

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL



Evaluación del comportamiento de las propiedades físico-mecánicas de concreto de alta resistencia $F'_c = 500 \text{ kg/cm}^2$, incorporando nanoplaquetas de grafeno con aplicación de ondas ultrasónicas

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

AUTOR

Kevin Paul Guevara Rimarachin

ASESOR

Juan Jacobo Sanchez Bautista

<https://orcid.org/0000-0003-2820-8789>

Chiclayo, 2024

**Evaluación del comportamiento de las propiedades físico-mecánicas
de concreto de alta resistencia $F'c = 500 \text{ kg/cm}^2$, incorporando
nanoplaquetas de grafeno con aplicación de ondas ultrasónicas**

PRESENTADA POR

Kevin Paul Guevara Rimarachin

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO CIVIL AMBIENTAL

APROBADA POR

Jose Alfredo Rolando Cespedes Deza

PRESIDENTE

Gian Franco Perez Garavito

SECRETARIO

Juan Jacobo Sanchez Bautista

VOCAL

Dedicatoria

A mí mismo, por mi esfuerzo y perseverancia en la incansable búsqueda de conocimiento. Así mismo, por la resiliencia para afrontar las situaciones complejas que se presentan durante el crecimiento y desarrollo.

A mi padre Evaristo Guevara Bustamante y a mi madre María Berbelinda Rimarachín Idrogo por creer en mí y apoyarme en cada iniciativa, actividad y proyecto, tanto académico como personal.

Agradecimientos

Un especial agradecimiento a la Bach. Karol Elizabeth Guevara Rimarachín por sus enseñanzas y constante apoyo en la corrección de la redacción de la presente investigación.

RESIS SIN ANEXOS FINAL FINAL

INFORME DE ORIGINALIDAD

25%	24%	7%	10%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	5%
2	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	4%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
6	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	rinacional.tecnm.mx Fuente de Internet	<1%

Índice

Resumen	6
Abstract	7
Introducción	8
Revisión de literatura	12
Materiales y métodos	47
Resultados y discusión	79
Conclusiones	96
Recomendaciones.....	97
Referencias	98
Anexos.....	100

Resumen

El crecimiento poblacional ha generado necesidades en infraestructura, como vivienda y transporte. Para satisfacer la demanda y requerimientos técnicos, se necesita colocar concreto de alta resistencia y a edades menores. La calidad del concreto depende de varias variables que están en función de los materiales que lo componen. En el mercado existen opciones como aditivos, fibras y materiales con actividad puzolánica para mejorar sus propiedades. No obstante, su uso puede tener consecuencias negativas como pérdidas económicas, controles de calidad exhaustivos y explotación de recursos naturales.

Esta investigación busca determinar si la adición de nanoplaquetas de grafeno en porcentajes de 0.27% y 0.33% mejora las propiedades físico-mecánicas y facilita la elaboración del concreto de alta resistencia mediante la aplicación de ondas ultrasónicas. Con ello, se busca aportar al campo de los nanomateriales y la innovación de los materiales de construcción, abriendo nuevas puertas para los investigadores interesados en este ámbito.

La dosificación más efectiva obtenida fue la adición del 0.27% de nanoplaquetas de grafeno, tanto para las propiedades físicas como mecánicas. Además, se llevó a cabo un ensayo de durabilidad que permitió concluir que la adición de nanoplaquetas de grafeno al concreto $F'c=500 \text{ kg/cm}^2$, con la aplicación de ondas ultrasónicas, no produce cambios significativos en sus propiedades. Por lo tanto, esta solución no es viable debido a los altos costos de importación de la máquina de ultrasonidos y las nanoplaquetas de grafeno.

Palabras clave: Concreto, concreto de alta resistencia, nanotecnología, nanoplaquetas de grafeno, ondas ultrasónicas.

Abstract

The population growth has generated infrastructure needs such as housing and transportation. To meet the demand and technical requirements, high-strength concrete needs to be placed at younger ages. The quality of concrete depends on various variables that are influenced by its constituent materials. In the market, there are options such as additives, fibers, and materials with pozzolanic activity to improve its properties. However, their use can have negative consequences such as economic losses, rigorous quality controls, and exploitation of natural resources.

This research aims to determine whether the addition of graphene nanoplatelets at percentages of 0.27% and 0.33% enhances the physico-mechanical properties and facilitates the production of high-strength concrete using ultrasonic waves. It seeks to contribute to the field of nanomaterials and innovation in construction materials, opening new avenues for researchers interested in this area.

The most effective dosage obtained was the addition of 0.27% of graphene nanoplatelets for both physical and mechanical properties. Furthermore, a durability test was conducted, which concluded that the addition of graphene nanoplatelets to concrete with a strength of $F'c=500$ kg/cm², using ultrasonic waves, does not produce significant changes in its properties. Therefore, this solution is not viable due to the high costs of importing the ultrasound machine and graphene nanoplatelets.

Keywords: Concrete, high-strength concrete, nanotechnology, graphene nanoplatelets.

Introducción

Como se ha observado anteriormente sobre el estudio del concreto, este presenta ciertas deficiencias ya que es un material compuesto en el cual su calidad depende de una serie de variables que están en función de los materiales que lo componen [1]. Dentro de la industria se ha innovado con diferentes tipos de soluciones, tales como aditivos, fibras, materiales con actividad puzolánica, etc. [2], todas ellas en busca de mejorar algunas propiedades del concreto; en estado endurecido: la compresión, flexión y tracción, y en estado fresco se busca controlar la trabajabilidad, exudación y otros más. Además de buscar mejorar dichas propiedades, se busca la facilidad de lograr concretos de una mayor o mejor resistencia con un menor costo en la cantidad de materiales usados y en los procesos de control de calidad requeridos.

La industria de la construcción está teniendo un crecimiento importante a nivel internacional, esto debido al crecimiento de la población, que deriva en el aumento de las necesidades sociales en todos los ámbitos; se proyecta que el PBI global de esta industria crezca un promedio de 4.5% para el 2025, superando los sectores manufactureros y de servicios. Debido a este crecimiento importante surgen necesidades de infraestructura en el ámbito de vivienda, transporte y otros; por consiguiente, se necesita colocar concretos en servicio a edades menores para reducir el tiempo de construcción, edificaciones altas reduciendo las secciones de los elementos estructurales para aprovechar los espacios, superestructuras, por ejemplo, de puentes los cuales poseen abundante luz con apoyos seguros y alejados del curso de los ríos, y sin duda alguna la mejora en la durabilidad de los elementos estructurales [3]. Teniendo en cuenta dichas necesidades de infraestructura, los concretos de alta resistencia aparecen como una solución eficaz. Este tipo de concreto contribuye en la reducción de inversiones económicas debido a: (1) la optimización en el requerimiento de cemento y de acero para estructuras armadas, (2) se reducen los controles de calidad, (3) se reducen los vertederos de construcción producto de demoliciones a edad temprana o por término de la vida útil de una infraestructura [4]. Además del ámbito económico, la introducción de la nanotecnología en la construcción deriva en la disminución de las emisiones producto de la sobre explotación de los recursos naturales para la producción de cemento [5].

Así mismo, el mercado del grafeno proyecta un crecimiento del 38.5% para el periodo 2018-2024, a pesar de que los países europeos y asiáticos dominan este mercado debido al gran presupuesto destinado a la investigación, los costos de producción han ido disminuyendo, por lo cual resulta cada día más sostenible e industrializable [6].

Ante la realidad problemática presentada nace la pregunta de investigación, ¿La adición de nanoplaquetas de grafeno al concreto de alta resistencia mediante la aplicación de ondas

ultrasónicas mejora las propiedades físico-mecánicas del concreto facilitando su elaboración?, planteándonos la siguiente hipótesis, las nanoplaquetas de grafeno y el uso de ondas ultrasónicas mejoran considerablemente las propiedades físico-mecánicas del concreto, facilitando la elaboración de concretos de alta resistencia.

En cuanto a la justificación de la presente investigación, la principal radica en el ámbito científico, la constante innovación es de suma importancia tanto en la creación de nuevos materiales con mejores propiedades, así como también la búsqueda de la mayor cantidad de aplicaciones posibles para los mismos. Actualmente las empresas e institutos dedicados al desarrollo de nuevos materiales se encuentran en la búsqueda de investigadores que quieran experimentar y buscar nuevas aplicaciones para los materiales que producen; en la pequeña y naciente industria de la comercialización del grafeno en sus diferentes presentaciones, nanotubos, nanoplaquetas, etc., se encuentran empresas tales como “OCSiAl” las cuáles brindan muestras de dichos materiales a aquellos investigadores que quieran buscar nuevas y novedosas aplicaciones. Como resultado del creciente número de investigaciones la aplicación de nanotecnología en el desarrollo de materiales supone una evolución en el desarrollo de concreto de altas prestaciones [7]. Así mismo, en la Ingeniería Civil del Perú existen algunas universidades que ya han investigado respecto a los nanomateriales, resultado de estas investigaciones existe un registro de recomendaciones que incitan y abren las puertas a experimentar con nuevos tipos de materiales, variando el tipo de cemento, aditivos, etc. Es por ello que esta investigación pretende aportar al creciente grupo de investigadores que se encuentran en este mundo de la nanotecnología y los nanomateriales, siendo las trascendentales exploraciones en el campo de la aviación y/o polímeros, la innovación en los materiales de construcción se tiene que poner a la par con más investigación por parte de Ingenieros Civiles. Ahora bien desde un enfoque ambiental, para la sociedad los materiales de construcción cumplen con su función, sin embargo, si investigamos un poco más a detalle nos encontraremos que detrás de ello, estamos al borde de la sobreexplotación de los recursos naturales, la sobreexplotación aumenta aún más cuando se necesita de concretos de alta resistencia, debido a la necesidad de mayores cantidades de cemento; en consecuencia se producen grandes impactos ambientales en los diferentes medios que lo caracterizan, así mismo, el constante crecimiento de residuos de construcción, tanto por la demolición de estructuras antiguas, así como también nuevas que por diferentes razones no alcanzan las resistencias de diseño, suman de forma aún más crítica y preocupante. Para fabricar concretos altamente resistentes no solamente se requiere de mayor cantidad de cemento, sino también del uso de plastificantes o superplastificantes, los cuáles debido a sus procesos de producción también son contaminantes

para el medio ambiente. De la misma forma en el ámbito social, según el comité del ACI 363 los concretos de alta resistencia en su mayoría necesitan de una o más adiciones, tales como las microsílices, sin embargo, la OSHA (Occupational Safety and Health Administration) y la ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists), catalogan al cuarzo y a las sílices como materiales que son de riesgo y peligrosos para la salud de los individuos, por ello los trabajadores que se exponen en el manejo de este material necesitan de protección, sin embargo, debido a la ausencia de exigencia de implementación de normas en seguridad y salud, y a su vez supervisión, los trabajadores que participan de estos procesos no cuentan con los equipos necesarios, poniendo su salud en riesgo. Finalmente, en el ámbito económico la necesidad de secciones cada vez más grandes para aumentar las propiedades mecánicas del concreto conduce a pérdidas económicas por los mayores requerimientos de material, así como también los mayores requerimientos de acero de refuerzo. Así mismo, la fabricación de concreto altamente resistente requiere de controles de calidad exhaustivos los cuales resultan en un aumento de costos. Si bien es cierto la mayoría de los materiales en la construcción son irremplazables, para producir concretos de alta resistencia se necesita de algún tipo de aditivo, se ha visto con el tiempo que los aditivos han ido evolucionando, por ende, la nanotecnología no tardará en encontrarse a la par a nivel de costos para competir en este mercado.

Para concluir el objetivo general de la presente investigación es evaluar el comportamiento de las propiedades físico-mecánicas del concreto $F'c= 500 \text{ kg/cm}^2$ utilizando nanoplaquetas de grafeno con la aplicación de ondas ultrasónicas para facilitar la obtención de concretos de alta resistencia. Y los objetivos específicos son:

- Determinar el tiempo y potencia óptimos para la aplicación de ondas ultrasónicas con el fin de conseguir una adecuada dispersión de nanoplaquetas de grafeno.
- Evaluar la resistencia a la compresión del concreto $F'c=500 \text{ kg/cm}^2$ con la adición de nanoplaquetas de grafeno en dos diferentes porcentajes y la aplicación de ondas ultrasónicas.
- Evaluar la resistencia a la flexión del concreto $F'c=500 \text{ kg/cm}^2$ con la incorporación de nanoplaquetas de grafeno en dos diferentes porcentajes y la aplicación de ondas ultrasónicas.
- Evaluar la mejora en las propiedades físicas del concreto endurecido con el porcentaje más óptimo de nanoplaquetas de grafeno.
- Evaluar la durabilidad del concreto con el porcentaje más óptimo de nanoplaquetas de grafeno.

- Determinar las ventajas y desventajas del uso de nanoplaquetas de grafeno en un concreto de alta resistencia.
- Elaborar el costo producción del concreto patrón y con uso de nanoplaquetas de grafeno en sus diferentes porcentajes.

Revisión de literatura

▪ Antecedentes

En 1998 [8], reportaron la fabricación de una cerámica nano-SiC mediante el método de prensado en caliente. Los pasos de preparación implicaron el uso de polvos de nano-SiC dispersantes de un tamaño medio de 80 nm, y nanotubos de carbono con un diámetro de 30-40 nm en alcohol butílico, usando un agitador ultrasónico durante 15 minutos. La resistencia a la flexión en tres puntos y la tenacidad a la fractura del material compuesto tuvieron un incremento de alrededor del 10% con respecto a la cerámica monolítica de SiC que se fabricó con el mismo proceso. En los resultados se pudo apreciar que cuando los nanotubos de carbono se mezclan con polvos de nano-SiC por el método de solución de alcohol butílico y agitación ultrasónica, los nanotubos se dispersan en los polvos de nano-SiC obteniendo una mejor adición entre ellos.

