad de Piura, 2018.
26. Manual del maestro constructor. Lima, Aceros Arequipa, 1 (1).2010.

27. Norma técnica peruana de concreto armado E 0.60. Reglamento nacional de edificaciones. Lima: Ministerio de vivienda construcción y saneamiento, 2009.
28. NTP 339.033. HORMIGON (CONCRETO). Practica normalizada para la elaboración y curado de especímenes en campo. Lima, Perú: 3° Edición. 2009.
29. NTP 339.034. CONCRETO. Método de ensayo normalizada para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. Lima, Perú: 4° Edición. 2015.
30. NAVARRO, Ellerly y FORERO, Horacio. Mejoramiento de la resistencia a compresión del concreto con nanotubos de carbono. (tesis para optar el grado de ingeniero civil). Bogotá: universidad distrital francisco José de caldas, 2017.
31. PAZ, Irene. El grafeno posibilidades del grafeno en la arquitectura. Tesis (de grado). Madrid: universidad politécnica de Madrid, 2018.
32. PÈREZ, José. Las variables en el método científico. Lima: 2007. pp. 171-177.
33. OLARTE, Zuly. Estudio de la calidad de los agregados de las principales canteras de la ciudad de Andahuaylas y su influencia en la resistencia del concreto empleado en la construcción de obras civiles. (tesis para optar por el grado académico de ingeniero civil) Apurímac: universidad tecnológica de los andes, 2017.
34. Reglamento nacional de edificaciones. (2016). Lima: Megabyte.
35. RAMOS, Gloria, efecto de la química superficial del óxido de grafeno en el desarrollo de aplicaciones. (tesis para optar al grado de doctor en ingeniería química). Alicante: universidad de alicante, 2017.
36. LÒPEZ, Pedro. Población y muestreo “punto cero”. (71): 71-74, 2018.
37. VARGAS, Zoila. La investigación aplicada una forma de conocer las realidades con evidencia científica. “revista educación”. Vol. (33). 1: 155-165. 2009.
38. ISSN: 0379-7082.
39. ROSAS, Ofelia y SILVA, Ernesto. Electroodos transparentes conductores basados en óxido de grafeno reducido para depósito electroquímico de óxidos semiconductores de intereses fotovoltaico. (tesis para optar el grado de maestría). Altamira: centro de investigación en materiales avanzados maestría en nanotecnología, 2016.
40. VILLARINO, Alberto. El cemento. Escuela politécnica superior de Ávila, (5). 57- 128, 2008.

## ANEXOS

### Anexo 1. matriz de consistencia.

TITULO	PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
Incorporación del grafeno para mejorar el comportamiento mecánico a compresión del concreto $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> , Lima 2019	<p><b>Problema general.</b> ¿De qué manera la incorporación del grafeno mejorará el comportamiento mecánico a compresión del concreto <math>F'c=210</math> Kg/cm<sup>2</sup>?</p> <p><b>Problema Específico.</b> <b>PE1:</b> ¿De qué manera incorporación del grafeno en proporciones de 0,02%, 0,04%, 0,06% y 0,08% incrementará la consistencia del concreto <math>F'c=210</math> Kg/cm<sup>2</sup>? <b>PE2:</b> ¿De qué manera la incorporación del grafeno en proporciones de 0,02%, 0,04%, 0,06% y 0,08%. aumentará la resistencia a la compresión del concreto <math>F'c=210</math> Kg/cm<sup>2</sup>? <b>PE3:</b> ¿En qué medida la incorporación del grafeno en proporciones de 0,02%, 0,04%, 0,06% y 0,08% incrementara el módulo de elasticidad del concreto <math>F'c=210</math> Kg/cm<sup>2</sup>?</p>	<p><b>Objetivo general.</b> Mejorar el comportamiento mecánico a compresión del concreto <math>F'c=210</math> Kg/cm<sup>2</sup> con La incorporación del grafeno.</p> <p><b>Objetivos específicos.</b> <b>OE1:</b> Incrementar la consistencia del concreto <math>F'c=210</math> Kg/cm<sup>2</sup> con la incorporación del grafeno en proporciones de 0,02%, 0,04%, 0,06% y 0,08%. <b>OE2:</b> Aumentar la resistencia a la compresión del concreto <math>F'c=210</math> Kg/cm<sup>2</sup> con la adición del grafeno en proporciones de 0,02%, 0,04%, 0,06% y 0,08%. <b>OE3:</b> Incrementar el módulo de elasticidad del concreto <math>F'c=210</math> Kg/cm<sup>2</sup> con la incorporación del grafeno en proporciones de 0,02%, 0,04%, 0,06% y 0,08%.</p>	<p><b>Hipótesis general.</b> <b>HG:</b> La incorporación del grafeno mejoraría el comportamiento mecánico a compresión del concreto <math>F'c=210</math> Kg/cm<sup>2</sup></p> <p><b>Hipótesis específicas</b> <b>HE1:</b> La incorporación del grafeno en proporciones de 0,02%, 0,04%, 0,06% y 0,08% incrementaría la consistencia del concreto <math>F'c=210</math> Kg/cm<sup>2</sup>. <b>HE2:</b> La adición del grafeno en proporciones de 0,02%, 0,04%, 0,06% y 0,08% aumentaría la resistencia a la compresión del concreto <math>F'c=210</math> Kg/cm<sup>2</sup>. <b>HE3:</b> La incorporación del grafeno en proporciones de 0,02%, 0,04%, 0,04% y 0,08% incrementaría el módulo de elasticidad del concreto <math>F'c=210</math> Kg/cm<sup>2</sup>.</p>	<p>a) <b>V. independiente</b> Grafeno <b>Indicadores</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Granulometría</li> <li>densidad</li> <li>Porcentaje de grafeno de 0,02 %</li> <li>Porcentaje de grafeno de 0,04%</li> <li>Porcentaje de grafeno de 0,06%</li> <li>Porcentaje de grafeno de 0,08%.</li> </ul> <p>b) <b>V. dependiente</b> comportamiento mecánico del concreto <b>Indicadores</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Esfuerzo</li> <li>Deformación unitaria</li> <li>Esfuerzo de compresión a la edad de 7 días.</li> <li>Esfuerzo de compresión a la edad de 14 días</li> <li>Esfuerzo de compresión a la edad de 28 días</li> </ul>	<p>a) <b>Tipo de investigación.</b> - Aplicada</p> <p>b) <b>Nivel.</b> - Explicativa</p> <p>c) <b>Diseño.</b> -Experimental</p> <p>d) <b>Instrumento.</b> La observación</p> <p>e) <b>Materiales.</b> Papel Lápiz</p> <p>f) <b>Población.</b> concreto <math>f'c=210</math> kg/cm<sup>2</sup> con adiciones de grafeno.</p> <p>g) <b>Muestra.</b> 58 probetas</p>

## Anexo 2. Análisis del agregado grueso.

### Análisis del agregado grueso (cantera San Martín)

#### Granulometría.

Equipos y herramientas a usar:

**Tamices:** los tamices usados fueron las siguientes: 4", 3 ½", 3", 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", ⅜", #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200. Con fondo y tapa tal como se puede ver en la siguiente imagen.

tamices



Fuente: elaboración propia

**Balanza:** se usó una balanza con una precisión y lectura de 0.1% de la masa de ensayo, en la siguiente imagen podemos apreciar la balanza que se ha utilizado.

balanza.



Fuente: Elaboración propia

**Horno:** el horno que se usó para el secado del material fue de la marca Perutest con un alcance máximo de 300°C, con termómetro digital. Como se muestra en la siguiente imagen.



## Horno



Fuente: Elaboración propia

### Granulometría del agregado grueso

AGREGADO GRUESO ASTM C33 HUSO # 56							
Malla		Peso Ret. (gr)	Peso Ret. (%)	Peso Ret. Acum. (%)	% Pasa Acum.	ASTM "LIM SUP"	ASTM "LIM INF"
4"	101.60 mm		0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
3 1/2"	88.90 mm		0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
3"	76.20 mm		0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
2 1/2"	63.50 mm		0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
2"	50.80 mm		0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	38.10 mm		0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1"	25.40 mm	209	5.44	5.44	94.56	90.00	100.00
3/4"	19.05 mm	860	22.37	27.81	72.19	40.00	85.00
1/2"	12.70 mm	2352	61.19	89.00	11.00	10.00	40.00
3/8"	9.53 mm	363	9.44	98.44	1.56	0.00	15.00
# 4	4.75 mm	59	1.53	99.97	0.03	0.00	5.00
# 8	2.36 mm		0.00	99.97	0.03	0.00	0.00
# 16	1.18 mm		0.00	99.97	0.03	0.00	0.00
# 30	0.59 mm		0.00	99.97	0.03	0.00	0.00
# 50	0.30 mm		0.00	99.97	0.03	0.00	0.00
# 100	0.15 mm		0.00	99.97	0.03	0.00	0.00
# 200	0.07 mm		0.00	99.97	0.03	0.00	0.00
Fondo	0.01 mm	1	0.03	100.00	0.00	0.00	0.00

Tamaño Máximo = 1 1/2"

Tamaño mínimo nominal = 1"

**Peso unitario suelto y compactado:**

Para la realización del ensayo de peso suelto y compactado se tomó en cuenta lo que dice en la norma ASTM C33 HUSO # 56. Para ello se usó un molde metálico. Como se muestra en la siguiente imagen.



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se muestra los resultados de los pesos obtenidos del agregado grueso tanto suelto como compactado.

**Peso unitario del agregado grueso.**

<b>PESO UNITARIO AGREGADO GRUESO</b>		
DATOS		
1	PESO DEL MOLDE	3.509
2	VOLUMEN DEL MOLDE	0.007056
3	PESO DE MOLDE CON MUESTRA SUELTA	13.99
4	PESO DEL MOLDE CON MUESTRA COMPACTADA	14.56
RESULTADOS		
PESO UNITARIO SUELTO		14.85
PESO UNITARIO COMPACTADO		15.66

**Determinación del peso específico y absorción.**

Para determinar el peso específico y de absorción se cumplió las especificaciones estándar según el ASTM. C33.