López [9], investigó la funcionalización química de nanorefuerzos de carbono 1D y 2D y su efecto sobre propiedades termo-mecánicas en una resina epóxica, para ello tanto los nanomateriales de carbono 1D y 2D se funcionalizaron y sintetizaron respectivamente. Los NTC 1D obtenidos de una marca comercial fueron funcionalizados con el método de dos pasos, donde se aplica energía ultrasónica, mientras que los NTC 2D fueron sintetizados mediante microondas en condiciones ácidas. Se observó que el nanocompuesto reforzado con la combinación de NTC 1D destacó en dos pruebas mecánicas, para la resistencia al impacto en la prueba Izod y el módulo de almacenamiento (E') en el análisis mecánico dinámico (DMA), los nanocompuestos adquirieron mejoras de 109% y 127%, respectivamente. En conclusión, los resultados de esta investigación mostraron el alto rendimiento de la resina epóxica reforzada con nanoestructuras 1D y 2D, donde la aplicación de ondas ultrasónicas en la estructura 1D primó en la mejora de las propiedades mecánicas por sobre la aplicación de microondas.

Choque [10], realizó una investigación realizando ensayos en una muestra de 90 probetas cilíndricas y 30 prismáticas incluyendo una muestra patrón con un diseño $F'c=210$ kg/cm², además de especímenes que tenían una integración de dosis en 0.1%, 0.2%, 0.3% y 0.4% de grafeno en relación al peso del cemento, los cuáles estuvieron sometidos a ensayos de flexión, compresión y tracción, valuando la resistencia a 7, 14 y 28 días de edad de compresión, 7 días para flexión y 28 días para tracción. En estos ensayos se obtuvo que, considerando un diseño que está en constante control y es cuidadoso comprobándose que el diseño de mezcla patrón procede a ser factible para usarse y ante todo con una adición de 0.4% de grafeno respecto al peso del cemento, mejorar significativamente la resistencia a

la compresión, flexión y tracción diametral; para la compresión a los 7 días en la muestra patrón se obtuvo un promedio de 164.21 kg/cm² y con 0.4% de grafeno 199.98 kg/cm², a los 14 días la muestra patrón obtuvo un promedio de 187.60 kg/cm² y con 0.4% de grafeno 229.43 kg/cm², a los 28 días en la muestra patrón se obtuvo un promedio de 211.28 kg/cm² y con 0.4% de grafeno 283.12 kg/cm²; para la flexión a los 7 días en la muestra patrón se obtuvo 19.06 kg/cm² y con 0.4% de grafeno 25.1 kg/cm², a los 28 días en la muestra patrón se obtuvo 39.53 kg/cm² y con 0.4% de grafeno 44.6 kg/cm²; para la resistencia a la tracción a los 7 días en la muestra patrón se obtuvo 20.70 kg/cm² y con 0.4% de grafeno 25.90 kg/cm², a los 28 días en la muestra patrón se obtuvo 41.00 kg/cm² y con 0.4% de grafeno 46.30 kg/cm².

Apaza y Quispe [11], investigaron las mejoras que producen en el concreto $F'c=300$ kg/cm² la adición de Nanotubos de Carbono de Pared Múltiple (MWNT's) a 2 mezclas con cementos Yura tipo IP y Wari tipo I en porcentajes de 0.05%, 0.10% y 0.15% y con una adición de superplastificante para el concreto patrón. Para ello especificaron estos materiales y evaluaron el proceso de dispersión de Nanotubos de Carbono en la mezcla mediante sonicación. Se realizaron ensayos al concreto en estado fresco: asentamiento, y en estado endurecido: compresión, tracción, flexión, permeabilidad y módulo de elasticidad a los 28 días. En los resultados del ensayo de asentamiento para cemento Yura tipo IP con una adición de 0.05% de MWNT's se obtuvo una reducción de 1.15%, con una adición de 0.10% se obtuvo 12.2% y con 0.15% se obtuvo 60.74%; para cemento Wari tipo I con adición de 0.05% se obtuvo 6.91% , con 0.10% se obtuvo un 12.00% y finalmente con 0.15% se obtuvo 18.55%; como resultado de ensayos sobre el concreto en su estado fresco podemos concluir que el SLUMP disminuye a medida que se va incrementando el porcentaje de MWNT's, ya que estos producen menor liberación de flóculos de cemento produciendo una menor fluidez en la mezcla, así mismo, se considera como óptima la adición de 0.05% de MWNT's debido a que no presenta variación significativa respecto a la mezcla patrón, y al comparar los resultados con distinto tipo de cemento los MWNT's poseen mayor impacto perjudicial en mezclas de cemento Yura tipo IP, estos resultados son coherentes debido a que los MWNT's tienen una gran área específica lo que produce que los Nanotubos tengan una mayor cabida de absorción de agua, es así que, con forme crece la cantidad de Nanotubos, la mezcla pierde trabajabilidad debido a que los Nanotubos absorben mayores cantidades de agua. En los resultados del ensayo a compresión el primer criterio tomado en cuenta es que las probetas de tamaño 4"x8" poseen una resistencia sobresaliente a las probetas con dimensión de 6"x12" por ende se aplicó un factor de

corrección de 0.9 a los resultados que se obtendrán en las probetas con dimensiones de 4"x8"; una vez realizados los ensayos, para cemento Yura tipo IP se obtuvo mejoría de 9.48% para una adición de 0.05%, 13.39% para una adición de 0.10% y un 8.16% con una adición de 0.15%, siendo así, el porcentaje de 0.10% produce el mejor resultado; para cemento Wari tipo I una mejora del 10.05 % para una adición de 0.05%, 3.21 % para una adición de 0.10% y un -3.65% con una adición de 0.15%, siendo así, el porcentaje de 0.05% produce el mejor resultado respecto a la muestra patrón con plastificante. Como resultado de los ensayos de resistencia a la comprensión los autores concluyen que los aumentos no son considerables comparado con los aditivos de micro sílice o Nanosílice que se comercializan en conjunto con una porción de superplastificante, en su investigación el concreto con MWNT's no cuenta con superplastificante alguno, por ende, se plantea como hipótesis para investigaciones futuras que la adición de un superplastificante podría tener aumentos más considerables en la resistencia. En el ensayo a tracción para el cemento Yura tipo IP se obtuvo una mejora de 18% para una adición de 0.05%, 3.83% para una adición de 0.10% y -5.26% para una adición de 0.15%, por lo que el porcentaje de adición óptimo es de 0.05%; para el cemento Wari tipo I, se obtuvo una mejora de 14.02% para una adición de 0.05%, 16.37% para una adición de 0.10% y 8.72% para una adición de 0.15%, por lo que el porcentaje de adición óptimo para este cemento es de 0.10%. En base a la correlación de los resultados de resistencia a compresión y tracción se observa que una gran cantidad de NTC genera conglomeraciones en la mezcla de concreto disminuyendo su resistencia. En el ensayo de resistencia a la flexión para una adición de 0.05% se obtuvo una mejora de 20.87% para cemento Yura tipo IP y 1.23% para cemento Wari tipo I, con una adición de 0.10% se obtuvo una mejora de 9.83% para cemento Yura tipo IP y 15.31% para cemento Wari tipo I, finalmente para una adición de 0.15% se obtuvo una mejora de 4.63% para cemento Yura tipo IP y 11.21% para cemento Wari tipo I. En el ensayo de permeabilidad se obtuvo una mejora de 82.72% para la mezcla con cemento Yura tipo IP y 54.39% con la mezcla elaborada con cemento Wari tipo I, por lo que se concluye que los MWNT's reaccionan de una manera más adecuada en presencia de la puzolana, de tal modo que se sellan mejor aquellos espacios vacíos y que el porcentaje óptimo de adición es de 0.10%. En el ensayo de Módulo de Elasticidad se observa que la adición de MWNT's no afectando considerablemente el resultado, obteniendo un aumento de 6% para mezclas con cemento Yura tipo IP y de 0.31% para cemento Wari tipo I. Finalmente el autor recomienda para las futuras investigaciones que el proceso de sonicación se debe realizar a una temperatura entre 20-30°C por 20 minutos, estudiar el comportamiento de los MWNT's en distintas

resistencias para evaluar la reducción de la cantidad de cemento, estudiar la dispersión con una potencia menor de sonicación para evitar la separación violenta de los nanotubos, estudiar dosificaciones en el orden de 0.005% al 0.01% para valorar si continua con tendencia a resistencias altas con pequeñas adiciones y evaluar las propiedades con otro tipo de cemento.

Nastari [12], analizó cómo se comporta el concreto producido con la adición de Nanotubos de Carbono de Pared Múltiple (MWNT's) en un 0.30% de la masa el cemento, investigando el efecto en las propiedades de resistencia a la penetración de cloruros y agua por absorción y permeabilidad, así como también aquellas propiedades resistentes a la tracción por compresión diametral y a la compresión; se estudiaron 12 formas de dispersión de CNT en un medio acuoso. Además, se utilizó una frecuencia nominal de ultrasonido de 40kHz y una potencia de 100w por un tiempo de 10, 20, 40 y 60 minutos, concluyendo en este aparatado que la muestra "AM3" que contenía agua y aditivo a base de policarboxilato (Tec Flow 8000 – al 1% en relación a la masa del agua) obtuvo los resultados más óptimos, teniendo la siguiente dosis: 10 g de agua + 0.03g NTC + 0.1 g de aditivo, y un tiempo de sonicación de 40 minutos ya que después de 24 horas no presenta decantación. Finalmente se concluye que con las consideraciones tomadas se obtuvo una mejora del 36% y 19% en ganancia de resistencia de compresión y tracción respectivamente; así mismo, se observó que los CNT's influyen en la reología del hormigón y hacen que el asentamiento sea menor por lo tanto se hace esencial el uso de un plastificante o superplastificante; también, la adición de nanotubos disminuyó la absorción por inmersión y aumentó la absorción por succión capilar debido al refinamiento de los poros; además, el concreto mostró una baja permeabilidad.

Navarro y Forero [13], en su investigación incorporaron nanotubos de carbono de pared múltiple a 9 muestras para evaluar su resistencia a la compresión, la resistencia de diseño usada fue de un $F'_c=210 \text{ kg/cm}^2$, para ello se elaboraron 3 muestras patrón, 3 más con 0.5% de nanotubos y 3 más con 0.3% con respecto al volumen de cemento portland. La incorporación de nanotubos de carbono se realizó de manera directa a la mezcla con un control en el curado de 28 días. Para una adición de 0.3% de nanotubos de carbono se obtuvo un aumento de resistencia de 11.7%, para 0.5% se obtuvo un aumento de resistencia de 10.2%. Se observa que la proporción óptima de nanotubos de carbono en esta investigación fue de 0.3%, además de ello se hizo notar la necesidad de aplicar un método dispersante ya que al ser adicionado manualmente en la mezcla la fluidez se vio afectada reduciendo la manejabilidad, por ello se recomienda el uso de un superplastificante. Los nanotubos de

carbono utilizados poseían un tamaño de 100um de longitud, un diámetro de hasta 20 nm, y la propiedad más importante, un área de contacto de 165 m²/g lo que causó que las moléculas de agua tengan más superficie para hidratar y por ende la mezcla pierda manejabilidad. Se recomienda que uno de los indicadores a tomar en cuenta para encontrar el tiempo de dispersión óptima sea la verificación visual de que a las 24 h de haber sido dispersados los nanotubos de carbono aún se encuentren dispersos

Marcondes, Medeiros, Marques y Helene [14], en su investigación evaluaron la adición de NTC de pared múltiple a concreto de cemento Portland tipo CPV-ARI en un porcentaje de 0.30% con respecto a la masa del cemento; con un enfoque en analizar la importancia de la dispersión de los NTC en el agua usando el ultrasonido. Se elaboraron tres mezclas de concreto patrón, dos con una serie previa de dispersión en agua y aditivo superplastificante a base de policarboxilato con el uso de ondas ultrasónicas y las restantes sin dispersión. Realizando ensayos que sean resistentes a la tracción, compresión y absorción del agua. Los NTC usados tenían un diámetro promedio de 9.5 nm, un largo promedio de 1.5 um, una superficie de 250-300 m²/g. Además, de la dosis recomendada de aditivo superplastificante se tomó un valor promedio de 1% sobre el peso del cemento. La sonicación se realizó por 40 minutos con frecuencia nominal de 40 kHz y una potencia de 100W, tomando en cuenta que la solución dispersa se utilizó por un aproximado de 30 minutos después de la sonicación. Respecto a los resultados en la influencia de la consistencia se pudo observar que la muestra patrón tuvo un SLUMP de 20 cm, la muestra con dispersión 18cm y la muestra sin dispersión 7cm, mostrándose una reducción considerada. Entre los resultados sobre la resistencia a la compresión con un 95% de confianza se observó que la muestra con dispersión incrementó un 37% de resistencia, y la muestra sin dispersión un 17% con respecto a la muestra patrón. En los ensayos de resistencia a la tracción la muestra con dispersión mostró un aumento de 18 a 24% en base a la resistencia de la muestra patrón, así mismo, se notó que, en la muestra sin dispersión, el colocar los nanotubos directamente a la mezcla en el trompo produjo una mayor desviación debido a que la distribución tuvo menor uniformidad. Finalmente, partiendo de estos ensayos se concluyó que la adición de NTC también pudo reducir la absorción de agua relativo a la inmersión y el ensayo de la pipa, dónde la dispersión por ultrasonidos potencio considerablemente esta mejora en la reducción.