Fuente: Elaboración propia

Resultados obtenidos del Peso específico y absorción del agregado grueso

<b>PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO</b>		
DATOS		
1	PESO DE LA MUESTRA SECA AL HORNO (A)	2728
2	PESO DE LA MUESTRA SSS (B)	2742
3	PESO DE LA MUESTRA SATURADA DENTRO DEL AGUA ( C )	1704
RESULTADOS		
PESO ESPECÍFICO DE MASA		2.628
PESO ESPECÍFICO DE MASA S.S.S		2.642
PESO ESPECÍFICO APARENTE		2.664
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)		0.51

**Determinación del contenido de humedad del agregado grueso.**

Para la determinación de contenido de humedad se procedió a pesar una cantidad de muestra en su estado natural. Luego se colocó al horno por un tiempo de 24 horas. Finalmente, se extrae el material para ser pesado y determinar el contenido de humedad.

Muestra de agregado grueso puesto en el horno.



Fuente: Elaboración propia

Resultados obtenidos del contenido de humedad.

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO</b>		
DATOS		
1	PESO DE RECIPIENTE	0
2	PESO DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA	965.5
3	PESO DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA	961.9
RESULTADOS		
	CONTENIDO DE HUMEDAD	0.4%

### Anexo 3. Análisis del agregado fino.

#### Análisis del agregado fino (cantera San Martín)

##### Granulometría

El agregado fino se obtuvo de la cantera san Martín. Para el proceso de tamizaje del material fino se utilizó los tamices desde el tamiz N° 3/8 hasta N°200. De manera descendente incluyendo el fondo. Se procedió hacer el tamizado pesando el material retenido en cada tamiz. Como se muestra en la siguiente imagen



Fuente: Elaboración propia

AGREGADO FINO ASTM C33 - ARENA GRUESA							
Malla		Peso Ret. (gr)	Peso Ret. (%)	Peso Ret. Acum. (%)	% Pasa Acum.	ASTM "LIM SUP"	ASTM "LIM INF"
4"	101.60 mm	0.0	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
3 1/2"	88.90 mm	0.0	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
3"	76.20 mm	0.0	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
2 1/2"	63.50 mm	0.0	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
2"	50.80 mm	0.0	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	38.10 mm	0.0	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1"	25.40 mm	0.0	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
3/4"	19.05 mm	0.0	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1/2"	12.70 mm	0.0	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
3/8"	9.53 mm	5.9	0.34	0.34	99.66	100.00	100.00
# 4	4.75 mm	152.2	8.70	9.04	90.96	95.00	100.00
# 8	2.36 mm	378.9	21.66	30.70	69.30	80.00	100.00
# 16	1.18 mm	344.6	19.70	50.39	49.61	50.00	85.00
# 30	0.59 mm	310.3	17.74	68.13	31.87	25.00	60.00
# 50	0.30 mm	211.9	12.11	80.24	19.76	5.00	30.00
# 100	0.15 mm	162.3	9.28	89.52	10.48	0.00	10.00
# 200	0.07 mm	110.4	6.31	95.83	4.17	0.00	5.00
Fondo	0.01 mm	72.9	4.17	100.00	0.00	0.00	0.00

El cálculo de módulo de fineza se halla sumando los porcentajes retenidos entre las mallas N° 4 y N° 100, dividiendo el resultado entre 100.

Por lo tanto, el módulo de fineza sería 3.28.

#### **Peso unitario suelto y compactado.**

Para llevar a cabo el peso suelto y compactado se utilizó un molde metálico. En el cual se colocó el material suelto y compactado (envarillado) para calcular su peso. Como se muestra en la siguiente imagen.

Peso unitario suelto y compactado.



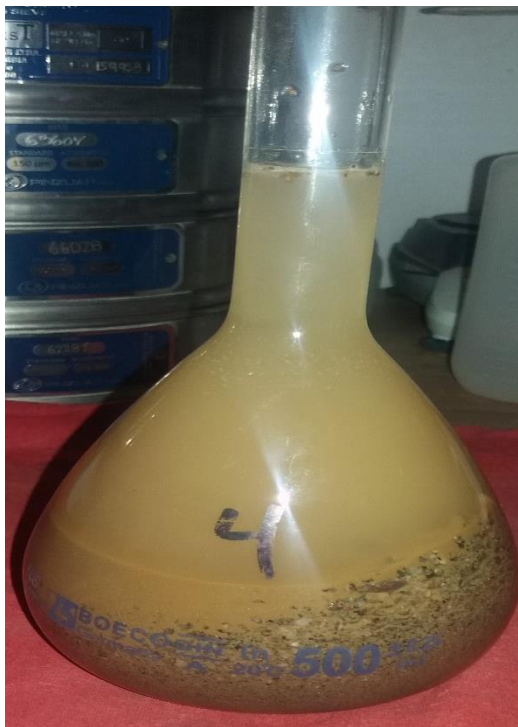
Resultados del cálculo del peso unitario suelto y compactado.

PESO UNITARIO AGREGADO FINO		
DATOS		
1	PESO DEL MOLDE	6.282
2	VOLUMEN DEL MOLDE	0.002127
3	PESO DE MOLDE CON MUESTRA SUELTA	9.643
4	PESO DEL MOLDE CON MUESTRA COMPACTADA	10.17
RESULTADOS		
PESO UNITARIO SUELTO		1580
PESO UNITARIO COMPACTADO		1828

### Determinación del peso específico y absorción.

Para la determinación del peso específico y absorción se tuvo en cuenta los procedimientos del ASTM C33.

#### Determinación del peso específico.



Resultados del peso específico y absorción del agregado fino.

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO		
DATOS		
1	PESO DE LA MUESTRA SSS + PESO BALÓN + PESO AGUA	962.3
2	PESO DE LA ARENA SSS + PESO BALÓN	648.7
3	PESO DEL AGUA ( $W = 1 - 2$ )	313.6
4	PESO DE LA ARENA SECADA AL HORNO + PESO BALÓN	641.3
5	PESO BALÓN	148.7
6	PESO DE LA ARENA SECADA AL HORNO ( $A = 4 - 5$ )	492.6
7	VOLUMEN DEL BALÓN ( $V = 500$ )	500

RESULTADOS	
PESO ESPECÍFICO DE MASA	2.643
PESO ESPECÍFICO DE MASA S.S.S	2.682
PESO ESPECÍFICO APARENTE	2.752
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	1.5

#### **Determinación del contenido de humedad**

Para el contenido de humedad se utilizó los procedimientos de la norma ASTM C33. Colocando al horno por 24 horas para luego ser pesado y hallar el contenido de humedad.

Resultados del contenido de humedad del agregado fino.

CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO FINO		
DATOS		
1	PESO DE RECIPIENTE	0
2	PESO DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA	348.4
3	PESO DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA	336.4
RESULTADOS		
	CONTENIDO DE HUMEDAD	3.6%

#### **Anexo 4. Diseño de mezcla.**

##### **Diseño de Mezcla.**

Para poder realizar los ensayos a compresión, es necesario que antes hagamos el diseño de mezcla establecido de esta manera se obtendrá las cantidades de materiales. Para realizar el diseño de mezclas nos basaremos en el ACI 211.

Características de los agregados:

DESCRIPCIÓN	ARENA	PIEDRA
Peso unitario suelto seco	1580	1485
Peso unitario compactado seco	1828	1566
Peso específico de masa	2.643	2.628
Contenido de humedad	1.5 %	0.2%
Porcentaje de absorción	1.50 %	0.51%
Módulo de fineza	3.28	7.26
Tamaño máximo del agregado	-----	1"

#### **CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE LA COMPRESIÓN PROMEDIO**

Se requiere diseñar un concreto de 210 Kg/cm<sup>2</sup>, se de tomar un margen de error utilizando desviación estándar a partir de ensayos anteriores, en este caso como no existe un historial de ensayos anteriores, se debe sumar a la resistencia un factor de 84 Kg/cm<sup>2</sup> sería la resistencia requerida para el diseño, de ahí empezaremos con nuestro diseño de mezcla.

RESISTENCIA ESPECÍFICA f 'c (Kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA REQUERIDA f 'cr (Kg/cm <sup>2</sup> )
f 'c < 210	f 'cr = f 'c + 70
210 ≤ f 'c ≤ 350	f 'cr = f 'c + 85
f 'c > 350	f 'cr = 1.10 x f 'c + 50

Necesitamos diseñar un concreto f 'c = 210 Kg/cm<sup>2</sup>, para el diseño de mezcla utilizamos una resistencia requerida de fr 'c = f 'c + 85

$$f 'cr = f 'c + 85$$

$$f 'cr = 210 + 85$$

$$f 'cr = 295 \text{ Kg/cm}^2$$

### DETERMINAR EL ASENTAMIENTO

La consistencia de la mezcla se mide a través de su asentamiento, donde en la siguiente tabla se muestra el asentamiento para 3 tipos de consistencia.

CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO
Seca	0" a 2"
Plástica	3" a 4"
Fluida	≥ 5"

Para nuestro diseño se elige una consistencia plástica con un asentamiento de 3" a 4"

### RELACIÓN AGUA – CEMENTO (a/c)

Con la resistencia requerida es un valor intermedio tenemos que interpolar con los valores de la tabla.