Gutiérrez, Morales, Chávez y Victória [6], realizaron una investigación científica del grafeno en la industria de la construcción, de la revisión literaria realizada, en la Universidad de Exeter se desarrolló un concreto con la adición de nanoplaquetas de grafeno,

con resultados de aumento en la resistencia a la compresión en un 146% y 79.5% en la resistencia a la flexión, así como también una disminución en la permeabilidad de agua del 400%, mejorando el rendimiento eléctrico y térmico. Recalaron que dichos resultados se obtuvieron mediante el uso de agua y colato de sodio tensioactivo como funcionalizante dispersor.

Yee K., Ghayesh M [15], destaca en su revisión que el uso de NPG se ha popularizado debido a su fácil y económica fabricación en comparación con los nanotubos de grafeno. Las NPG son una mezcla de monocapa de grafeno, multicapa (2-10 capas) y grafito nanoestructurado, lo que las convierte en un híbrido entre el grafito y el grafeno. En su estudio, se encontró que agregar una pequeña cantidad de NPG a diferentes materiales de matriz mejora la mecánica de estructuras de vigas, placas y láminas, reduciendo las deflexiones dinámicas y de flexión y aumentando los valores de carga de pandeo. Sin embargo, el comportamiento mecánico está influenciado por la geometría y el número de capas de las NPG. Se comprobó que un área de superficie más grande y con menos láminas de grafeno de una sola capa es más beneficioso. El grosor de la nanoplaquetas es el mayor contribuyente en las propiedades físicas y mecánicas. Aunque la adición de NPG parece ser favorable en general, los análisis experimentales demostraron que un mayor aumento en la cantidad de NPG puede degradar la estructura con respecto de otra con menor cantidad o incluso sin adición de nano placas debido a la aglomeración de las mismas en la estructura compuesta por la dispersión no uniforme. Además, la dispersión depende en gran medida de la fracción en peso de NPG utilizada, así como la duración del procedimiento de fabricación, las geometrías y el material de matriz de las NPG.

Por otro lado, **Jiang Z., Sevim O, Ozbulut O.** [16] profundizan en el estudio de los efectos de las NPG sobre las propiedades mecánicas de los compuestos cementosos con agregados gruesos. En la investigación se evaluaron 6 tipos de dispersión para las concentraciones de NPG que varían entre 0,025% y el 0,10% en peso del cemento. Se utilizó una técnica húmeda de dispersión que emplea una mezcla de alto cizallamiento y superplastificante a base de policarboxilatos en agua, junto con ultrasonidos con una potencia de 240W y una frecuencia de sonda de 10kHz. La primera muestra se sometió a 30 minutos de cizallamiento, la segunda a 60 minutos de cizallamiento y la tercera a 90 minutos de cizallamiento. Las muestras cuarta, quinta y sexta se sometieron al mismo tiempo de cizallamiento, pero con la adición de 15 minutos de ultrasonidos en cada una. Se concluyó que el uso de ultrasonidos junto con la mezcla de alto cizallamiento da lugar a láminas de grafeno de tamaño más pequeño, siendo más importante la aplicación de

ultrasonidos para reducir el tamaño de las escamas. A pesar que ninguno de los dos métodos generó defectos en las láminas, estos tampoco llegaron a exfoliar las NPG en menos capas. Asimismo, se concluyó que cuando se agregan NPG a la mezcla de hormigón en una dosis de 0,025%, se produce un aumento máximo del 17% en la resistencia a la compresión, mientras que no se observa un efecto significativo de los GNP en la resistencia a la flexión, pudiendo notar además que dosificaciones más altas dan como resultado una disminución en la resistencia.

Por su parte, **Du H., Pang S.** [17] investigaron la dispersión y estabilidad de las nanoplaquetas de grafeno en agua y su influencia en los compuestos de cemento. Para ello, se modificaron las dosis de dispersante y el tiempo de aplicación de ultrasonidos, mediante una medición cuantitativa de la absorbancia de luz a lo largo del tiempo, concluyeron que con 1 hora de sonicación y un 15% de dispersante con una proporción de 1% de NPG se mantiene estable durante 6 horas. Cabe destacar que la potencia de salida en el procesamiento fue de 210W con una frecuencia de 20kHz, debido a que una sonicación más prolongada produce resultados marginales y cambio en las propiedades físicas de las NPG entre otros. Asimismo, se reflejó que el refuerzo de las nano partículas se obtuvo mediante la unión física, obteniendo la duplicación de dureza, y este resultado concuerda con lo obtenido por los investigadores mediante las pruebas de intrusión de mercurio, ya que en la concentración de 1% de NPG se alcanzaron reducciones del 37% y el 30% en la porosidad efectiva y el diámetro crítico de los poros, respectivamente.

Papanikolaou I., Ribeiro de Souza L, Litina C., Al-Tabbaa A. [18] también estudiaron la dispersión de las nanoplaquetas en materiales compuestos de cemento, usando diferentes tratamientos superplastificantes, tales como lignosulfonato, naftaleno y dos policarboxilatos junto con ultrasonidos. La caracterización de NPG se realizó mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), análisis termogravimétrico (TGA) y análisis de difracción de rayos X (XRD). El efecto de los superplastificantes en la dispersión se midió con la potencial zeta, mientras que la espectroscopía UV-Vis se utilizó para examinar el efecto de la dosis de superplastificante. Los resultados demostraron que el tratamiento mecánico aislado mediante ultrasonidos en un medio acuoso era insuficiente para dispersarlas homogéneamente. También se observó que los superplastificantes a base de lignosulfonato y naftaleno que funcionan por repulsión electrostática, no son suficientes para lograr una dispersión homogénea y estable. En cambio, los superplastificantes a base de policarboxilato, que actúan mediante un mecanismo de impedimento estérico, resultaron más eficaces. La investigación pudo demostrar que los policarboxilatos son mejores para

mantener la fluidez de la pasta de cemento bajo los efectos del aumento en las concentraciones de NPG.

Un estudio realizado por **Ismail F. y su equipo** [19] evaluó el comportamiento de un concreto de alto desempeño con nanoplaquetas de grafeno (NPG) en condiciones de curado ambiental. Se utilizaron diferentes dosis de NPG, desde 0.02% hasta 0.50% en peso del cemento, y se evaluaron las propiedades mecánicas del concreto a diferentes tiempos de madurez (3, 7, 28, 56 y 90 días). Durante la primera fase del estudio se analizó el comportamiento de hidratación de las NPG y del concreto mediante espectroscopia infrarroja transformada de Fourier. Los resultados mostraron que la adición de NPG aumentó el grado de carbonización, pero no se desarrollaron nuevas fases cristalinas. Se encontró que el módulo de elasticidad, la resistencia a la compresión, la tracción directa, la flexión, la tenacidad a la flexión y el índice de ductilidad mejoraron con la adición de hasta un 0.10% de NPG, mientras que las adiciones de 0.30% y 0.50% resultaron en una disminución de estas propiedades. Se observó que la adición de 0.02% de NPG mejoró la resistencia a la compresión, tracción directa, flexión y módulo de elasticidad en un 20.82%, 30.05%, 13.16% y 21.70% respectivamente, a los 28 días. También se mejoró la tenacidad a la flexión y el índice de ductilidad en un 79.9% y 43.10% respectivamente. Además, se encontró que la capacidad de deformación por compresión y tracción mejoró en un 18.22% y 41% respectivamente. Los autores concluyeron que estas mejoras se deben a que las NPG llenaron los poros del concreto, logrando una matriz de concreto más compacta y robusta. En resumen, los resultados sugieren que el curado ambiental con NPG es una alternativa práctica y económica para mejorar las propiedades mecánicas del concreto.

En la investigación realizada por **Tao J.** [20] y su equipo se estudió el efecto de las nanoplaquetas de grafeno (NPG) en los compuestos piezorresistivos a base de cemento, que son materiales autosensibles necesarios para el desarrollo de edificios inteligentes. Se utilizó un método de cuatro sondas para evaluar las propiedades piezorresistivas de los morteros de cemento modificados con NPG. Los resultados indican que la incorporación de NPG puede densificar la microestructura y mejorar las propiedades mecánicas de los morteros. La conductividad eléctrica varía dependiendo del contenido de NPG [12]. Además, se encontró que los mecanismos de reacción piezorresistiva están asociados con la deformación elástica y la conductancia interfacial entre las NPG y la matriz material [12]. El estudio concluye que los hallazgos pueden facilitar el camino en el desarrollo de materiales de construcción piezorresistivos con función de autodetección para su uso en edificios e infraestructuras inteligentes.

▪ Bases Teóricas

❖ Concreto

El concreto es un material que contiene material cementante, así como agregado y agua. El cemento al ser hidratado produce la adhesión química entre los componentes. En cuanto a la totalidad del volumen del concreto estructural el agregado representa entre el 60 a 75%, el cemento entre 7 a 15% y el aire atrapado entre 1 a 3% [21].

El concreto es sumamente resistente a la compresión, sin embargo, la resistencia a la tracción es poca, por ello al realizar cálculos, normalmente se desprecia dicha propiedad.

En el Perú, el concreto es el material de construcción que prima por sobre otros, su calidad depende del conocimiento de los materiales que lo componen, así como también de la mano de obra que lo elabora. La pasta y el gel se definen como elementos constituyentes del concreto. En el concreto se tienen dos fases, la fase continua es la pasta, la cual nace de la combinación química del agua con el material cementante; la fase discontinua es conocida como el agregado, debido a que las partículas están dispersas a diferentes espesores de pasta endurecida. De lo mencionado, la pasta tiene un rol muy significativo en el concreto, ya que rellena los vacíos existentes con el agregado antes de la etapa de endurecimiento.

En la Norma E-060 se define lo siguiente:

- Concreto: es la mezcla de cemento, cemento portland o hidráulico con agregado grueso, agregado fino y agua, con la posibilidad de utilizar o no aditivos.
- Concreto estructural: aquel concreto que se utiliza para propósitos de estructuras, se incluye el concreto simple y armado.
- Concreto armado o reforzado: es un concreto estructural reforzado con acero que puede ser pre esforzado si así lo solicitan los requerimientos, especificada en los Capítulos del 1-21.
- Concreto simple: Es un tipo de concreto estructural sin refuerzo o con un refuerzo menor a la cuantía mínima exigida por la norma.

Para desarrollar la presente investigación se empleará concreto simple. Este tipo de concreto se utiliza en la construcción de múltiples tipos de estructuras tales como veredas, autopistas, losas deportivas, entre otros.

❖ Concreto de alta resistencia

El concreto de alta resistencia se define como aquel en el que su resistencia a la compresión ($F'c$) es superior a los 420 kg/cm^2 (6000 psi) [21].

Los concretos altamente resistentes se obtienen de mezclas con relaciones w/c muy bajas, con el uso superplastificantes, micro sílice o el uso de agregados resistentes, angulosos y de superficie rugosa. Una de sus características diferenciadoras del concreto convencional es que tienen un volumen de vacíos menor.

Para los ensayos de resistencia a la compresión de concretos de alta resistencia, Rivva [22] menciona que hasta los 28 días se obtiene una notable ganancia de resistencia, sin embargo, diversos investigadores sugieren que los ensayos se realicen de 56 a 90 días, esto por la tardía acción de la micro sílice utilizada en concretos altamente resistentes. En el presente proyecto, debido al reemplazo de micro sílices u otros por nanoplaquetas de grafeno, se optó por realizar la prueba de resistencia a la compresión y flexión a edades de 7 y 28 días, ya que el criterio de 56 a 90 días no aplica para este tipo de adición.

El Reglamento Nacional de Edificaciones, apartado 21.3.2 concreto en elementos resistentes a fuerzas inducidas por sismo, precisa que la resistencia a compresión del concreto F'_c , no debe ser menor que 21MPa y no mayor a 55MPa, por ende, se optó por tomar este criterio para los límites de resistencia de la presente investigación.

El concreto altamente resistente se considera como un concreto especial, la empresa UNICON menciona que para su elaboración se demanda mayores estudios y experimentación, así mismo un mayor control de calidad en comparativa con el concreto convencional, en primera instancia es fundamental conocer las propiedades del material a usar para su diseño seguidamente de un control exhaustivo de sus propiedades durante la técnica de producción a elegir, transporte, colocación y curado. Siendo así el Reglamento Nacional de Edificaciones en la Norma E-060 da algunas disposiciones de control de calidad para concretos de alta resistencia:

- En el apartado 5.11.2. menciona que cuando el concreto va a ser colocado, su temperatura no debe ser tan alta como para ocasionar problemas de pérdida de asentamiento, juntas frías o fragua instantánea. Esta no debe ser mayor que 32°C.
- En el apartado 5.11.6 nos dice que el concreto altamente resistente debe mantenerse pasando los 10°C y permanecer húmedo mínimo en los primeros 7 días después de haberlos colocado, excepto cuando se use otro método de curado.
- En el apartado 5.12.2 nos dice que el tiempo de protección del concreto de alta resistencia en climas fríos no deberá ser menor a 4 días.

La empresa CEMEX, líder en producción de concreto a nivel internacional menciona que los principales usos del concreto de alta resistencia son:

- Estructuras sometidas a esfuerzos importantes o edificaciones de gran altura.
- En toda estructura dónde se requiera resistencias altas a los 28 días, dónde se requiera disminuir las secciones de los elementos para incrementar el espacio libre en los ambientes.
- En toda superestructura, como en un puente dónde las condiciones del terreno producen un requerimiento en amplias luces.
- Cuando se requiera mejorar la durabilidad de los elementos.
- Cuando se requieran relaciones agua/cemento bajas (estructuras de muelles, tanques de almacenamiento, estructuras en contacto con aguas residuales, etc.)
- En estructuras que necesiten instalar el cemento en servicio a una edad mucho menor, mencionado, por ejemplo, en aquellos pavimentos dónde se requiere poner en servicio a los 3 días.

❖ **Componentes del concreto de alta resistencia**

➤ **Cemento**

La selección del tipo de cemento a la hora de elaborar concretos altamente resistentes es de suma importancia debido a que es el que tiene el mayor costo unitario, por ende, su elección se debe basar en las propiedades deseadas y su rentabilidad económica.