Resistencia a la compresión a los 28 días (f 'cr) (Kg/cm <sup>2</sup> )	Relación Agua – Cemento de diseño en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
450	0.38	---
400	0.43	---
350	0.48	0.40
<b>300</b>	<b>0.55</b>	0.46
<b>250</b>	<b>0.62</b>	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

$$\frac{(300 - 250)}{(294 - 250)} = \frac{(0.55 - 0.62)}{(x - 0.62)}$$

$$X = 0.5584$$

$$X = 0.56 \dots \dots \dots R a/c$$



## CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO

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

La cantidad de agua de acuerdo a la tabla se obtiene:

**193 Lt/m<sup>3</sup> de agua de mezclado**

### Determinacion del cemento

$$R \ a/c = \frac{a}{c}$$

$$C = \frac{a}{R \ a/c}$$

$$C = \frac{215}{0.56}$$

$$C = 383.93 \text{ Kg/m}^3$$

### CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO

Tamaño Máximo Nominal	Aire Atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%
6"	0.2%

El tamaño maximo del agregado grueso es de 1", por lo tanto:

**Aire atrapado: 1.5%**

## CANTIDAD DE AGREGADO GRUESO

### VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO

TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO GRUESO	Volumen de agregado grueso, seco y compactado (*) por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza del agregado fino			
	MODULO DE FINEZA DEL AGREGADO FINO			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	<b>0.64</b>	<b>0.62</b>	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Con los datos de modulo de fineza 3.28 y el tamaño maximo del agregado 1" de la tabla tenemos que:

**Volumen del agregado grueso = 0.62**

Peso unitario seco compactado = 0.622 x 1580

**Peso unitario seco compactado = 974.052 Kg**

### VOLUMEN ABSOLUTO DE CONCRETO PARA HALLAR EL AGREGADO FINO POR METRO CÚBICO DE MEZCLA.

$$\text{volumen absoluto} = \frac{\text{peso seco}}{\text{P. E.} \times 1000}$$

$$\text{cemento} = \frac{344.64}{3.11 \times 1000} = 0.1108 \text{ m}^3$$

$$\text{agr. Grueso} = \frac{982.76}{2.62 \times 1000} = 0.375 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua} = \frac{193}{1000} = 0.193 \text{ m}^3$$

$$\text{Aire} = \frac{1.5}{100} = 0.015 \text{ m}^3$$

$$\underline{\Sigma = 0.6938 \text{ m}^3}$$

**Volumen absoluto del agregado fino = 1 - 0.6938 = 0.3062 m<sup>3</sup>**

Entonces: **0.3062 =  $\frac{\text{peso seco}}{2.643 \times 1000}$**

**Peso seco agregado fino = 935.088 kg**

Peso seco de los materiales :

Cemento: 383.94 Kg

Ag. Fino: 935.088 Kg

Ag. Grueso: 974.052 Kg

Agua: 215 Lts

### **CORRECCIÓN POR HUMEDAD DE LOS MATERIALES**

$$\text{peso} \times \left( \frac{\% \text{ de humedad}}{100} + 1 \right)$$

$$\text{Ag. fino} = 935.088 * \left( \frac{1.5}{100} + 1 \right) = 805 \text{ kg}$$

$$\text{Ag. grueso} = 974.052 * \left( \frac{0.2}{100} + 1 \right) = 913 \text{ kg}$$

### **CORRECCIÓN POR ABSORCIÓN**

$$\text{peso seco} * \left( \frac{\% \text{ de absorcion} - \% \text{ humedad}}{100} \right)$$

$$\text{Ag. fino} = 935.088 * \left( \frac{1.5 - 1.5}{100} \right) = 0$$

$$\text{Ag. grueso} = 974.052 * \left( \frac{0.51 - 0.2}{100} \right) = 3.02$$

$$\Sigma = 3.02 \dots \dots \dots \text{agua libre}$$

### **AGUA EFECTIVA**

$$\text{Agua de diseño} + \text{agua libre} = 215 + 3.02 = 218.02 \text{ lts}$$

### **DISEÑO TEÓRICO HÚMEDO**

$$R \text{ a/c} = \frac{a}{c}$$

$$C = \frac{a}{R \text{ a/c}}$$

$$C = \frac{218.02}{0.56}$$

$$C = 389.32 \text{ Kg/m}^3$$

## CANTIDAD DE CEMENTO POR BOLSA

$$\frac{389.32}{42.5} = 9 \text{ bolsas}$$

## PROPORCIONES EN PESO POR M3

Cemento	Ag. Fino	Ag. grueso	Agua
$\frac{389.32}{389.32}$	$\frac{805}{389.32}$	$\frac{913}{389.32}$	$\frac{218.02}{389.32}$

1 : 2 : 2.4 : 0.56 R a/c

POR TANDA DE 0.030 m<sup>3</sup>

Cemento Sol tipo 1	11.52 kg
Agua	6.53 L
Aditivo	0.0 g
Agregado grueso	27.4 kg
Agregado fino	24.1 kg

## CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE GRAFENO INCORPORADO EN EL CONCRETO.

### EN UN PORCENTAJE DE 0.02%

Se calcula respecto al peso del cemento

$$\text{Grafeno por m}^3: 389 \times 0.02\% = \mathbf{0.078 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Grafeno por tanda de 0.030 m}^3: 11.52 \times 0.02\% = \mathbf{2.3 \text{ g}}$$

### EN UN PORCENTAJE DE 0.04%

Se calcula respecto al peso del cemento

$$\text{Grafeno por m}^3: 389 \times 0.04\% = \mathbf{0.154 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Grafeno por tanda de 0.030 m}^3: 11.52 \times 0.04\% = \mathbf{4.6 \text{ g}}$$

Figura: Mezclado del concreto

### EN UN PORCENTAJE DE 0.06%

Se calcula respecto al peso del cemento

Grafeno por m<sup>3</sup>:  $389 \times 0.06\% = 0.23 \text{ kg/m}^3$

Grafeno por tanda de 0.030 m<sup>3</sup>:  $11.52 \times 0.06\% = 6.9 \text{ g}$

### EN UN PORCENTAJE DE 0.08%

Se calcula respecto al peso del cemento

Grafeno por m<sup>3</sup>:  $389 \times 0.08\% = 0.307 \text{ kg/m}^3$

Grafeno por tanda de 0.030 m<sup>3</sup>:  $11.52 \times 0.08\% = 9.2 \text{ g}$

### Anexo 5. Elaboración de probetas

#### Elaboración de probetas (concreto patrón).

Una vez determinada el diseño de mezcla se procedió a la elaboración, para ello se utilizó las indicaciones de la norma ASTM C39 las probetas fueron de 100 mm de diámetro por 200 mm de altura.

Luego se procedió a pesar los materiales según las dosificaciones del diseño del concreto patrón. Como se muestra en la siguiente imagen.

Figura: Peso de los agregados



Fuente: Elaboración propia

Una vez pesada los materiales, se procedió a hacer la mezcla en la siguiente imagen se muestra el material y la mezcladora que se utilizaran.

Figura: Mezclado del concreto



Fuente: Elaboración propia.

Figura: Medida del asentamiento del concreto patrón.



Fuente: Elaboración propia.

Luego de terminar la mezcla una vez vaciado a la carretilla, se procedió a sacar el asentamiento. El asentamiento del concreto patrón nos dio como resultado  $3 \frac{3}{4}$ ", habiendo sido diseñado para un asentamiento de 3" a 4" está dentro de lo permitido.

Una vez terminado con los ensayos en concreto fresco se procede al vaciado a los moldes cilíndricos de 100 mm (4") x 200 mm (8"), la cantidad de moldes fueron tres por cada edad a los 7, 14, 28 días. Se toman tres especímenes dado que así lo determina la norma E 060

Concreto Armado, “[...] para cada relación agua-material cementante o contenido de material cementante deben confeccionarse y curarse al menos tres probetas cilíndricas para cada edad de ensayo [...]. Las probetas deben ensayarse a los 28 días o a la edad de ensayo establecida para determinar  $f'c$ ”. (2009, p. 42).

Como se puede leer en la cita anterior la norma aclara que el mínimo de probetas son tres, además de ello que deben ser ensayadas en los días establecidos, en la presente investigación se ensayarán a las edades de 7, 14, 28 días de curado.

En la siguiente figura se muestra el llenado de las probetas del concreto patrón.

Figura: Llenado de las probetas concreto patrón



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se puede apreciar el concreto patrón ya vaciado, pasada las 24 horas se desmolda y se dará paso al proceso del curado.

Figura: Concreto patrón vaciado.



Fuente: Elaboración propia

#### Proceso de curado.

Se procede a sumergir las probetas en un tanque de curado, ahí estarán hasta que se cumpla los días requeridos que son 7, 14 y 28 días en la siguiente imagen se muestra la colocación de las probetas en el pozo de curado.

Figura: Curado de las probetas.



Fuente: Elaboración propia.



### **Elaboración de probetas con adiciones de grafeno de (0.02%, 0.04%, 0.06%, 0.08%).**

una vez que ya se hizo el diseño de mezclas del concreto con adiciones de grafeno. se procedió a elaborar las probetas, las probetas al igual que el concreto patrón fueron de 100 mm x 200 mm. ya que así también lo indica la norma ASTM C39.

para empezar a realizar las probetas primero se procedió a pesar los agregados como se muestra en la siguiente imagen.

peso de los agregados



peso del grafeno para cada una de las dosificaciones. tener en consideración que fueron 4 dosificaciones distintas.

Peso del grafeno.



Fuente: Elaboración propia.

mezclado del grafeno con el agua. el grafeno se mezcló con el agua debido a es soluble en el agua es se combina con mucha facilidad. el grafeno que se usó fue el Grafeno (> 98% en peso, D 1-5  $\mu$  m, 1-2 capas). de dos capas.



Fuente: Elaboración propia

Una vez pesada los materiales, se procedió hacer la mezcla en la siguiente imagen se muestra el material y la mezcladora que se utilizaran.

Mezclado del concreto



Fuente: Elaboración propia.

### Medida de los asentamientos del concreto con las dosis de grafeno



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del asentamiento obtenido con las adiciones del grafeno en proporciones de 0.02%, 0.04%, 0.06%, 0.08%. fueron los siguiente.