En el Perú se tienen cementos portland que están sujetos a la norma ASTM C150 y los cementos combinados sujetos a la norma ASTM C95.

El cemento portland en la actualidad, es un material artificial de naturaleza inorgánica y mineral compuesto por materiales calcáreos con un contenido de carbonato de calcio (Co_3Ca) entre 60% y 80%, materiales arcillosos con contenido de sílice entre 60% y 70%, minerales de fierro en pequeñas cantidades y yeso que aporta sulfato de calcio que ayuda a controlar la fragua. Se cuenta con cementos portland tipo I, II, III, IV y 5: y cementos portland adicionados, en el Perú se fabrican únicamente los cementos portland tipo I, II y V.

El cemento tipo I es de uso general o en otros términos para uso donde no se requiera de propiedades especiales especificadas, produce un alto calor de hidratación y brinda la posibilidad de obtener $f'c$ altos. Este cemento ha de cumplir con las exigencias de la Norma ASTM C150 o NTP 334.039.

El cemento tipo II es de mediana resistencia a los sulfatos, produce un calor de hidratación moderado y un $f'c$ que se desarrolla lentamente. Este cemento ha de cumplir con las exigencias de la Norma ASTM C150 o de la Norma NTP334.038.

El cemento tipo III produce un alto calor de hidratación, permite $f'c$ altos en menores tiempos y tiene una baja resistencia a los sulfatos, el cemento tipo IV tiene un muy bajo calor de hidratación, y su desarrollo de $f'c$ es lento, ambos han de cumplir con las exigencias de la norma ASTM C150.

El cemento tipo V es muy resistente a los sulfatos, produce un bajo calor de hidratación y presenta una alta resistencia en compresión. Este cemento ha de cumplir con las exigencias deberá cumplir con la norma ASTM C150 y NTP 334.044.

Por otro lado, tenemos los cementos hidráulicos combinados o adicionados, estos nacen de la mezcla del Clinker pulverizado y un material reactivo el cual tiene propiedades puzolánicas, y en algunos casos con la adición de sulfato de calcio. En el Perú se fabrican los siguientes cementos adicionados que cumplen con la norma ASTM C595: tipo IP, IPM, IMS y ICo. El cemento puzolánico del tipo IP es de uso general, cuenta con puzolana en un porcentaje de 15% a 40%. También se tiene el tipo IPM, considerado de uso general cuenta con un porcentaje de puzolana de 15%, se tiene además el cemento puzolánico tipo IMS de mediana resistencia a sulfatos y cuenta con hasta un 25% de adición de escoria, y finalmente el cemento tipo ICo de uso general que cuenta hasta con un 30% de filler calizo.

En la misma línea de cementos nos encontramos con la clasificación por desempeño avalada por la norma ASTM C1157, dónde tenemos GU, para uso general cuando no se requieren características especiales, HE de resistencia alta a edad temprana, MS de resistencia moderada a los sulfatos, Hs de resistencia alta a los sulfatos, MH de moderado calor de hidratación y LH de bajo calor de hidratación.

➤ **Características del cemento para alta resistencia**

La elección de cemento para la elaboración de concretos de alta resistencia es importante, ya que según el tipo a elegir obtendremos distintas características en el desarrollo de la resistencia.

Por lo general, se recomienda utilizar un cemento el cual pueda permitir el alcance una alta resistencia, estos cementos pueden ser del tipo I o II en conformidad con la norma ASTM C150 y del tipo IP, IPM o IMS en conformidad con la norma ASTM C595.

El cemento empleado para la presente investigación fue el cemento portland tipo I de Qhuna, pues este presenta un óptimo desarrollo de resistencias y es un cemento que se comercializa en la región dónde se realiza la presente investigación. Su ficha técnica se puede corroborar en el anexo N°1.

➤ **Agregados**

Los agregados pueden clasificarse en: agregado fino (arena) y el agregado grueso (graba o piedra). En cuanto al tamaño, el fino posee un diámetro que es menor al tamiz número 4 (4.76 mm); por otro lado, el agregado grueso con partículas mayores a 4.76 mm.

Dada la clasificación por la forma, se encuentra el canto rodado, el cual proviene de los cauces de ríos, cuenta con una forma redonda produciendo concretos con calidad buena porque posee ventajas al ser dócil y trabajable. Por otro lado, el agregado triturado el cual proviene al desintegrar las rocas en cantera posee ventajas al poseer cantos angulosos y componentes mineralógicos más uniformes.

Características que todo agregado debe cumplir para emplear un concreto altamente resistente:

Los agregados finos y gruesos son empleados en este tipo de concreto, con requerimientos mínimos de ASTM C33.

Agregado fino

Este tipo de agregado se caracteriza por requerir una menor cantidad de agua al mezclar el concreto, esto se debe a que están en forma de partículas redondas y poseen textura lisa, por ello se prefiere utilizar en concretos de alta resistencia. Así mismo el agregado fino a comparación del agregado grueso produce efectos mayores en las proporciones de la mezcla, esto se debe a que poseen una superficie específica mayor puesto que la pasta debe cubrir completamente las superficies de los agregados, cabe mencionar que el requerimiento de pasta en la mezcla se ve afectado dada la proporción con la que se integran estos.

El graduar óptimamente el agregado fino para este concreto recae mayormente por el efecto en requisito de agua que en su embalaje físico.

Las arenas con un módulo de fineza de 3.0 proporcionan una superior trabajabilidad y resistencia a la compresión, en cambio, módulos de fineza por debajo de 2.5 le dan a la mezcla una consistencia espesa que dificulta la compactación.

La granulometría que posee el agregado fino es importante, pues al suponer que existe un exceso en el pasante de los tamices N° 50 y N° 100 aumentará la

trabajabilidad, pero también será necesario que se aumente el contenido de pasta para que cubra la mayoría de la superficie de las partículas, sin excluir la probabilidad de que se genere riesgo por incluir más agua a la mezcla y deben evitarse mica y contaminantes de la arcilla.

Agregado grueso

Se ha evidenciado que para obtener la optimización de resistencia en compresión con un volumen de cemento elevado y las proporciones de agua-cemento bajas, el agregado grueso debe tener mínimos tamaños en el orden de 1/2" (12.7 mm) a 3/8" (9.5 mm); un máximo tamaño de 3/4" (19.0 mm) y 1" (25.4 mm) es usado también con éxito.

Cuando aumenta la superficie específica de las partículas por la reducción en los esfuerzos de adherencia conlleva a que aumente su resistencia con la disminución del tamaño máximo del agregado.

Se evidencia que la adherencia a una partícula de 76 mm es 10 % equivalente a 12,5 mm, y cuando se trata de agregados que son de muy mala o muy buena calidad, su resistencia de adherencia es de 50% hasta 60 % de la resistencia de la pasta a los 7 días. (Rivva 2011). Así mismo se menciona que la piedra que es triturada ocasiona elevadas resistencias, esto en comparativa con la piedra de canto rodado, cabe resaltar que se debe evitar una angulosidad excesiva, sobre todo por el incremento de la demanda de agua y decrecimiento de la trabajabilidad a que esto conlleva.

➤ **Aditivos**

Actualmente casi todas las mezclas de concreto contienen adiciones al cemento que conforman una porción de material cementante en el concreto, este proviene de subproductos de otros procesos o materiales de origen natural. Se puede procesar y a la vez no antes de usarse. Además, se incorporan antes o durante el proceso de mezcla con la finalidad de poder modificar ciertas propiedades en la forma que de desea, esto aporta un volumen desestimable.

Si se quiere emplear los aditivos antes mencionados en el concreto, se requiere una supervisión previa y su aprobación, demostrando que este aditivo utilizado en obra es capaz de mantener su esencia en composición y comportamiento del producto usado para establecer la dosificación del concreto. Existen dos tipos de aditivos: aditivos químicos y aditivos minerales.

Los aditivos químicos que se emplean en Perú son: los reductores de agua y retardantes y reductores de agua y acelerantes, se encuentran bajo la NTP 334.088 o

ASTM C1017M; también se tiene los aditivos reductores de agua, retardantes, acelerantes, aditivos incorporadores de aire, que están bajo la NTP 334.089. Por otro lado, la escoria molida granulada de alto horno utilizada como un aditivo mineral debe cumplir con la ASTM C 989, y la microsílíce usada como aditivo mineral que se rige bajo la NTP 334.087. Finalmente, en el Perú los aditivos minerales usados son: las puzolanas u cenizas volantes, que cumplen con la NTP 334.104.

Aditivos químicos

Los aditivos químicos son seleccionados según el uso que se le va a dar en el proyecto, son comúnmente usados para producir concretos de alta resistencia y su dosificación o elección por marca está en función de los demás materiales a usar en la mezcla. Algunos de sus beneficios son: rápida ganancia de resistencia, control del tiempo de endurecimiento, y mejoramiento de la trabajabilidad y durabilidad.

Características de los aditivos químicos.

- Son incorporadores de aire.
- Retardadores de fragua.
- Reductores de agua.
- Reductores de agua de rango alto.

En la presente investigación se optó por utilizar un super plastificante reductor de agua de alto rango de trabajabilidad prolongada, esto debido a que se cuenta con registro de que este tipo de aditivos a base de policarboxilato reaccionan de una manera más eficiente con los nanotubos de grafeno, por ende, de forma experimental se probará con las nano plaquetas de grafeno.

Aditivos minerales

Estos aditivos se utilizan de forma individual y también con la combinación en el concreto, así mismo se pueden añadir a la mezcla como un cemento que contenga la adición o un ingrediente dosificado separadamente.

Características de los aditivos minerales

- Microsílices
- Cenizas volantes
- Escorias molidas de alto horno (GGBFS)

Para la presente investigación se optó por utilizar un aditivo superplastificante a base de policarboxilato, puesto que gran parte de la comunidad investigadora del grafeno lo recomienda para las mezclas con adición de Nanotubos de Grafeno, siendo

así, se plantea su aplicación en las Nanoplaquetas de Grafeno. La ficha técnica del aditivo superplastificante se puede encontrar en el anexo N°02.

➤ Agua

El agua es un requisito usual y no implica realizar ensayos para verificar la calidad y se incorporan agua de mezclado que se considera potable, así como el agua que en la experiencia han sido utilizadas para la preparación del concreto obteniendo resultados favorables. Así mismo cabe resaltar que del agua adecuada para beber, no todas convienen para preparar el concreto. En conclusión, el agua que ha de ser utilizada debe liberarse de sustancias colorantes, azúcares o aceites.

❖ Grafeno

Para poder comprender cómo se crearon las nanoplaquetas, es necesario primeramente conocer su elemento base, que es el grafeno.

El grafeno es el nombre dado a la monocapa de grafito (Figura 1^a). Consiste en una red bidimensional formada por una estructura hexagonal de átomos de carbono con hibridación sp^2 , donde las distancias C-C son aproximadamente $1,42 \text{ \AA}$ (1 angstrom = $1 \times 10^{-10} \text{ m}$), con un espesor de un átomo de carbono $1,00 \text{ \AA}$.

Uno de los primeros procedimientos para su obtención fue el uso de una cinta adhesiva convencional, un lápiz y la aplicación de un proceso de exfoliación mecánica. El grafeno es el elemento estructural más básico de algunos alótopos de carbono, por lo tanto, su estructura se considera la madre de otras formas alotrópicas de carbono como se observa en la Figura 1 [23].

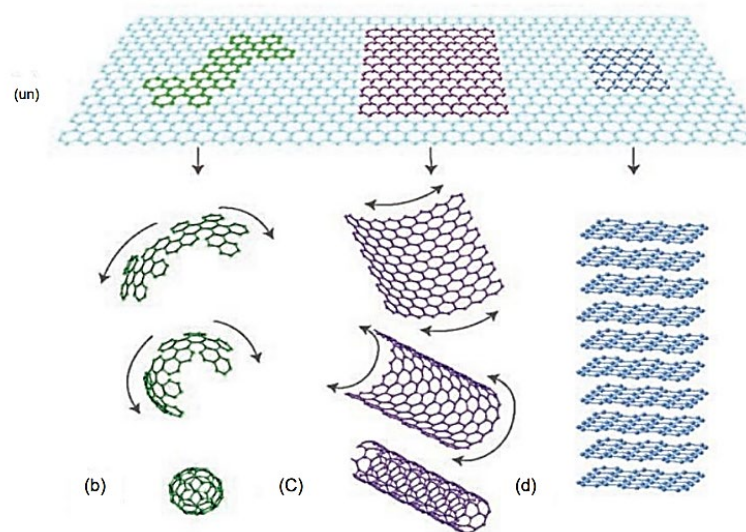


Figura 1. (a) Grafeno, un material 2-D que sirve como estructura básica para alótopos de carbono en todas las dimensiones. Puede (b) formar un fullereno, (c) enrollarse en nanotubo o (d) apilarse para formar grafito [23].

➤ **Propiedades**

El grafeno es el material más delgado de todos los materiales que se conocen, también se considera más fuerte que el diamante, siendo flexible y extremadamente duro. Posee importantes propiedades electrónicas, los portadores de carga en el grafeno se describen como fermiones de Dirac, no tienen masa y presentan una movilidad excepcionalmente alta, lo que permite la observación de fenómenos cuánticos a temperatura ambiente. Además de conducir la corriente eléctrica a temperatura ambiente mejor que cualquier otro material, también es transparente, absorbiendo solo el 2,3% de la luz que incide sobre él [23].

➤ **Aplicaciones**

Debido a su alta conductividad eléctrica, combinada con su resistencia, flexibilidad y transparencia lo vuelven ideal para fabricar pantallas o dispositivos electrónicos flexibles [23].

Debido a la alta movilidad de electrones, el grafeno es ideal en el diseño de transistores de alta frecuencia usados en el campo de la electrónica.