Concreto patrón	Slump obtenido	Proporciones de grafeno	Slump obtenido
Patrón	3 ¾"	0.02%	5" pulgadas
		0.04%	5 ¾" pulgadas
		0.06%	6" pulgadas
		0.08%	6" pulgadas

Una vez terminado con los ensayos en concreto fresco se procede al vaciado a los moldes cilíndricos de 100 mm (4") x 200 mm (8"), la cantidad de moldes fueron tres por cada edad a los 7, 14, 28 días. Se toman tres especímenes dado que así lo determina la norma E 060 Concreto Armado.

En la siguiente figura se muestra el llenado de las probetas del concreto con adiciones de grafeno.



en la siguiente imagen se muestra las probetas que ya fueron llenadas, cada uno con su identificación, con los porcentajes de grafeno para evitar confusiones a la hora de ser ensayadas.



en la imagen se muestra el proceso del curado de las probetas con las dosificaciones de grafeno.



### Ensayo para determinar la resistencia a compresión

Para poder realizar el ensayo de resistencia a la compresión se tomó como guía la ASTM C 39/39M, NTP 339.034. Los agregados fueron de tamaño máximo 3/4" y tamaño máximo nominal de 1/2". En la siguiente tabla se muestra la cantidad de probetas que se realizaron según el día a ensayar y el tipo de mezcla.

Ensayo de resistencia a la compresión					
Días	Tipo de mezclas				
	Sin Grafeno	Con adiciones de grafeno			
		0.01%	0.02%	0.03%	0.04%
7	3	3	3	3	3
14	3	3	3	3	3
28	3	3	3	3	3

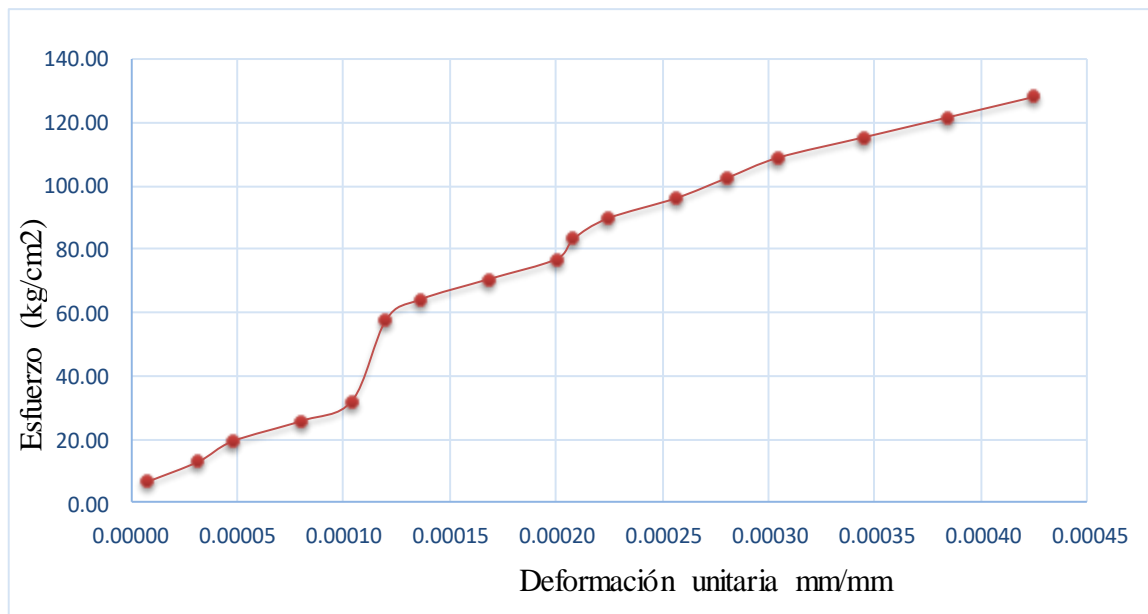
Luego de ello se procederá a hacer uso de la prensa hidráulica para poder hallar la carga máxima y la resistencia a compresión de todas las probetas, con y sin grafeno, con esto se podrá analizar e interpretar los datos. Para este procedimiento se tuvo mucha cautela en cuanto al uso de herramientas ya que todo tenía que regirse de acuerdo a la NTP 339.034 en la siguiente imagen se muestra una probeta antes de ser ensayada.



Luego de que transcurrieron los días y cada probeta llegó a su periodo de curado se retiró las probetas del pozo curador y se llevó a ensayar a laboratorio.

### Anexo 6. Cálculo de módulo de elasticidad.

#### Cálculo del módulo de elasticidad del concreto patrón.



A partir de los datos obtenidos, del diagrama de esfuerzo y deformación unitaria nos ubicamos el ( $e_1$ ) deformación longitudinal de 50 millonésimos (0.00005) como lo indica en norma ASTM 469. Trazamos una línea perpendicular hasta la intersección de la curva, de ese modo obtenemos el valor del esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria ( $S_1$ ).

DATOS	SÍMBOLO	
$f'c$ A $d=0.000050$	$S_1 =$	<b>19.00</b>
$d=0.000050$	$e_1 =$	<b>0.00005</b>

Como el módulo de elasticidad se presenta con la deformación que tiene este material al aplicar fuerzas de compresión por debajo de su límite elástico, estas cargas no deben sobrepasar los 40 % de resistencia máxima del concreto.

Para hallar el esfuerzo correspondiente al 40% del esfuerzo ultima o de ruptura. Se calcula el esfuerzo ultimo ( $f'c$ ) de la siguiente manera.

$$f'c \text{ ultimo } (kg/cm^2) = \frac{Wu}{\frac{\pi \times D^2}{4}}$$

Donde:

$Wu$  (kg) = carga ultima del ensayo a compresión

$D$  (cm) = diámetro promedio de la probeta

De los datos obtenidos remplazamos en la formula

$$f'c \text{ ultimo } (kg/cm^2) = \frac{22,841.90}{\frac{\pi \times 9.98^2}{4}}$$

$$f'c \text{ ultimo } = 292 (kg/cm^2)$$

Se calcula el esfuerzo correspondiente al 40% del esfuerzo último ( $S_2$ ) y su deformación unitaria producida por el  $S_2$  ( $e_2$ ) este valor se obtiene trazando una recta perpendicular.

DATOS	SÍMBOLO	
$f'c$ último (kg/cm <sup>2</sup> )		<b>292.00</b>
40% $f'c$ último (kg/cm <sup>2</sup> )	$S_2$	<b>116.80</b>
$d$ A 40% de $f'c$ último	$e_2$	<b>0.000470</b>

De los datos calculados, se halla el módulo de elasticidad.

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

$$E = \frac{116.80 - 19}{0.000470 - 0.000050}$$

$$E = 232,856 (kg/cm^2)$$

Hallamos la constante elástica real con el esfuerzo ultimo obtenido del ensayo a compresión.

$$Cte. Elastic. Real = \frac{E}{\sqrt{f'c}}$$

$$Cte. Elastic. Real = \frac{232,856}{\sqrt{292.00}}$$

$$Cte. Elastic. Real = 13,627$$

Hallamos la constante elástica nominal con el esfuerzo ultimo teórico.

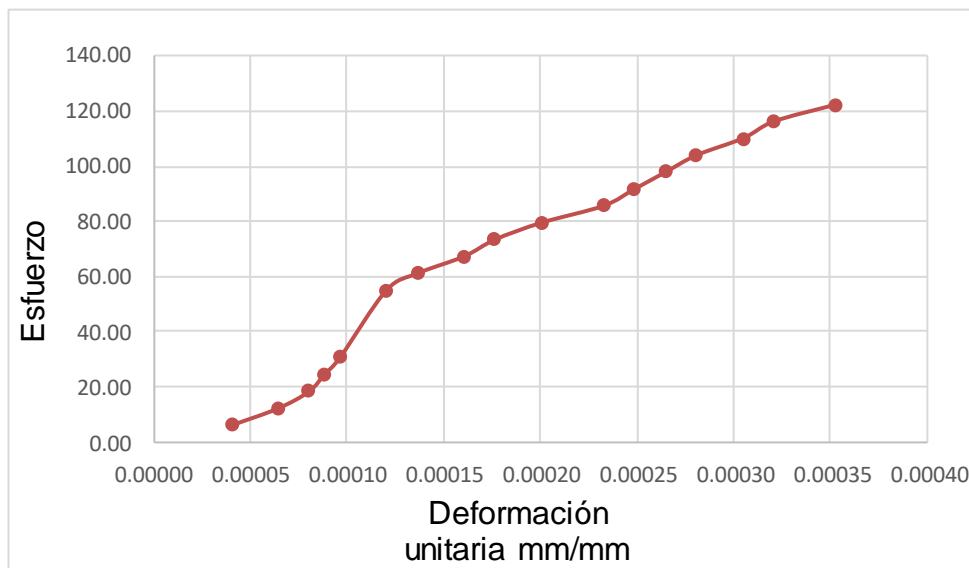
$$Cte. Elastic. Nominal = \frac{E}{\sqrt{f'c}}$$

$$Cte. Elastic. Nominal = \frac{232,856}{\sqrt{210}}$$

$$Cte. Elastic. Nominal = 16,068.6$$

RESULTADOS	
MÓDULO DE ELASTICIDAD	
Módulo Ec kg/cm <sup>2</sup>	232,856
Cte. Elás. fc Ult.	13,627
Cte. Elás. fc Nomin.	16,069

### Calculo del módulo de elasticidad del concreto incorporado con el 0.02% de grafeno



A partir de los datos obtenidos, del diagrama de esfuerzo y deformación unitaria nos ubicamos el ( $e_1$ ) deformación longitudinal de 50 millonésimos (0.00005) como lo indica en norma ASTM 469. Trazamos una línea perpendicular hasta la intersección de la curva, de



ese modo obtenemos el valor del esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria ( $S_1$ ).

DATOS	SÍMBOLO	
$f_c$ A $d=0.000050$	$S_1 =$	<b>8.00</b>
$d=0.000050$	$e_1 =$	<b>0.00005</b>

Como el módulo de elasticidad se presenta con la deformación que tiene este material al aplicar fuerzas de compresión por debajo de su límite elástico, estas cargas no deben sobrepasar los 40 % de resistencia máxima del concreto.