El grafeno también se puede utilizar como soporte para fijar nanopartículas metálicas (Au, Pt)

❖ **Nanoplaquetas de grafeno**

El grafeno actualmente presenta diferentes disposiciones, algunas de ellas están en función de las láminas apiladas unas sobre otras, tales como las láminas de grafeno compuestas de 3 a 5 y las nanoplaquetas de grafeno (NPG) compuestas de más de 10 láminas de grafeno [24].

A diferencia de otras presentaciones del grafeno, como las nano-láminas de grafeno, los nanotubos de grafeno (SWCNT) o los nanotubos de pared múltiple (MWCNT), las nanoplaquetas de grafeno presentan un considerable menor costo en el mercado actual.

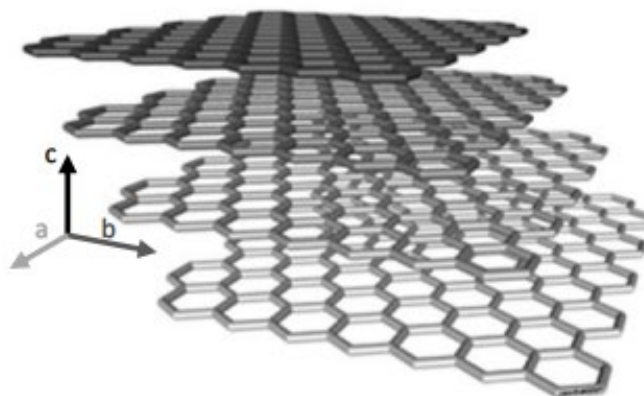


Figura 2. Nanoplaquetas de grafeno [24].

En cuanto a otros derivados del grafeno, los nanotubos de grafeno o también llamados nanotubos de carbono de pared única (SWCNT), son superficies de grafeno enrolladas en forma de tubo. También existen nanotubos de pared múltiple (MWCNT), se le denomina grafeno al carbono de capa única y grafito al carbono de capas múltiples. Entre sus principales características, los nanotubos de grafeno son flexibles y largos, permiten fabricar materiales conductivos de cualquier color con la característica de transparencia y conservan mejor las propiedades mecánicas de los materiales; por otra parte, los nanotubos de carbono de pared múltiple, son más rígidos y cortos, permiten fabricar sólo materiales conductivos en color negro sin transparencia y las altas concentraciones requeridas pueden conllevar al empeoramiento de las propiedades mecánicas en su mezcla con otros materiales [25].

Desde perspectivas estructurales las nanoplaquetas de grafeno presentan las siguientes propiedades, las cuales se muestran en la siguiente tabla comparativa.

Tabla Nº 1. Comparativa de las propiedades de las nanoplaquetas de grafeno.

Material	Longitud (um)	Módulo de Young (TPa)	Resistividad ($\Omega \cdot m$)	Conductividad térmica (W/m.K)	Densidad (g/cm³)	Área superficial l (m²/g)
NPG	~ 56.17	1	1.25×10^{-5}	5000	0.10 – 0.15	-
SWCNT	5 - 30	1 - 1.2	$> 1 \times 10^{-4}$	1750 – 5850	0.14	1300
MWCNT	1 - 10	0.25 – 0.95	$> 1 \times 10^{-4}$	3000	1.5 – 1.7	800
Acero inoxidable	-	~ 0.20	72×10^{-8}	16.3	8.027	-
Concreto/cemento	-	~ 0.05	104	1.8	~ 2.4/3.15	-
Diamante	-	1	2.7	2000 - 2500	3.51	-

La ficha técnica completa de las nanoplaquetas a usar en la presente investigación se encuentra en el anexo N°03.

❖ **Materiales compuestos**

Se cuenta con registro de investigaciones que utilizan el grafeno para formar materiales nuevos, a estos se les denomina materiales compuestos, dada la mezcla realizada en esta investigación, el concreto con nanoplaquetas de grafeno se convierte en un material compuesto.

Los materiales compuestos son materiales que nos han acompañado desde tiempos inmemorables, por ejemplo, tenemos los bloques de adobe realizados a partir de barro y paja en las primeras civilizaciones y que aún hoy se usan en las zonas rurales de Latinoamérica.

Se le denomina **composito** a un material compuesto y este se obtiene a partir de la combinación de dos o más materiales diferentes en composición, forma o función, para obtener un material con propiedades mejores a los materiales predecesores por separado [9].

En un **composito** se identifican dos fases; una discontinua, denominado **refuerzo** y una continua, constituida por la **matriz**. Donde el **refuerzo** y la **matriz** están unidas química o mecánicamente se llama **interfase**, y es posible observarlas a través de medios físicos. Las propiedades del material nuevo dependen del tipo y las características de la **interfase** generada en el nuevo material. En la siguiente figura observamos un esquema representativo de **composito reforzado con fibras**.

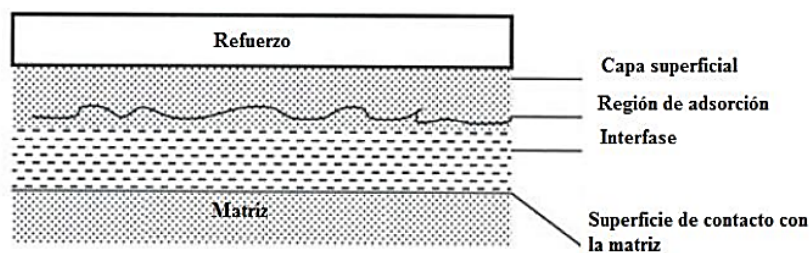


Figura 3. Esquema representativo de un composito reforzado con fibras [9].

Las funciones de una **matriz** en un **composito** son:

- Transferir la carga desde la **matriz** hacia los **refuerzos**.
- Mantener los **refuerzos** en un lugar de la estructura del material.
- Proporcionar **cohesión** a los **refuerzos**.
- Resguardar a los **refuerzos** de condiciones externas como: **humedad**, **ataques químicos**, etc.

Los **compositos** pueden clasificarse en múltiples maneras, una de ellas es de acuerdo a la forma del **refuerzo**, tenemos: **reforzado con fibras**, **reforzado con láminas** y **reforzado con partículas**.

Para esta investigación nos centraremos en los **compositos reforzados con partículas**, estos son los materiales que utilizan **partículas** a escalas **micrométricas** o **nanométricas**, con el fin de mejorar propiedades como la **rigidez**, **dureza**, **resistencia al desgaste** y **calor**. Se incluye también la adición de **nanomateriales**, los **nanorefueros** suelen estar en un arreglo al azar, sin embargo, las **interfases** generadas entre capas y al interior de ellas, modifica las propiedades finales.

➤ **Nanocompositos**

Se le denomina nanocompositos a los materiales que tienen como refuerzos materiales nanométricos, sin embargo, el producto final de esta mezcla no necesariamente se encuentra completamente en una escala nanométrica. Un material es considerado nanométrico cuando al menos una de sus dimensiones tiene un tamaño menor a 100nm, en el caso de los NTC generalmente tienen un diámetro por debajo de los 100 nm, sin embargo, la longitud es de micrómetros [9].





Existe una superioridad por parte de los refuerzos nanométricos sobre los refuerzos convencionales ya que estos modifican la matriz en una escala nano, generando mejoras mecánicas simultáneas, como el módulo de Young, resistencia a la tracción y el porcentaje de deformación, se debe tomar en cuenta que todas estas mejoras mecánicas están condicionadas por la dispersión adecuada del refuerzo, por ende, es fundamental la selección del método de dispersión en la síntesis del nanocomposito.

La síntesis de los nanocomposito se realiza principalmente a través de métodos como la polimerización en solución, donde el refuerzo se dispersa en un solvente y se mezcla con el polímero, mediante agitación u ondas ultrasónicas el refuerzo se dispersa logrando uniformidad en el material.

➤ **Nanocompositos en la construcción**

Actualmente, la aparición de los nanocompositos en el sector constructivo es un hecho, se ha experimentado con su uso en cementos, aislantes, pavimentos, pinturas o cerámicas, cristales, resinas, etc. Algunas de las nanopartículas ya empleadas y sus propiedades añadidas son las siguientes.

Tabla Nº 2. *Propiedades de los Concretos Nanotecnológicos.*

Nano partícula	Propiedades de los hormigones nanotecnológicos
 SiO₂	<ul style="list-style-type: none"> - Mejora de trabajabilidad con súperplastificante - Aumento de impermeabilidad en el concreto - Aumento en la resistencia a la disolución del carbonatocalcio - Aumento en la resistencia a compresión (26% a 28 días) - Incremento de resistencia a la flexión - Incremento de velocidad de fraguado
 TiO₂	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad de autolimpieza - Capacidad de eliminar contaminantes del medio ambiente como Nox, CO₂, mediante su colocación en fachadas, pavimentos de carreteras, etc. - Actúa como un buen acelerante - Incremento de la resistencia a compresión, flexión y abrasión.
 Fe₂O₃	<ul style="list-style-type: none"> - Permite la detección de la tensión soportada a compresión. - Permite un control en tiempo real del estado tensional sin el uso de sensores. Se le ha denominado como un material que permite la creación de estructuras
 Al₂O₃	<ul style="list-style-type: none"> - Incrementa el Módulo de Elasticidad en un 140% adicionando un 5%.

❖ **Ondas ultrasónicas**

➤ **Funcionalización con ondas ultrasónicas**

La funcionalización nace como un método importante para asistir la dispersión por medio de la creación de grupos funcionales en la superficie de los refuerzos. Al utilizar solo un método de dispersión los resultados mejoran y además se tiene beneficios como la remoción de impurezas remanentes de la síntesis en los nanorefuerzos, es decir residuos de su proceso de obtención [26]. Lo que se obtiene con una superficie funcionalizada es una mejora en la estabilidad de la dispersión, esto debido a la polaridad en los grupos colgantes y también da paso a la posibilidad de obtener un acoplamiento químico entre los nanotubos y el material de mezcla, obteniendo así una mejor interacción en la interfase nanotubo-matriz.

En los nanotubos de grafeno la funcionalización amplía el número de aplicaciones posibles ya que además de las propiedades derivadas de la estructura original de un nanotubo, se suman las producidas por su funcionalización o bien la modificación superficial.

Existe una amplia variedad de metodologías de funcionalización con la aplicación de energía alterna tales como: ultrasonido, microondas, electroquímica, plasma, etc., también existen investigaciones en desarrollo de radiaciones UV, formadora de radicales libres y ozonólisis.

La radiación ultrasónica es una herramienta útil para lograr una dispersión homogénea, además ayuda a activar los enlaces para una funcionalización más rápida. La sonoquímica ha demostrado ser una herramienta eficiente al momento de conseguir una dispersión uniforme en la mezcla de materiales con nanotubos de grafeno [27].

Los nanotubos de grafeno debido a su gran área superficial y naturaleza electrónica, tienden a formar aglomerados, es por ello que en los nanocompositos es importante obtener una dispersión del refuerzo dentro de la matriz, además, es importante estabilizar la dispersión para prevenir la agregación del refuerzo [28].

Para la presente investigación se ha optado por funcionalizar las nanoplaquetas de grafeno con la aplicación de ondas ultrasónicas, por el registro y buenos resultados obtenidos en otras investigaciones realizadas con nanotubos de grafeno, siendo estos materiales con características o propiedades similares. Los datos y ficha técnica del equipo usado se pueden encontrar en el anexo N°05.

❖ Ensayos para los agregados

➤ Contenido de humedad del agregado fino y grueso

El presente ensayo tiene la finalidad de determinar la cantidad de agua que existe en la muestra representativa, del agregado fino y grueso, en su estado natural o en las condiciones reales de su puesta en obra. Dicha cantidad de agua será utilizada para realizar el debido reajuste en el diseño de mezcla.

Normativa:

- Contenido de humedad de los agregados NTP 339.185 o ASTM C 566.

Aparatos o equipos:

- Balanza.
- Horno.
- Recipiente.

➤ Análisis granulométrico de agregado fino y grueso

El análisis granulométrico permite determinar las proporciones de los diferentes tamaños de partículas que se tienen en una muestra de agregado, mediante el uso de tamices normados. Es de importancia conocer la granulometría ya que de ella dependen varios factores incidentes tanto en las propiedades del concreto fresco como endurecido.

Normativa:

- Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global de acuerdo a NTP 400.012 o ASTM C 136.

Especificaciones para agregado fino (A.F.).

La norma brinda los siguientes requerimientos granulométricos, las partículas de agregado fino deberán estar graduadas tomando en cuenta los siguientes límites:

Tabla N° 3. Requerimiento de % que pasa para el agregado fino.

Malla	Porcentaje que pasa (%)
(3/8)	100
(N.º 4)	95 a 100
(N.º 8)	80 a 100
(N.º 16)	50 a 85
(N.º 30)	25 a 60
(N.º 50)	10 a 30
(N.º 100)	2 a 10

Fuente: ASTM C-33

Aparatos o equipos (A.F.):

- Tara.
- Balanza.
- Tamices con mallas ASTM: 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200 y fondo.
- Horno que brinde temperatura constante de $\pm 50^{\circ}\text{C}$.

Especificaciones para agregado grueso (A.G.).

Para el agregado grueso la norma ASTM C33 brinda la siguiente tabla con los requerimientos granulométricos.

Tabla N° 4. Requerimientos de % que pasa para el agregado grueso.