Para hallar el esfuerzo correspondiente al 40% del esfuerzo ultima o de ruptura. Se calcula el esfuerzo ultimo ( $f'c$ ) de la siguiente manera.

$$f'c \text{ ultimo } (kg/cm^2) = \frac{Wu}{\frac{\pi \times D^2}{4}}$$

Donde:

$Wu$  (kg) = carga ultima del ensayo a compresión

$D$  (cm) = diámetro promedio de la probeta

De los datos obtenidos remplazamos en la formula

$$f'c \text{ ultimo } (kg/cm^2) = \frac{24432.10}{\frac{\pi \times 10.02^2}{4}}$$

$$f'c \text{ ultimo} = 299 (kg/cm^2)$$

Se calcula el esfuerzo correspondiente al 40% del esfuerzo último ( $S_2$ ) y su deformación unitaria producida por el  $S_2$  ( $e_2$ ) este valor se obtiene trazando una recta perpendicular.

DATOS	SIMBOLO	
$f_c$ último (kg/cm <sup>2</sup> )		<b>299.00</b>
40% $f_c$ último (kg/cm <sup>2</sup> )	$S_2$	<b>119.60</b>
$d$ A 40% de $f_c$ último	$e_2$	<b>0.000423</b>

De los datos calculados, se halla el módulo de elasticidad.

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

$$E = 299,195 (kg/cm^2)$$

Hallamos la constante elástica real con el esfuerzo ultimo obtenido del ensayo a compresión.

$$Cte. \text{Elastica. Real} = \frac{E}{\sqrt{f'c}}$$

$$Cte. \text{Elastica. Real} = \frac{299,195}{\sqrt{299.00}}$$

$$Cte. Elastic. Real = 17,303$$

Hallamos la constante elástica nominal con el esfuerzo ultimo teórico.

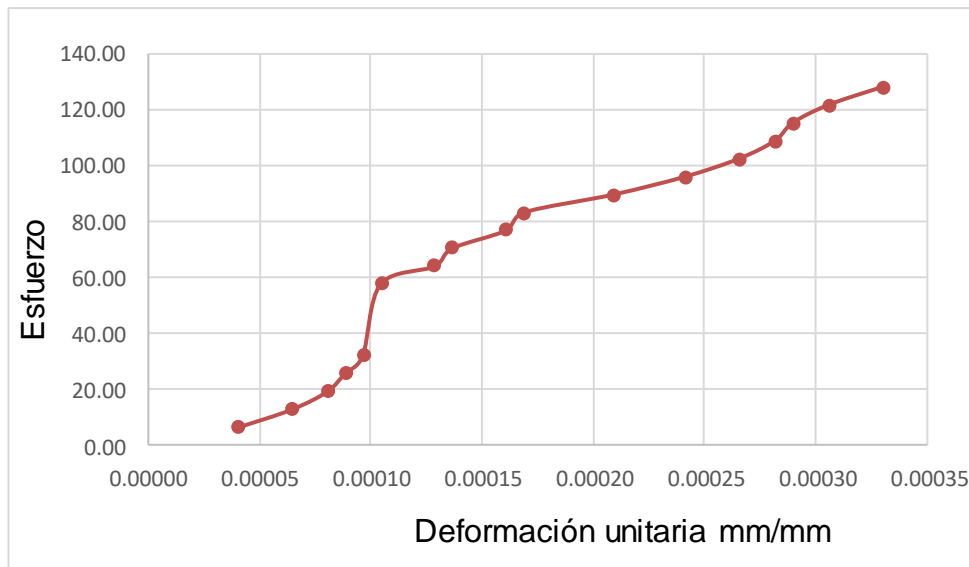
$$Cte. Elastic. Nominal = \frac{E}{\sqrt{f'c}}$$

$$Cte. Elastic. Nominal = \frac{299,195}{\sqrt{210}}$$

$$Cte. Elastic. Nominal = 20,646$$

RESULTADOS	
MÓDULO DE ELASTICIDAD	
Módulo Ec kg/cm <sup>2</sup>	<b>299,195</b>
Cte. Elás. f'c Ult.	17,303
Cte. Elás. f'c Nomin.	20,646

**Calculo del módulo de elasticidad del concreto incorporado con el 0.04% de grafeno**



A partir de los datos obtenidos, del diagrama de esfuerzo y deformación unitaria nos ubicamos el ( $e_1$ ) deformación longitudinal de 50 millonésimos (0.00005) como lo indica en norma ASTM 469. Trazamos una línea perpendicular hasta la intersección de la curva, de ese modo obtenemos el valor del esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria ( $S_1$ ).

DATOS	SÍMBOLO	
f'c A d=0.000050	$S_1 =$	<b>8.00</b>
d=0.000050	$e_1 =$	<b>0.00005</b>

Como el módulo de elasticidad se presenta con la deformación que tiene este material al aplicar fuerzas de compresión por debajo de su límite elástico, estas cargas no deben sobrepasar los 40 % de resistencia máxima del concreto.

Para hallar el esfuerzo correspondiente al 40% del esfuerzo ultima o de ruptura. Se calcula el esfuerzo ultimo ( $f'c$ ) de la siguiente manera.

$$f'c \text{ ultimo } (kg/cm^2) = \frac{Wu}{\frac{\pi \times D^2}{4}}$$

Donde:

$Wu$  (kg) = carga ultima del ensayo a compresión

$D$  (cm) = diámetro promedio de la probeta

De los datos obtenidos remplazamos en la formula

$$f'c \text{ ultimo } (kg/cm^2) = \frac{26,646.20}{\frac{\pi \times 9.96^2}{4}}$$

$$f'c \text{ ultimo } = 342 (kg/cm^2)$$

Se calcula el esfuerzo correspondiente al 40% del esfuerzo último ( $S_2$ ) y su deformación unitaria producida por el  $S_2$  ( $e_2$ ) este valor se obtiene trazando una recta perpendicular.

DATOS	SIMBOLO	
$f'c$ último (kg/cm <sup>2</sup> )		<b>342.00</b>
40% $f'c$ último (kg/cm <sup>2</sup> )	$S_2$	<b>136.80</b>
d A 40% de $f'c$ último	$e_2$	<b>0.000430</b>

De los datos calculados, se halla el módulo de elasticidad.

$$E = \frac{S2 - S1}{\epsilon_2 - 0.000050}$$

$$E = 338,948 (kg/cm^2)$$

Hallamos la constante elástica real con el esfuerzo ultimo obtenido del ensayo a compresión.

$$Cte. \text{Elastica. Real} = \frac{E}{\sqrt{f'c}}$$

$$Cte. \text{Elastica. Real} = \frac{338,948}{\sqrt{299.00}}$$

$$Cte. \text{Elastica. Real} = 18,328$$

Hallamos la constante elástica nominal con el esfuerzo ultimo teórico.

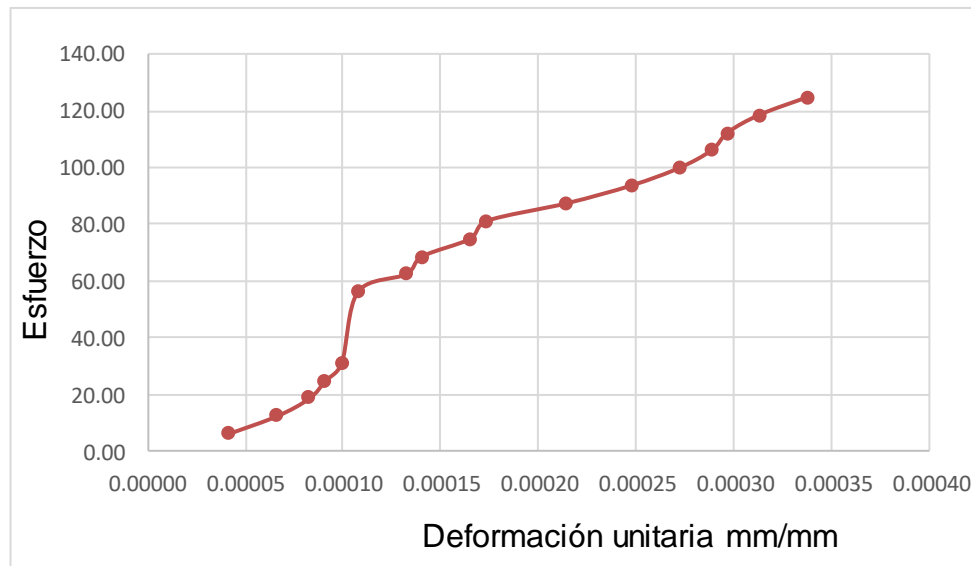
$$Cte. \text{Elastica. Nominal} = \frac{E}{\sqrt{f'c}}$$

$$Cte. \text{Elastica. Nominal} = \frac{338,948}{\sqrt{210}}$$

$$Cte. \text{Elastica. Nominal} = 23,390$$

RESULTADOS	
MÓDULO DE ELASTICIDAD	
Módulo Ec kg/cm <sup>2</sup>	<b>338,948</b>
Cte. Elás. f'c Ult.	18,328
Cte. Elás. f'c Nomin.	23,390

### Calculo del módulo de elasticidad del concreto incorporado con el 0.06% de grafeno



A partir de los datos obtenidos, del diagrama de esfuerzo y deformación unitaria nos ubicamos el ( $e_1$ ) deformación longitudinal de 50 millonésimos (0.00005) como lo indica en norma ASTM 469. Trazamos una línea perpendicular hasta la intersección de la curva, de ese modo obtenemos el valor del esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria ( $S_1$ ).

DATOS	SÍMBOLO	
f'c A d=0.000050	$S_1 =$	<b>8.00</b>
d=0.000050	$e_1 =$	<b>0.00005</b>

Como el módulo de elasticidad se presenta con la deformación que tiene este material al aplicar fuerzas de compresión por debajo de su límite elástico, estas cargas no deben sobrepasar los 40 % de resistencia máxima del concreto.