Número De Tamaño	Tamaño Nominal (Tamices con abertura cuadrada)	Cantidades más finas que Cada Tamiz de Laboratorio (Abertura Cuadrada), Porcentaje Masa											
		100 mm (4 pulg)	90 mm (3½ pulg)	75 mm (3 pulg)	63 mm (2½ pulg)	50 mm (2 pulg)	37.5 mm (1½ pulg)	25 mm (1 pulg)	19 mm (¾ pulg)	12.5 mm (½ pulg)	9.5 mm (⅜ pulg)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)
1	90 a 37.5 mm	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 5
2	63 a 37.5 mm	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...
3	50 a 25 mm	...	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...
357	50 a 4.75 mm	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	...	0 a 5	...
4	37.5 a 19 mm	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	...	0 a 5	...	...
467	37.5 a 4.75 mm	...	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	0 a 5	...
5	25 a 12.5 mm	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...
56	25 a 9.5 mm	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	...
57	25 a 4.75 mm	...	...	...	...	...	100	95 a 100	...	25 a 60	...	0 a 10	0 a 5
6	19 a 9.5 mm	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	...
67	19 a 4.75 mm	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	...	20 a 55	0 a 10	0 a 5
7	12.5 a 4.75 mm	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5
8	9.5 a 2.36 mm	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 30	0 a 5

Fuente: ASTM C-33

Aparatos o equipos (A.G.):

- Tara.
- Balanza.
- Tamices con mallas ASTM: 2", 1 ½", 1", ¾", 1/2", 3/8", N°4, N°8, N°16 y fondo.
- Horno que brinde temperatura constante de $\pm 50^{\circ}\text{C}$.

➤ **Peso unitario del agregado fino y grueso**

También llamado peso volumétrico, es el peso de un material medido en un recipiente de volumen unitario. Sus principales factores o variables son el tamaño, forma y distribución de las partículas, así como también, el grado de compactación, el cuál es normado.

De forma empírica el peso unitario suelto del agregado grueso varía entre 1350 kg/m³ y 1680 kg/m³.

Normativa:

- Masa por unidad de volumen (peso unitario) y vacíos en los agregados según la NTP 400.017 o ASTM C 29/ C 29M.

Peso unitario suelto

Aparatos o equipos (PUSS):

- Balanza.
- Regla de metal.
- Molde para testigo de concreto con medidas de 15cm de diámetro por 30cm de altura.
- Cucharón de metal.
- Brocha.

Peso unitario compactado

Aparatos o equipos (PUSS):

- Balanza.
- Regla de metal.
- Molde para testigo de concreto con medidas de 15cm de diámetro por 30cm de altura.
- Cucharón de metal.
- Brocha.

➤ **Peso específico y absorción del agregado grueso**

El peso específico es definido como la relación de la masa de un volumen unitario de material, con la masa del mismo volumen de agua en condiciones de temperatura indicada y estable. Cabe recalcar que el agua deberá ser libre de gas y de preferencia destilada.

El peso específico se puede determinar en condición seca o saturada superficialmente seca, según las condiciones de humedad del agregado. Sin embargo, para el diseño de mezcla se necesita obtener el peso específico de la masa saturada superficialmente seca.

Normativa:

- Peso específico y absorción del agregado grueso según NTP 400.021 o ASTM C 127.

Peso específico de masa saturada superficialmente seca

Es la relación a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de material permeable (incluyendo los poros permeables e impermeables

naturales del material), respecto de la masa en el aire de la misma densidad de un volumen igual de agua destilada libre de gas.

Aparatos o equipos:

- Balanza sensible a 0.5g, con dispositivo que permita suspender la muestra con la cesta en el depósito con agua.
- Cesta de malla de alambre con abertura igual al del tamiz N°6 o menor, con capacidad de 4L a 7L para los tamaños máximos nominales de 1 ½” o menores.
- Depósito de agua con el suficiente tamaño para sumergir la cesta.
- Tamices, un tamiz del N°4.
- Estufa, con la capacidad de mantener una temperatura de 110°C ± 5°C.

Ecuación para el cálculo:

Su ecuación está dada por la siguiente expresión.

$$\gamma_{SSS} = \frac{W_S}{W_{SSS} - W_W}$$

Dónde:

γ_{SSS} = Peso específico de masa saturada superficialmente seca

W_S = Peso de la muestra seca en horno (g).

W_{SSS} = Peso de la muestra saturada superficialmente seca (g).

W_W = Peso de la canastilla más la muestra sumergida (g).

Grado de absorción

El grado de absorción mide el incremento o decremento en la masa del agregado debido a la presencia del agua en los poros del material, con la superficie del mismo en estado seco. Se expresa como un porcentaje del peso seco y se calcula sumergiendo el agregado por 24 horas y posteriormente secado a una temperatura de 110°C ± 5°C en un horno.

Aparatos o equipos:

- Balanza sensible a 0.5g, con dispositivo que permita suspender la muestra con la cesta en el depósito con agua.
- Recipiente con capacidad para contener el agregado grueso y una cantidad de agua que cubra toda la muestra.
- Horno que brinde temperatura constante de ± 50°C.

Ecuación para el cálculo:

Su ecuación está dada por la siguiente expresión.

$$\%Ab. = \frac{(W_{SSS} - W_S)}{W_S} \times 100$$

Dónde:

%Ab.= Grado de absorción en porcentaje.

W_S = Peso de la muestra seca en horno (g).

W_{SSS} = Peso de la muestra saturada superficialmente seca (g).

➤ **Peso específico y absorción del agregado fino**

El peso específico para el agregado fino tiene la misma definición que para el agregado grueso con la particularidad de que el procedimiento es diferente.

Normativa:

- Peso específico y absorción del agregado fino según NTP 400.022 o ASTM C 128.

Para el diseño de mezcla se necesita obtener el peso específico de la masa saturada superficialmente seca.

Peso específico de masa saturada superficialmente seca

La definición del peso específico de masa saturada seca para el agregado fino es la misma que para el agregado grueso.

Aparatos o equipos:

- Balanza sensible a 0.1g, con dispositivo que permita suspender la muestra con la cesta en el depósito con agua.
- Picnómetro, se puede usar un matraz o fiola aforado de 500cm³ de capacidad o un frasco de vidrio equipado con una tapa de picnómetro, siempre y cuando la muestra de trabajo sea equivalente a 500g.
- Recipientes.
- Horno que brinde temperatura constante de $\pm 50^\circ\text{C}$.

Ecuación para el cálculo:

Su ecuación está dada por la siguiente expresión.

$$\gamma_{SSS} = \frac{W_S}{W_{SSS} - W_W}$$

Dónde:

γ_{SSS} = Peso específico de masa saturada superficialmente seca

W_S = Peso de la muestra seca en horno (g).

W_{SSS} = Peso de la muestra saturada superficialmente seca (g).

W_W = Peso del agua destilada (g).

Grado de absorción

La definición del grado de absorción para el agregado fino es la misma que se encuentra en el apartado 2.2.9.4 para el agregado grueso.

Aparatos o equipos:

- Balanza sensible a 0.1g.
- Recipiente con el suficiente tamaño para sumergir el material completamente en agua por 24h.
- Estufa, con la capacidad de mantener una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Ecuación para el cálculo:

Su ecuación está dada por la siguiente expresión.

$$\%Ab. = \frac{(W_{SSS} - W_S)}{W_S} \times 100$$

Dónde:

%Ab.= Grado de absorción en porcentaje.

W_S = Peso de la muestra seca en horno (g).

W_{SSS} = Peso de la muestra saturada superficialmente seca (g).

➤ **Contenido de sales en agregado fino y grueso**

Según la normativa peruana vigente el contenido de sales de un suelo o material se debe determinar en un extracto acuoso preparado con una proporción de suelo-agua de 1:5 para la mezcla. Seguidamente esta muestra se debe secar a peso constante en una cápsula de peso conocido a $180^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Normativa:

- Contenido de sales solubles en suelos y agua subterránea según NTP 339.152.

Aparatos o equipos:

- Balanza analítica con precisión de 0.1mg.
- Cocina o mechero.
- Embudo de filtración.
- Filtros de microfibra de vidrio de diámetro de 125mm.
- Frascos Erlenmeyer de 500mL.
- Tarro Biker 100mL.
- Pipetas volumétricas.
- Agua destilada.

➤ **Abrasión del agregado grueso con máquina de los ángeles**

Este ensayo mide la degradación de un agregado mineral, mediante la acción de la combinación de la abrasión, desgaste, impacto y triturado en un tambor de acero rotatorio que contiene un determinado número de esferas de acero, que están en función de la granulometría del agregado.

Normativa:

- Resistencia al desgaste de los agregados gruesos de tamaños menores de 37.5 mm (1 ½”) por medio de la máquina de los ángeles de acuerdo a NTP 400.019 o ASTM C131.

Aparatos o equipos:

- Balanza electrónica con precisión de 1g.
- Estufa que pueda mantener una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Tamices.
- Máquina de los ángeles.
- Carga abrasiva con esferas de acero, según la siguiente tabla.

Tabla N° 5. Número de esferas según granulometría de ensayo.

Granulometría de ensayo	Número de esferas	Peso Total (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Fuente: NTP 400.019.

Especificaciones técnicas:

La granulometría elegida debe ser representativa del agregado tal y como si fuera en condiciones de obra, para la investigación realizada el agregado utilizado posee un TMN = ¾”, sin embargo, se pidió de forma comercial como piedra de ½”, por ende, se decidió utilizar el método B.

La norma nos da la siguiente tabla para la masa de tamaño indicado en gramos, según la gradación y los porcentajes que pasa y son retenidos.

Tabla N° 6. Gradación de las muestras de ensayo.

Tamaño de mallas (aberturas cuadradas)		Masa por tamaño indicado, g			
Pasando	Retenido	Graduación			
		A	B	C	D
37,5 mm (1 ½ pulg)	25,0 mm (1 pulg)	1 250 ± 25	-	-	-
25,0 mm (1 pulg)	19,0 mm (¾ pulg)	1 250 ± 25	-	-	-
19,0 mm (¾ pulg)	12,5 mm (1/2 pulg)	1 250 ± 10	2 500 ± 10	-	-
12,5 mm (1/2 pulg)	9,5 mm (3/8 pulg)	1 250 ± 10	2 500 ± 10	-	-
9,5 mm (3/8 pulg)	6,3 mm (1/4 pulg)	-	-	2 500 ± 10	-
6,3 mm (1/4 pulg)	4,75 mm (No.4)	-	-	2 500 ± 10	-
4,75 mm (No.4)	2,36 mm (No.8)	-	-	-	5 000 ± 10
Total		5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10

Fuente: ASTM C-131.

❖ Diseño de mezcla

Para el diseño de mezclas de concreto el American Concrete Institute (ACI) presenta dos métodos, el método del ACI 211.1, es un método que dosifica los materiales en base a tablas provenientes de la experimentación en laboratorios, sus tablas presentan valores para diseños de concreto con un $f'c$ de 28 días de hasta 450 kg/cm². Por otro lado, se tiene el método del ACI 211.4, usado para el diseño de mezclas de concreto de alta resistencia, desde 450 kg/cm² hasta 840 kg/cm².

En los dos métodos mencionados se busca la trabajabilidad y consistencia en estado fresco y la resistencia y durabilidad en estado endurecido, primando por sobre todo la economía.

Siendo el objeto de estudio de la presente investigación el concreto de resistencia $f'c$ de 500 kg/cm², se utilizará en el diseño de mezcla el método del ACI 211.4.

❖ Elaboración de los especímenes de concreto

➤ Especímenes cilíndricos de concreto

Normativa:

- Práctica normalizada para producción y curado de especímenes de concreto en laboratorio según NTP 339.183 o ASTM C 192.

Equipos:

- Moldes cilíndricos de 4"x8" (100x200mm), metálicos o de plástico.
- Varilla compactadora lisa de acero de 3/8" (10mm) de diámetro y de una longitud de 12" (300mm).
- Cuchara y plancha metálica.
- Martillo de goma de 0.6 kg ± 0.20 kg.
- Aceite derivado de petróleo como desmoldante.

➤ **Vigas de concreto**

Normativa:

- Práctica normalizada para producción y curado de especímenes de concreto en laboratorio según NTP 339.183 o ASTM C 192.

Equipos:

- Moldes rectangulares metálicos de 6"x6"x21" (150x150x500mm).
- Varilla compactadora lisa de acero de 5/8" (16mm) de diámetro y de una longitud de 24" (600mm).
- Cuchara y plancha metálica.
- Martillo de goma de 0.6 kg ± 0.20 kg.
- Aceite derivado de petróleo como desmoldante.

❖ **Ensayos de calidad del concreto**

➤ **Concreto en estado fresco**

Peso unitario

El peso unitario es la sumatoria de todos los componentes del concreto, este se puede comparar tanto en estado fresco como endurecido. Según el peso unitario los concretos se pueden clasificar de la siguiente manera:

Tabla N° 7. Clasificación del concreto por peso unitario en estado fresco.

TIPO DE CONCRETO	PESO UNITARIO
Normal	2200 – 2400 kg/m ³
Liviano	1450 – 1850 kg/m ³
Pesado	2800 – 6000 kg/m ³

Fuente: NRMCA [29].

Normativa:

- Peso unitario del concreto fresco de acuerdo a NTP 339.046 o ASTM C138.

Equipos:

- Molde para testigo de concreto con medidas de 15cm de diámetro por 30cm de altura.
- Varilla compactadora lisa de acero de 5/8" (16mm) de diámetro y de una longitud de 24" (600mm).
- Cuchara y plancha metálica.
- Martillo de goma de 0.6 kg ± 0.20 kg.
- Balanza.

Asentamiento

El ensayo de asentamiento permite medir la consistencia del concreto en estado fresco, así como también, su grado de compactación, fluidez y cohesión. Este es uno de los principales realizados en control de calidad.

Normativa:

- Asentamiento del concreto (SLUMP) según la NTP 339.035 o ASTM C143.

Equipos:

- Cono de Abrams de 20cm x 10cm, de espesor mínimo de 1.5mm.
- Varilla compactadora lisa de acero de 5/8" (16mm) de diámetro y de una longitud de 24" (600mm).
- Flexómetro.
- Cuchara y plancha metálica.