Para hallar el esfuerzo correspondiente al 40% del esfuerzo ultima o de ruptura. Se calcula el esfuerzo ultimo ( $f'c$ ) de la siguiente manera.

$$f'c \text{ ultimo } (kg/cm^2) = \frac{Wu}{\frac{\pi \times D^2}{4}}$$

Donde:

$Wu$  (kg) = carga ultima del ensayo a compresión

$D$  (cm) = diámetro promedio de la probeta

De los datos obtenidos remplazamos en la formula

$$f'c \text{ ultimo } (kg/cm^2) = \frac{26,038.50}{\frac{\pi \times 10.102^2}{4}}$$

$$f'c \text{ ultimo } = 325 (kg/cm^2)$$

Se calcula el esfuerzo correspondiente al 40% del esfuerzo último ( $S_2$ ) y su deformación unitaria producida por el  $S_2$  ( $e_2$ ) este valor se obtiene trazando una recta perpendicular.

DATOS	SIMBOLO	
f'c último (kg/cm <sup>2</sup> )		<b>325.00</b>
40% f'c último (kg/cm <sup>2</sup> )	$S_2$	<b>130.00</b>
d A 40% de f'c último	$e_2$	<b>0.000427</b>

De los datos calculados, se halla el módulo de elasticidad.

$$E = \frac{S2 - S1}{\epsilon2 - 0.000050}$$

$$E = 323,607 (kg/cm^2)$$

Hallamos la constante elástica real con el esfuerzo ultimo obtenido del ensayo a compresión.

$$Cte. \text{Elastica. Real} = \frac{E}{\sqrt{f'c}}$$

$$Cte. \text{Elastica. Real} = \frac{323,607}{\sqrt{325.00}}$$

$$Cte. \text{Elastica. Real} = 17,951$$

Hallamos la constante elástica nominal con el esfuerzo ultimo teórico.

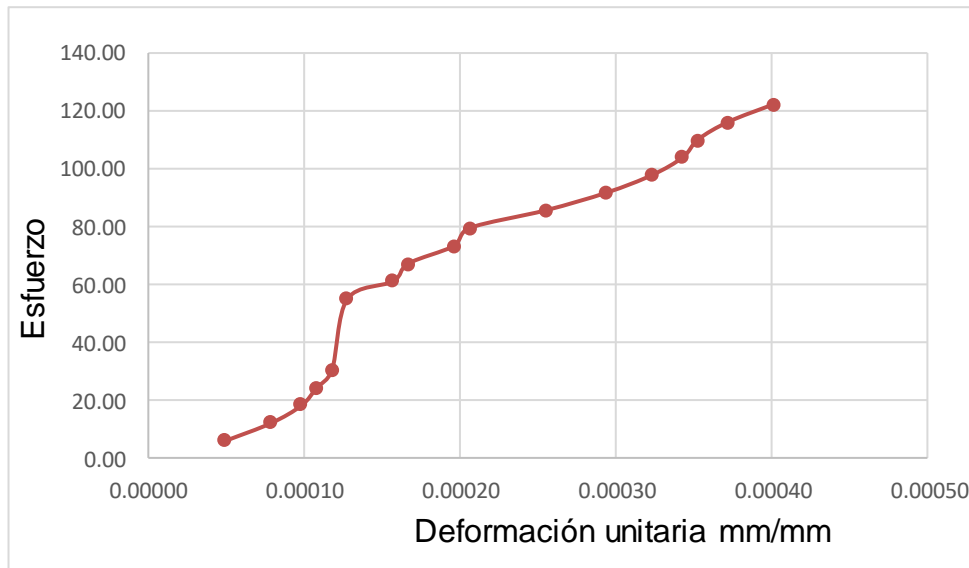
$$Cte. \text{Elastica. Nominal} = \frac{E}{\sqrt{f'c}}$$

$$Cte. \text{Elastica. Nominal} = \frac{323,607}{\sqrt{210}}$$

$$Cte. \text{Elastica. Nominal} = 22,331$$

RESULTADOS	
MÓDULO DE ELASTICIDAD	
Módulo Ec kg/cm <sup>2</sup>	<b>323,607</b>
Cte. Elás. f'c Ult.	17,951
Cte. Elás. f'c Nomin.	22,331

**Calculo del módulo de elasticidad del concreto incorporado con el 0.08% de grafeno**



A partir de los datos obtenidos, del diagrama de esfuerzo y deformación unitaria nos ubicamos el ( $e_1$ ) deformación longitudinal de 50 millonésimos (0.00005) como lo indica en norma ASTM 469. Trazamos una línea perpendicular hasta la intersección de la curva, de ese modo obtenemos el valor del esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria ( $S_1$ ).

DATOS	SÍMBOLO	
f'c A d=0.000050	$S_1 =$	<b>6.00</b>
d=0.000050	$e_1 =$	<b>0.00005</b>

Como el módulo de elasticidad se presenta con la deformación que tiene este material al aplicar fuerzas de compresión por debajo de su límite elástico, estas cargas no deben sobrepasar los 40 % de resistencia máxima del concreto.

Para hallar el esfuerzo correspondiente al 40% del esfuerzo ultima o de ruptura. Se calcula el esfuerzo ultimo ( $f'c$ ) de la siguiente manera.

$$f'c \text{ ultimo } (kg/cm^2) = \frac{Wu}{\frac{\pi \times D^2}{4}}$$

Donde:

$W_u$  (kg) = carga ultima del ensayo a compresión

$D$  (cm) = diámetro promedio de la probeta

De los datos obtenidos remplazamos en la formula

$$f'c \text{ ultimo } (kg/cm^2) = \frac{25,600}{\frac{\pi \times 10.20^2}{4}}$$

$$f'c \text{ ultimo} = 313.29 (kg/cm^2)$$

Se calcula el esfuerzo correspondiente al 40% del esfuerzo último ( $S_2$ ) y su deformación unitaria producida por el  $S_2$  ( $e_2$ ) este valor se obtiene trazando una recta perpendicular.

DATOS	SIMBOLO	
f'c último (kg/cm <sup>2</sup> )		<b>313.29</b>
40% f'c último (kg/cm <sup>2</sup> )	$S_2$	<b>125.32</b>
d A 40% de f'c último	$e_2$	<b>0.000510</b>

De los datos calculados, se halla el módulo de elasticidad.

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

$$E = 259,385 (kg/cm^2)$$

Hallamos la constante elástica real con el esfuerzo ultimo obtenido del ensayo a compresión.

$$Cte. \text{Elastica. Real} = \frac{E}{\sqrt{f'c}}$$

$$Cte. \text{Elastica. Real} = \frac{259,385}{\sqrt{313.29}}$$

$$Cte. \text{Elastica. Real} = 14,654$$

Hallamos la constante elástica nominal con el esfuerzo ultimo teórico.

$$Cte. \text{Elastica. Nominal} = \frac{E}{\sqrt{f'c}}$$

$$Cte. \text{Elastica. Nominal} = \frac{259,385}{\sqrt{210}}$$

$$Cte. \text{Elastica. Nominal} = 17,899$$

RESULTADOS	
MÓDULO DE ELASTICIDAD	
Módulo $E_c$ kg/cm <sup>2</sup>	<b>259,385</b>
Cte. Elás. f'c Ult.	14,654
Cte. Elás. f'c Nomin.	17,899

**Anexo 7. Juicio de expertos.**

**Constancia de validación**

Yo, Yvan Arturo Laura Vargas CIP 176780  
 De profesión Ingeniero Civil ejerciendo actualmente  
 en la institución Subgerencia de infraestructura Municipalidad Distrital de Pichuri

Hago constar que he revisado, con fines de validación, el instrumento .....  
 Diseñado por el investigador Aliaga Parro, Alejandro y Canteras Gamboa Mayca

Y luego de hacer observaciones pertinentes, puedo formular las siguientes apreciaciones:

	Deficiente	Aceptable	Excelente
Congruencia ítem – dimensión		X	
Amplitud de contenidos		X	
Redacción de los ítems			X
Precisión de los ítems		X	
Ortografía			X
Presentación			X

En la ciudad de ..... a los 25 días del mes Junio de 2019

  
 Yvan A. Laura Vargas  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: N° 176780

Firma el validador



### Constancia de validación

Yo, MAYRA ROSAS NAJARRO ..... CIP. 199628.....

De profesión INGENIERO CIVIL..... ejerciendo actualmente

Consultoría..... En la institución FADIMOR.....

Hago constar que he revisado, con fines de validación, el instrumento .....

Diseñado por el investigador Altaga Parra Alejandro y Contreras Gamboa, Mayra

Y luego de hacer observaciones pertinentes, puedo formular las siguientes apreciaciones:

	Deficiente	Aceptable	Excelente
Congruencia ítem – dimensión		X	
Amplitud de contenidos		X	
Redacción de los ítems			X
Precisión de los ítems		X	
Ortografía			X
Presentación			X

En la ciudad de AMACOCUB a los 25 días del mes Junio ..... de 2019..

  
Mayra Rosas Najarro  
 INGENIERO CIVIL  
 Firma el validador  
 CIP. N. 199628

### Constancia de validación

Yo, DAISY DIPAS TORRES ..... CIP 200892

De profesión INGENIERO CIVIL ..... ejerciendo actualmente  
CONSULTORIA DE PROYECTOS En la institución "FAMIMA CONSULTORES"

Hago constar que he revisado, con fines de validación, el instrumento DE VALIDACION  
 Diseñado por el investigador Alpaga Parra, Alejandro y Contreras Gamboa Maycol

Y luego de hacer observaciones pertinentes, puedo formular las siguientes apreciaciones:

	Deficiente	Aceptable	Excelente
Congruencia ítem – dimensión		X	
Amplitud de contenidos		X	
Redacción de los ítems			X
Precisión de los ítems		X	
Ortografía			X
Presentación			X

En la ciudad de AYACUCHO, a los 25 días del mes Junio de 2019

**Daisy Dipas Torres**  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP. 200892  
 Firma el validador

## Anexo 8. Certificacion del Grafeno.

### CERTIFICATE OF ANALYSIS

Products name	Graphene 01
Products No.	GP-01
Batch No.	01

TEST	SPECIFICATIONS
Conductivity	800-1100 S/cm
Apparent density	0.05-0.09 g/cm <sup>3</sup>
Tap Density	0.08-0.15 g/cm <sup>3</sup>
Appearance	Black powder

#### Product Features

Low defect, low oxygen and high conductivity. Easy to disperse in NMP, DMF, alcohol and other organic solvents, and dispersing agent needed for other aqueous solvents.