Temperatura

La medición de la temperatura es un ensayo común e importante sobre todo en concretos de alta resistencia, esto debido al gran contenido de cemento que suele tener, propio del diseño. Así como también, este depende del calor específico de los agregados y el agua. Se debe controlar la temperatura para asegurar la fragua en el tiempo deseado.

Normativa:

- Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas según la NTP 339.184 o ASTM C1064.

Equipos:

- Contenedor: se recomienda utilizar un molde de probeta cilíndrico, ya que este permite proveer 3" de recubrimiento en todas las direcciones al sensor del termómetro.
- Termómetro: Con aproximación de 0.5°C.

➤ **Concreto en estado endurecido**

Densidad, absorción y vacíos

Este ensayo permite determinar la porosidad que puede presentar el concreto, factor importante a tomar en cuenta en lo que a durabilidad se refiere.

Normativa:

- Método estándar de ensayo para densidad, absorción y vacíos en concreto endurecido según NTP 339.187 o ASTM C642.

Equipos:

- Cortadora o amoladora para cortar las probetas cilíndricas y obtener los discos de ensayo de una altura de 50 ± 3 mm.
- Recipientes y olla metálica.
- Estufa.
- Balanza electrónica con precisión de 0.01g.

Para efectuar los cálculos del ensayo se obtendrán los siguientes valores:

- A: Masa de la probeta seca en el horno (g).
- B: Masa de la probeta luego de inmersión en agua (g).
- C: Masa de la probeta después de inmersión y ebullición en agua (g).
- D: Masa aparente de la probeta después de inmersión y ebullición en agua (g).

Densidad después de inmersión:

La ecuación está determinada de la siguiente manera:

$$\rho_a = \left(\frac{B}{C - D} \right) \times \rho_{agua}$$

Densidad global seca:

La ecuación está determinada de la siguiente manera:

$$\rho_a = \left(\frac{A}{C - D} \right) \times \rho_{agua}$$

Absorción después de inmersión:

La ecuación está determinada de la siguiente manera:

$$\rho_a = \left(\frac{B - A}{A} \right) \times \rho_{agua}$$

Volumen de vacíos:

La ecuación está determinada de la siguiente manera:

$$V_v = \left(\frac{C - A}{C - D} \right) \times 100$$

Resistencia a la compresión**Normativa:**

- Método de ensayo estándar para esfuerzo de compresión en especímenes de concreto según NTP 339.034 o ASTM C39.

Equipos:

- Máquina de ensayo calibrada con la capacidad de aplicar la suficiente fuerza y de manera constante.
- Almohadillas de neopreno.

El ensayo se tiene que realizar conservando las condiciones de humedad del espécimen, es decir que se efectuará lo antes posible una vez retirado de la cámara de curado, cuando el curado sea realizado mediante pozas, se deberá dejar secar el concreto parcialmente antes de realizar el ensayo, esto debido a que las condiciones de humedad son diferentes a las de la cámara de curado. Así mismo, se tiene las siguientes tolerancias de tiempo para el ensayo.

Tabla N° 8. Tolerancia para realizar el ensayo de resistencia.

Edad de Ensayo	Tolerancia de tiempo Permisible	
	horas	%
24 horas	± 0.5	± 2.1
3 días	± 2	± 2.8
7 días	± 6	± 3.6
28 días	± 20	± 3.0
90 días	± 48	± 2.2

Fuente: NTP 339.034.

Resistencia a la flexión

Normativa

- Método de ensayo estándar para resistencia a la flexión del concreto (carga a los tercios del claro) según NTP 339.078 o ASTM C 78.

Equipos

- Máquina de ensayo calibrada con la capacidad de aplicar la suficiente fuerza y de manera constante.
- Placas de apoyo que permitan la aplicación de carga a los tercios.

Consideraciones para el cálculo

Las dimensiones de la sección transversal para el cálculo del módulo de rotura se tomarán de la siguiente manera:

- La medición se realizará en una de las caras fracturadas después de la prueba.

- El ancho y profundidad se miden según la disposición en la que se colocó para el ensayo.
- Se debe tomar tres medidas para cada dimensión, en los extremos y al centro, con ello se determinará en ancho promedio, altura promedio y ubicación de la línea de fractura.

La normativa nos brinda ecuaciones para el cálculo en función de la ubicación de la falla, teniendo lo siguiente:

Falla dentro del tercio medio de la luz

$$Mr = \frac{PL}{bh^2}$$

Dónde:

- Mr: Módulo de rotura (MPa)
- P: Carga máxima de rotura (N)
- L: Luz libre entre apoyos (mm)
- b: Ancho promedio de la viga en la sección de falla (mm)
- h: Altura promedio de la viga en la sección de falla (mm)

Falla fuera del tercio medio y a distancia de este menor al 5% de la luz libre

$$Mr = \frac{3Pa}{bh^2}$$

Dónde:

- Mr: Módulo de rotura (MPa)
- P: Carga máxima de rotura (N)
- a: Distancia promedio entre la línea de falla y el apoyo más cercano, medido a través de la línea central de la superficie inferior de la viga (mm)
- b: Ancho promedio de la viga en la sección de falla (mm)
- h: Altura promedio de la viga en la sección de falla (mm)

Falla fuera del tercio medio a distancia mayor de este en 5% de la luz libre

Si este fuera el caso, se rechaza el ensayo.

Durabilidad por resistencia a los sulfatos

El presente ensayo replica la exposición del concreto a condiciones de intemperie con presencia de sulfatos, para ello se exponen unas vigas de mortero a

una solución sulfatada, que simulan dicha exposición de forma acelerada, permitiendo así evaluar su comportamiento en un plazo de tiempo menor. Para ello se mide el cambio de longitud, el cual permite evaluar el potencial de expansión o contracción volumétrica del mortero, debido a causas distintas a una fuerza aplicada o temperatura, tal como en este caso, por acción de sulfatos.

Normativa:

- Método normalizado para determinar el cambio de longitud en morteros de cemento Portland expuestos a soluciones sulfatadas NTP 334.094 o ASTM C157.

Equipos y materiales:

- Moldes metálicos de medida interna 25x25x285 mm y pernos como comparadores de longitud de acero inoxidable.
- Varilla de compactación de 3/8" (10mm) de diámetro y 10" (250mm) de largo.
- Contenedor de PVC resistente a la corrosión con dispositivo de soporte de barras (sujetador metálico) que permita sellar el mismo.
- Solución sulfatada, por cada 900mL de agua agregar 50g de Na₂SO₄ diluidos en 100mL de agua destilada, la solución se debe mezclar un día antes de su uso. Si el pH de la solución se encuentra entre 6 y 8, esta se acepta. Por cada barra la proporción de solución será de 4 ± 0.5 veces el volumen de esta.
- Dispositivo de medición de viguetas.

Para efectuar los cálculos del ensayo se utilizó la siguiente ecuación:

$$\Delta L = \frac{L_c - E_o}{L_N}$$

Dónde:

- ΔL : Variación de longitud
- L_c : Longitud en el comparador
- E_o : Lectura inicial
- L_N : Longitud Nominal del Calibre

Materiales y métodos

▪ Indicadores de población y muestra

❖ Población

La población de estudio para esta investigación estuvo conformada por los especímenes de concreto patrón y con adición de nanoplaquetas de grafeno en los porcentajes de 0.27% y 0.33%.

❖ Muestra

La muestra de estudio correspondió a la misma cantidad finita que de la población, Para ello la cantidad de especímenes se estableció en una sola fase mediante las variables que se designaron en las tablas 9 y 10. Se elaboraron especímenes de concreto patrón y concreto con adición de nanoplaquetas de grafeno en porcentajes de 0.27% y 0.33%. El $F'c$ utilizado fue de 500 kg/cm², como un primer criterio local se eligió esta resistencia ya que es el límite para una edificación dúctil, según la norma E-060 si se diseña a un $F'c$ mayor la estructura tiende a perder ductilidad; sin embargo, esta resistencia es apta para gran variedad de estructuras y superestructuras. Seguidamente se muestra el detalle del total de especímenes para el concreto patrón y el concreto adicionado.

Tabla N° 9. Muestreo de concreto patrón.

Concreto patrón		
	7 (días)	28 (días)
Número de Probetas Cilíndricas para Compresión	3	3
Número de Vigas para Flexión	3	3
Número de Probetas Cilíndricas para Propiedades Físicas en estado endurecido	-	3
Número de Vigas para Durabilidad	-	3
TOTAL PARCIAL POR DÍA DE ROTURA	6	12
TOTAL DE ESPECÍMENES PARA PATRÓN	6	18

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 10. Muestreo de concreto con adición de nanoplaquetas de grafeno en porcentajes de 0.27% y 0.33%.

Concreto con adición de nanoplaquetas de grafeno en porcentajes de 0.27% y 0.33%		
	7 (días)	28 (días)
Número de Probetas Cilíndricas para compresión	3	3
Número de Vigas para Flexión	3	3
TOTAL SUMA	6	6

Número de dosificaciones de nanoplaquetas 0.27% y 0.33%	2	2
TOTAL PRODUCTO	12	12
Número de Probetas Cilíndricas para Propiedades Físicas en estado endurecido	-	3
Número de vigas para Durabilidad	-	3
TOTAL DE ESPECÍMENES ADICIONADOS		30

Fuente: Elaboración propia.

En total la presente investigación estará compuesta de 18 especímenes para concreto patrón y 30 especímenes para el concreto con adición de nanoplaquetas de grafeno en porcentajes de 0.27% y 0.33% siendo un total de 48 especímenes.

❖ **Métodos**

➤ **Ensayos para las Nanoplaquetas de Grafeno**

✓ **Ensayo de dispersión.**

El presente ensayo se realizó con el fin de determinar el tiempo y potencia óptimos de dispersión de nanoplaquetas de grafeno en agua, a modo de asegurar una mezcla uniforme en el concreto. Debido a sus propiedades magnéticas, las nanoplaquetas tienden a aglomerarse cuando son añadidas a algún líquido.

En el presente ensayo se evaluará 3 muestras de nanoplaquetas de grafeno dispersadas, 20, 40 y 60' para evaluar con qué tiempo las nanoplaquetas perduran más tiempo dispersadas una vez retiradas de la máquina. Así mismo, se optó por usar una potencia de ultrasonido de 120 W equivalente a la potencia media de la capacidad máxima de la máquina, esto debido a que una potencia mayor podría dañar la nanoestructura de las nanoplaquetas.

Aparatos o equipos:

- Vasos de precipitación.
- Balanza.
- Máquina de ultrasonidos

Procedimiento:

- Se limpiaron los vasos de precipitación.
- Se pesaron los 3 vasos de precipitación vacíos para tener un valor numérico en caso de requerirse una corrección por tara.

- Se procedió a tarar la balanza para luego proceder a pesar una muestra de 5g de nanoplaquetas de grafeno en un cuarto vaso precipitación.
- En los 3 primeros vasos de precipitación se agregaron 400 ml de agua como solución dispersante.
- Se incorporó los 5g de nanoplaquetas a los 3 vasos.
- Se procedió a remover con un palillo de madera para que las nanoplaquetas de grafeno se incorporen con el agua.
- Se tomó registro fotográfico de la visualización en estado de reposo y sin dispersión de las nanoplaquetas de grafeno en agua.
- Se colocó una temperatura ambiente de 23°C en la máquina y se cronometró los 60 minutos de dispersión, divididos en 20' por cada vaso. La temperatura se determinó en temperatura ambiente, puesto que aumentarla o disminuirla podría incidir en las propiedades del concreto fresco.
- Seguidamente se realizó una revisión visual del estado de dispersión de cada muestra.
 - La muestra extraída a los 20', 40' y 60' de dispersión se evaluó en la primera y segunda hora, por último, se revisó a las 24h después de realizada la dispersión. Para efectos de orden en el procedimiento, se etiquetará de la siguiente manera a cada muestra:
 - Muestra con 20 minutos de dispersión: **M-20'**.
 - Muestra con 40 minutos de dispersión: **M-40'**.
 - Muestra con 60 minutos de dispersión: **M-60'**.

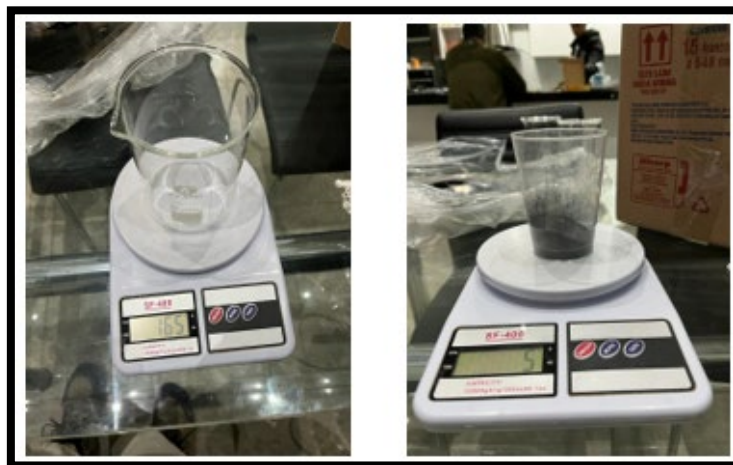


Figura 4. Peso de vaso de precipitación vacío y con muestra.

Fuente: Propia.



Figura 5. Peso de la solución dispersante, adición de los 5g de nanoplaquetas de grafeno y primer mezclado con palillo de madera.

Fuente: Propia.