#### Conclusion

Conform with specification

#### Storage

Store in cool & dry place. Do not freeze. Keep away from strong light and heat.

#### Shelf life

2 years when properly stored

#### MUNOZ DEVELOPMENT PROFESIONAL CORPORATION

Tel 6195739233  
Fax 6195739233

416 W SAN YSIDRO BLVD  
L PMB 1560, SAN YSIDRO  
CA 92173

<http://www.munoz-industries.com/>  
[director@munoz-industries.com](mailto:director@munoz-industries.com)



# MATERIALS SAFETY DATA SHEET

## Company Identification

Company: Munoz Development Professional Corporation  
Address: 416 San Ysidro BLVD L PMB 1560 San Ysidro Ca 92173  
Tel: 5555058207

## Product Information

Product name: Graphene  
Product number: OGP-01

## Physical And Chemical Properties

Appearance: Black powder. Odor: Odorless. Melting point: Approximately 3600oC. Flash point: Not applicable. Boiling point: Not applicable. Vapor density: not applicable. Bulk density: 0.5 – 1.0 g/cm3. Solubility in water: Negligible. Evaporation Rate: Not applicable. Ignition temperature: Dispersed dust cloud - >600oC, deposited dust - >365oC.

## Hazard Identification

Emergency Overview: This material maybe an irritant to eyes, skin or respiratory tract.

Potential Health Effects: Eyes – may cause eye irritation, Skin – may cause skin irritation. Respiratory tract/inhalation – at high concentrations may cause irritation. Ingestion – not hazardous in normal industrial use circumstances. Cancer – natural graphite may contain small amounts of impurities of 0% - 1% crystalline silica, which is listed as a Group 1 carcinogen by IARC and as a suspected

## MUNOZ DEVELOPMENT PROFESIONAL CORPORATION

Tel 6195739233  
Fax 6195739233

416 W SAN YSIDRO BLVD  
L PMB 1560, SAN YSIDRO  
CA 92173

<http://www.munoz-industries.com/>  
[director@munoz-industries.com](mailto:director@munoz-industries.com)



México, D.F. a 26 de noviembre, 2019

**A Quien corresponda**

**P r e s e n t e**

El que suscribe Rafael Muñoz Martínez, en mi carácter de persona física con actividad empresarial, con domicilio fiscal el ubicado en Periférico Sur 3380 Torre A-704, jardines del Pedregal, Alcaldía Álvaro Obregón, Ciudad de México C.P. 01900 muy atentamente expongo.

De conformidad con lo señalado en el Artículo 54 fracción I de la Ley Aduanera, *declaro bajo protesta de decir verdad, que la mercancía amparada con:*

Presenta las siguientes características:

1. Nombre comercial:           **Grafeno**
2. Nombre químico:           **Grafeno**
3. Fórmula desarrollada:       **C (Carbono)**
4. Fórmula estructural:       **OC<sub>n</sub>**
5. **Presentación:**  
Negro
6. **Uso y función específica:** Experimentación como Conductor eléctrico y térmico

Manifiesto conocer las sanciones a que se hacen acreedoras las personas que proporcionan datos falsos e inexactos.

**ATENTAMENTE**



Rafael Muñoz Martínez

Nombre y Firma  
RFC MUMR530911RP4

# Anexo 9. Ficha técnica de los agregados (fino y grueso).



000001

## LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

### INFORME DE ENSAYO N° 0 1 7 - 2 019-MTC/14.01

SOLICITANTE	:	ARENERA SAN MARTÍN DE PORRAS S.A.	MUESTRA	:	Agregado
DOMICILIO LEGAL	:	Av. Monteverde N° 197 - Ale - Lima	IDENTIFICACIÓN	:	El que se indica
PROYECTO	:	"UEA Arenera San Martín"	CANTIDAD	:	38 kg
REFERENCIA	:	REC N° 007-2 019-FE-02	PRESENTACIÓN	:	Saco de polietileno
FECHA DE RECEPCIÓN	:	2 019.01.14.	FECHA ENSAYO	:	2 019.01.17.

MALLAS		DENOMINACIÓN	Chancadora 1; Piedra chancada 1/2"							
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	NORMAS ENSAYO	RET (%)	PASA (%)						
3"	76.200	NTP 400.012 (2 013)								
2 1/2"	63.500									
2"	50.800									
1 1/2"	38.100				100					
1"	25.400			6	94					
3/4"	19.050			75	19					
1/2"	12.700			12	7					
3/8"	9.525			1	6					
1/4"	6.350			6	-					
N° 4	4.760									
N° 6	3.360									
N° 8	2.380									
N° 10	2.000									
N° 16	1.190									
N° 20	0.840									
N° 30	0.590									
N° 40	0.425									
N° 50	0.297									
N° 80	0.177									
N° 100	0.149									
N° 200	0.074									
- N° 200	-	NTP 400.012 (2 013)								

**Observaciones:**

- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 2 019 01 14
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07 01 98)
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados, siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario



LANDO E. SAN MIGUEL CABRERA  
Lima, 22 de Enero de 2 019

USA (1/4)  
oesc/gmm  
O.S. N° 007



LABORATORIO



DEE

Av. Túpac Amaru N°160 - Rimac.

Tel.: 491-3707

Fax: 491-0677

LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 0 1 7 - 2 019-MTC/14.01

SOLICITANTE	: ARENERA SAN MARTÍN DE PORRAS S.A.	MUESTRA	: Agregado
DOMICILIO LEGAL	: Av. Monteverde N° 197 - Ate - Lima	IDENTIFICACIÓN	: El que se indica
PROYECTO	: "UEA Arenera San Martín"	CANTIDAD	: 38 kg
REFERENCIA	: REC N° 007-2 019-FE-02	PRESENTACIÓN	: Saco de polietileno
FECHA DE RECEPCIÓN	: 2 019.01.14.	FECHA DE ENSAYO	: 2 019.01.21.

NTP 400.019 (2 014) AGREGADOS. MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN EN AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MENORES POR ABRASIÓN E IMPACTO EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (\*)

IDENTIFICACIÓN	ENSAYO	RESULTADO (%)
Chancadora 1; Piedra chancada 1/2"	Tamaño Máximo Nominal: 1"	31
	Gradación: "A"	
	Número de Esferas: 12	

Observaciones:

- (\*) ASTM C-131 (2014) "Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine"
- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante.
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 2 019.01.14.
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002 - 98/INDECOPI - CRT del 07.01.98)
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



Lima, 22 de Enero de 2 019

USA (2/4)  
oesc/pasdc  
O S N° 007



LABORATORIO



DEE

Av. Túpac Amaru N°150 - Rimac. Telf.: 481-3707 Fax: 481-0877



**LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES**

**INFORME DE ENSAYO N° 0 17 - 2 019-MTC/14.01**

<b>SOLICITANTE</b>	: ARENERA SAN MARTÍN DE PORRAS S.A.	<b>MUESTRA</b>	: Agregado
<b>DOMICILIO LEGAL</b>	: Av. Monteverde N° 197 - Ate - Lima	<b>IDENTIFICACIÓN</b>	: El que se indica
<b>PROYECTO</b>	: "UEA Arenera San Martín"	<b>CANTIDAD</b>	: 38 kg
<b>REFERENCIA</b>	: REC N° 007-2 019-FE-02	<b>PRESENTACIÓN</b>	: Saco de polietileno
<b>FECHA DE RECEPCIÓN</b>	: 2 019.01.14.	<b>FECHA DE ENSAYO</b>	: 2 019.01.21 al 22.

**NTP 400.021 (2 013) AGREGADOS. MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO (\*)**

IDENTIFICACIÓN	ENSAYO	RESULTADO
Chancadora 1; Piedra chancada 1/2"	Peso específico bulk (base seca) g/cm <sup>3</sup>	2,650
	Peso específico bulk (base saturada) g/cm <sup>3</sup>	2,669
	Peso específico aparente (base seca) g/cm <sup>3</sup>	2,701
	Absorción (%)	0,71

- Observaciones:**
- (\*) Referencia: ASTM C-127 (2015). "Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of coarse aggregate".
  - Muestra proporcionada e identificada por el solicitante.
  - Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 2 019.01.14.
  - Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002 - 98/INDECOPI - CRT del 07.01.98).
  - Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



**CONTROL DE CALIDAD - D.E.E.**  
**D.E. SAN MIGUEL C.**  
**ING. GORRILANDO E. SAN MIGUEL CABRERA**  
 Lima, 22 de Enero de 2 019

USA (3/4)  
 oesc/pasdic  
 O S N° 007



**LABORATORIO**



**DEE**

Av. Túpac Amaru N°150 - Rimac.

Tel. : 481-3707

Fax : 481-0677



LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 0 1 7 - 2 019-MTC/14.01

SOLICITANTE	: ARENERA SAN MARTÍN DE PORRAS S.A.	MUESTRA	: Agregado
DOMICILIO LEGAL	: Av. Monteverde N° 197 - Ate - Lima	IDENTIFICACIÓN	: El que se indica
PROYECTO	: "UEA Arenera San Martín"	CANTIDAD	: 38 kg
REFERENCIA	: REC N° 007-2 019-FE-02	PRESENTACIÓN	: Saco de polietileno
FECHA DE RECEPCIÓN	: 2 019.01.14.	FECHA DE ENSAYO	: 2 019.01.22.