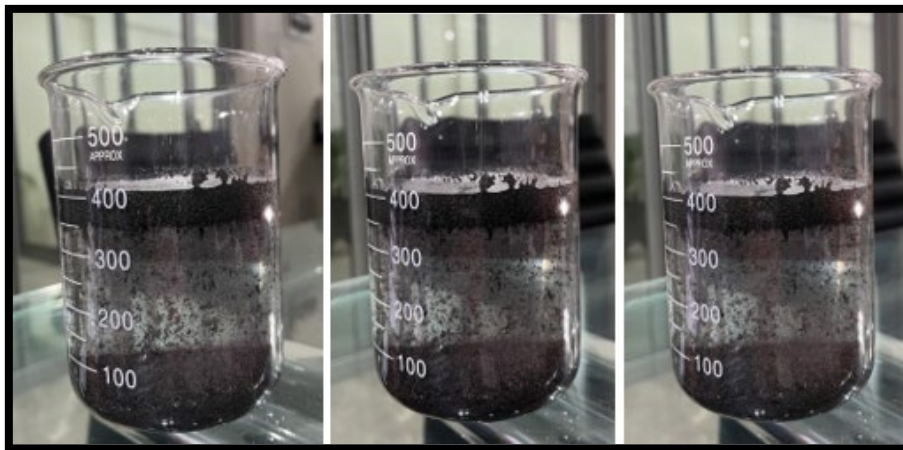


Figura 6. Muestras en reposo pre inicio de dispersión, M-20', M-40' y M-60'.

Fuente: Propia.

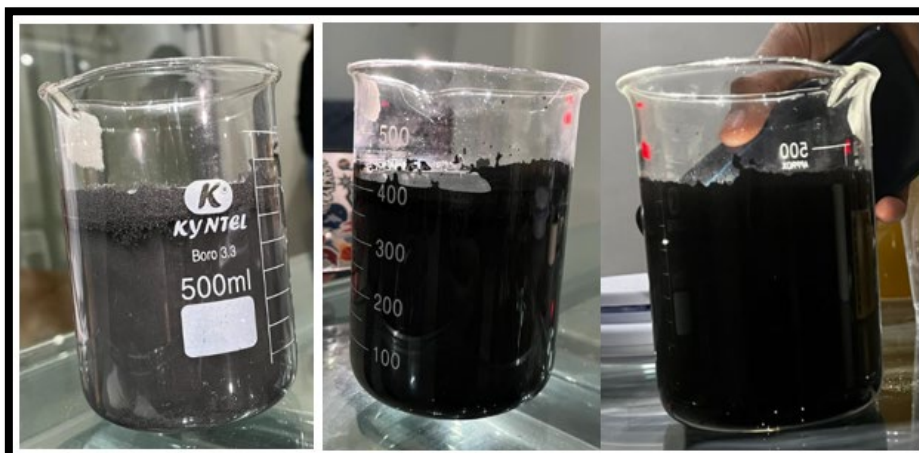


Figura 7. Muestra M-20', M-40' y M-60' después de su respectivo tiempo de dispersión, recién retiradas de la máquina.

Fuente: Propia.



Figura 8. Muestra M-20', M-40' y M-60' una hora en reposo después de su dispersión.
Fuente: Propia.



Figura 9. Muestra M-20', M-40' y M-60' dos horas en reposo después de su dispersión.
Fuente: Propia.



Figura 10. Muestra M-20', M-40' y M-60' doce horas en reposo después de su dispersión.
Fuente: Propia.

➤ **Ensayos para los agregados**

Para asegurar que el agregado tanto fino como grueso sea de la mejor calidad y cumpla con los requisitos dados por la norma, se procedió a visitar y extraer una muestra de 3 canteras diferentes, en algunos casos se optó por visitar únicamente zonas de acopio. A cada una de las muestras extraídas se le realizó los ensayos respectivos para finalmente elegir la mejor opción.

- Cantera Pátapo – La Victoria (Arena).

Los agregados de esta cantera se tomaron de proveedores locales que se encuentran circundantes a la ciudad de Chiclayo. Esto debido a que el agregado más comercial es el de esta cantera.



Figura 11. Obtención de muestra de agregado fino de proveedor de la cantera de Pátapo - La Victoria.

Fuente: Propia.

- Cantera Ferreñafe (Piedra de 1/2”).



Figura 12. Obtención de muestra de agregado grueso de la cantera de Ferreñafe.

Fuente: Propia.

- Cantera Pacherez (Piedra de 1/2”).

Los agregados de esta cantera se tomaron de proveedores locales que se encuentran circundantes a la ciudad de Chiclayo.



Figura 13. Obtención de muestra de agregados de proveedor de la cantera de Pachérres.
Fuente: Propia.

- Cantera tres tomas (Arena y Piedra de ½”).



Figura 14. Obtención de muestra de agregados de la "Cantera 3 tomas".
Fuente: Propia.

Finalmente, luego de procesar en el laboratorio cada una de las muestras extraídas, realizando los ensayos respectivos. Para el agregado fino se optó por usar de la cantera 3 tomas y para el agregado grueso de la cantera de Pachérrez.

Las muestras de agregado fino de las demás canteras no cumplieron los requisitos granulométricos, y para el agregado grueso de igual forma. Cabe mencionar que se pudo observar un exceso de finos producto del polvo y de las condiciones en las que se encuentra reposando el agregado en las canteras.

✓ Contenido de humedad del agregado fino y grueso

Procedimiento:

- En un recipiente se colocó una muestra del agregado fino y grueso, posteriormente se llevó a un horno con una temperatura de 110° por 24 horas. Transcurrido este tiempo, la muestra se extrajo del horno y se dejó reposar por una hora antes de pesar, para que todo residuo de humedad se evapore.



Figura 15. Colocación de agregados al horno para ensayo de contenido de humedad.

Fuente: Propia.

✓ Análisis granulométrico de agregado fino y grueso

Agregado Fino

Procedimiento:

- Se pesó una muestra de 500g en la balanza electrónica. Dicha muestra se lavó por la malla N°200 para quitar partículas propias del polvo de las canteras que son impropias a las partículas del agregado base que proviene de la molienda.
- La muestra se colocó al horno a 110°C aproximadamente por 24 horas.
- Después de retirar la muestra se pesó y se procedió con el tamizado por los tamices normados con movimientos de vaivén.
- Se tomó registro de cada uno de los pesos retenidos por tamiz, incluyendo el fondo y fueron registrados en la hoja de ensayo de materiales.



Figura 16. Procedimiento para el análisis granulométrico del agregado fino.

Fuente: Propia.

Agregado Grueso

Procedimiento:

- Se tomó una porción del agregado grueso y se procedió a realizar el cuarteo, de las 4 porciones se tomó la más representativa visualmente en cuanto a variedad de tamaños de las partículas.
- Seguidamente se procedió a pesar dicha muestra en la balanza electrónica.
- Posteriormente se procedió a tamizar por las mallas normadas, mencionadas anteriormente, anotando todos los datos en la hoja de ensayo de materiales.



Figura 17. Procedimiento para el análisis granulométrico del agregado grueso.

Fuente: Propia.

✓ **Peso unitario del agregado fino y grueso**

Peso unitario suelto del agregado fino y grueso.

Procedimiento:

- Se llenó el recipiente con una pala hasta rebasar el límite del mismo, dejando caer el agregado desde una altura máxima de 5 cm, medidos desde el borde superior del recipiente.
- Se enrasó con una varilla eliminando el material excedente.
- Posteriormente se determinó el peso neto del agregado.
- Este proceso se realizó 4 y se tomó los dos valores más cercanos para obtener un promedio.

Peso unitario compactado del agregado fino y grueso.

Procedimiento:

- Se llenó el recipiente en tres partes, por cada parte llenada se apisonó con la barra compactadora mediante 25 golpes distribuidos en forma espiral y 15 golpes con la comba de goma, tomando en cuenta que por cada parte llenada la barra compactadora no deberá sobrepasar la capa anterior y que los golpes se deben realizar a la altura de la capa llenada.
- En la última parte se llenó hasta rebasar el límite superior del recipiente y se enrasó.
- Finalmente se determinó el peso neto del agregado para obtener el peso unitario compactado.
- Este proceso se realizó 5 y se tomó los dos valores más cercanos para obtener un promedio.



Figura 18. Procedimiento para hallar el peso unitario compactado del agregado fino.
Fuente: Propia.



*Figura 19. Procedimiento para hallar el peso unitario compactado del agregado grueso.
Fuente: Propia.*

✓ **Peso específico y absorción del agregado grueso**

Peso específico

Procedimiento:

- Se tomó dos muestras representativas provenientes del cuarteo realizado para el agregado.
- Posteriormente se lavó la muestra completamente para eliminar el polvo y demás impurezas, cabe recalcar que se rechazó todo material que pasara por el tamiz N°4.
- Seguidamente se sumergió la muestra por 24 horas, transcurrido este tiempo se sacó la muestra del agua y se dejó secar a temperatura ambiente, adquiriendo así la muestra una condición de saturación superficialmente seco.
- La muestra se pesó y se colocó en la cesta de alambre para determinar su peso en agua.
- Finalmente, la muestra se colocó al horno por 24 horas, transcurrido este tiempo se retiró y antes de pesar se dejó enfriar a temperatura ambiente.

Absorción

Procedimiento:

- El grado de absorción se determinó con datos obtenidos del ensayo de peso específico, se utilizó el peso en el aire de la muestra seca al horno y el peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca.



*Figura 20. Figura para hallar el peso específico y absorción del agregado grueso.
Fuente: Propia.*

✓ **Peso específico y absorción del agregado fino**

Peso específico

Procedimiento:

- Se tomó dos muestras de 500g con el método del cuarteo.
- Seguidamente se pesó cada una de las fiolas vacías para luego llenarlas con el material pesado.
- Posteriormente se llenó con agua las fiolas hasta alcanzar la marca indicada correspondiente a 500 cm³.
- A continuación, se hizo rotar el frasco en la palma de la mano hasta eliminar todas las burbujas de aire para seguidamente dejar reposar por una hora y terminar de llenar con agua hasta alcanzar la marca de 500 cm³.
- Se determinó el peso total del agua introducida y se procedió a extraer el agua, después de ello se colocó el material en un recipiente y fue llevado al horno por 24 horas.
- Finalmente, con las muestras extraídas del horno se procedió a realizar el cálculo del peso específico.

Absorción

Procedimiento:

- El grado de absorción se determinó con datos obtenidos del ensayo de peso específico, se utilizó el peso en el aire de la muestra seca al horno y el peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca.



Figura 21. Procedimiento para hallar el peso específico y absorción del agregado fino.

Fuente: Propia.

✓ Contenido de sales en agregado fino y grueso

Procedimiento:

- Se procedió a realizar la preparación de las muestras secando a temperatura ambiente tanto el agregado fino como el agregado grueso, para el último se trituró una pequeña porción.
- Seguidamente se tamizó la muestra por el tamiz N°10 y se pesaron 100g
- A continuación, se agregaron 300 ml de agua destilada, se tapó el frasco, y se agitó y se dejó decantar por un lapso de una hora.
- Después se colocó el papel filtrante Whatman de 125 mm de diámetro en el embudo y se comenzó a colocar el agua en una probeta hasta alcanzar los 100mm.
- Del agua filtrada se tomaron dos muestras con un peso aproximado de 50ml y se colocaron en un Becker de peso conocido.
- Finalmente se llevaron al horno por un tiempo de 24 horas, para seguidamente pesar y obtener el porcentaje de residuo de sales.



Figura 22. Procedimiento para determinar el contenido de sales en el agregado fino y grueso.

Fuente: Propia.

✓ Abrasión de los agregados gruesos con máquina de los ángeles

Procedimiento:

- Se colocó la muestra a ensayar con su respectiva carga en la máquina de los ángeles, la velocidad del cilindro se programó en 30 rpm, con un número de vueltas total de 500.
- Seguidamente se retiró el material y se tamizó por el tamiz N°12, para posteriormente ser pesado.
- Finalmente se determinó la resistencia al desgaste.

➤ Diseño de mezcla

El método del ACI 211.4 es un método semiempírico y es aplicable a concretos de peso normal, siendo sus consideraciones básicas de diseño la determinación de los materiales que producen el concreto, la principal diferencia radica en la presentación de tablas que permiten diseñar con la adición de aditivos superplastificantes, sin embargo, el método recomienda elaborar varias pruebas en laboratorio y en el campo hasta encontrar la mezcla deseada, sobre todo, al hacer uso de aditivos superplastificantes ya que dada la interacción con los demás materiales varía según la composición del aditivo y la reacción que produce.

A continuación, se detallan los pasos seguidos en la utilización de este método.

- **Paso 1: Selección del slump y determinación de la resistencia del concreto requerida o promedio.**

Selección del slump

El método recomienda que en caso de no tener una medida inicial del slump, se deberá usar un slump de 1" a 2" antes de adicionar el superplastificante, esto para

asegurar una adecuada cantidad de agua para la mezcla, así como también asegurar que el superplastificante sea efectivo.

Tabla N° 11. Slump para concretos de alta resistencia con y sin superplastificante.

Slump con SP	Slump sin SP
1" - 2"	2" - 4"

Fuente: ACI 211.4

En la presente investigación se optó por hacer uso de un superplastificante, esto debido a que, en concretos de alta resistencia sin el uso de aditivos, el concreto pierde trabajabilidad y complica su consolidación debido al mayor contenido de material cementante y agregado grueso. Por ello se decidió trabajar con un slump de 2".

Resistencia del concreto requerida o promedio

El cálculo de la resistencia requerida está en función de la resistencia de diseño, por ello cuando no se tiene registro de resistencia de probetas correspondientes a obras y proyectos anteriores, se hace uso de la tabla N°12, la cual se rescató del método propuesto por la ACI 211.1.

Tabla N° 12. Resistencia a la compresión requerida.

Resistencia a la compresión	
f'_c	f'_{cr}
Menos de 210	$f'_c + 70$
210 a 350	$f'_c + 84$
Más de 350	$f'_c + 98$

Fuente: ACI 211.1

Así mismo, haciendo uso de los datos de la tabla N°8 es que se utilizó la siguiente ecuación para calcular la resistencia promedio del concreto a los 28 días, debido a