ASTM D-5821 (2 017) PORCENTAJE DE CARAS DE FRACTURA EN EL AGREGADO GRUESO

Identificación	Descripción	Resultado (%)
Chancadora 1; Piedra chancada 1/2"	Partículas con una ó más caras de fractura	28,8
	Partículas con dos ó más caras de fractura	7,4

Observaciones:

- Cara fracturada, n - una superficie angular, áspera y rugosa, o rota de un agregado ocasionada por chancado u otro medio artificial, o por medio natural.
- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante.
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 2 019.01.14.
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002 - 98/INDECOPI - CRT del 07.01.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



*[Signature]*  
**ING. RICARDO E. SAN MIGUEL CABRERA**  
 Lima, 22 de Enero de 2 019

USA (4/4)  
 oesclccg  
 O S N° 007




LABORATORIO



DEE

Av. Túpac Amaru N°150 - Rímac. Telf.: 481 3707 Fax: 481-0677

	FORMATO	Código	AE-FO-150
	ENSAYOS FÍSICOS EN AGREGADOS	Versión	01
		Fecha	07-05-2018
		Página	1 de 1

**Proyecto** : Incorporación del Grafeno para mejorar el comportamiento mecánico a compresión del concreto  $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , Lima 2019  
**Solicitante** : Alejandro Aliaga Parra / Maycol Contreras Gamboa  
**Código del Proyecto** : ---  
**Ubicación de Proyecto** : Desarrollado en las instalaciones de INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD  
**Material** : Agregado fino (Arena gruesa)

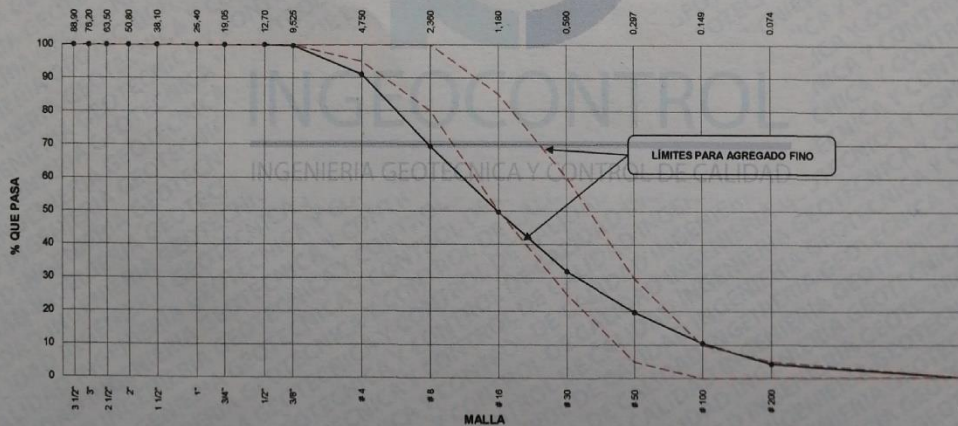
**Registro N°:** IGC19-LEM-414-01  
**Muestreado por :** R. Leyva  
**Ensayado por :** R. Leyva  
**Fecha de Ensayo:** 29/10/19  
**Turno:** Diurno

**Código de Muestra** : ---  
**Lote** : Cantera San Martín  
**N° de Muestra** : ---  
**Progresiva** : ---


AGREGADO FINO ASTM C33 - ARENA GRUESA						
Malla		Peso Ret. (gr)	Peso Ret. (%)	Peso Ret. Acum. (%)	% Pasa Acum.	ASTM "LIM SUP" / "LIM INF"
4"	101.60 mm	0.0	0.00	0.00	100.00	100.00 / 100.00
3 1/2"	88.90 mm	0.0	0.00	0.00	100.00	100.00 / 100.00
3"	76.20 mm	0.0	0.00	0.00	100.00	100.00 / 100.00
2 1/2"	63.50 mm	0.0	0.00	0.00	100.00	100.00 / 100.00
2"	50.80 mm	0.0	0.00	0.00	100.00	100.00 / 100.00
1 1/2"	38.10 mm	0.0	0.00	0.00	100.00	100.00 / 100.00
1"	25.40 mm	0.0	0.00	0.00	100.00	100.00 / 100.00
3/4"	19.05 mm	0.0	0.00	0.00	100.00	100.00 / 100.00
1/2"	12.70 mm	0.0	0.00	0.00	100.00	100.00 / 100.00
3/8"	9.53 mm	5.9	0.34	0.34	99.66	100.00 / 100.00
# 4	4.75 mm	152.2	8.70	9.04	90.96	95.00 / 100.00
# 8	2.36 mm	378.9	21.86	30.70	69.30	80.00 / 100.00
# 16	1.18 mm	344.6	19.70	50.39	49.61	50.00 / 85.00
# 30	0.89 mm	310.3	17.74	68.13	31.87	25.00 / 60.00
# 50	0.30 mm	211.9	12.11	80.24	19.76	5.00 / 30.00
# 100	0.15 mm	162.3	9.28	89.52	10.48	0.00 / 10.00
# 200	0.07 mm	110.4	6.31	95.83	4.17	0.00 / 5.00
Fondo	0.01 mm	72.9	4.17	100.00	0.00	0.00 / 0.00

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
P. Especif. de Masa Seco ( $\text{gr/cm}^3$ )	2.643
P. Especif. de Masa SSS ( $\text{gr/cm}^3$ )	2.682
P. Especif. de Masa Aparente ( $\text{gr/cm}^3$ )	2.752
P. Unitario Compactado ( $\text{kg/m}^3$ )	1828
P. Unitario Suelto ( $\text{kg/m}^3$ )	1580
Humedad de absorción (%)	1.5
Tamaño Máximo	-
Tamaño Máximo Nominal	-
Módulo de Fineza	3.28
% < Malla N° 200 (0.75 $\mu\text{m}$ )	4.29

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

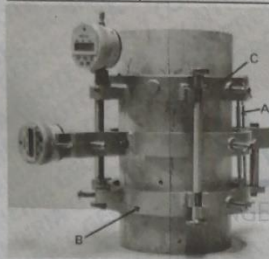
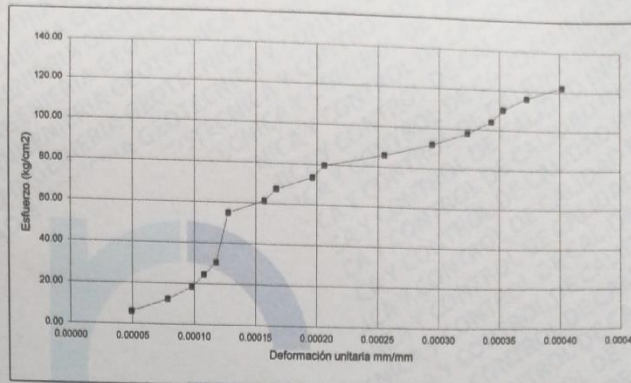


INGEOCONTROL SAC		
REALIZADO POR	VERIFICADO POR	AUTORIZADO POR
Nombre y firma: 	Nombre y firma:  Noemí C. Sánchez Huamán INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196029 INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.	Nombre y firma:  Jony C. Gutiérrez Abanto GERENTE GENERAL INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.

	<b>FORMATO</b>		Código	AE-FO-125
	<b>MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL CONCRETO</b>		Versión	01
			Fecha	30-04-2018
			Página	1 de 1
PROYECTO	: Incorporación del Grafeno para mejorar el comportamiento mecánico a compresión del concreto $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , Lima 2019		REGISTRO N°:	IGC19-LEM-414-26
SOLICITANTE	: Alejandro Aliaga Parra / Maycol Contreras Gamboa		REALIZADO POR	: R. Leyva
CÓDIGO DE PROYECTO	: ---		REVISADO POR	: J. Gutiérrez
UBICACIÓN DE PROYECTO	: ---		FECHA DE ENSAYO	: 03/12/19
FECHA DE EMISIÓN	: 03/12/19		TURNO	: Diurno
Tipo de muestra	: Concreto endurecido			
Presentación	: Especímenes cilíndricos de 4" x 8"			
F'c de diseño	: 210 kg/cm <sup>2</sup>			

**MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO ASTM C469**

Deformación Unitaria mm/mm	Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup>
0.00005	6.12
0.00008	12.24
0.00010	18.36
0.00011	24.48
0.00012	30.59
0.00013	55.07
0.00016	61.19
0.00017	67.31
0.00020	73.43
0.00021	79.55
0.00025	85.67
0.00029	91.78
0.00032	97.90
0.00034	104.02
0.00035	110.14
0.00037	116.26
0.00040	122.38



Fuente: ASTM C496

**DATOS DE LA MUESTRA:**

Identificación : PROBETA N°1 CON 0.08% DE GRAFENO  $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$   
Método de curado utilizado : Sumergido en agua  
Fecha de vaciado : 05/11/2019  
Edad : 28 días

RESULTADOS	
MÓDULO DE ELASTICIDAD	
Módulo $E_c \text{ kg/cm}^2$	259,385
Cte. Elás. $f_c \text{ Ult.}$	14,654
Cte. Elás. $f_c \text{ Nomin.}$	17,899

**OBSERVACIONES:**

- \* Muestras elaboradas y curadas por el SOLICITANTE
- \* Las muestras cumplen con las dimensiones dadas en la norma de ensayo
- \* Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento sin la autorización escrita de INGEOCONTROL

INGEOCONTROL SAC			
TECNICO LEM	D:	JEFE LEM	D:
Nombre y firma:	M:	Nombre y firma:	M:
	A:	 <b>Noemí C. Sánchez Huamán</b> INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196029 INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.	A:
		COC - LEM	D:
		Nombre y firma:	M:
		 <b>Jony C. Gutiérrez Abanto</b> GERENTE GENERAL INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.	A: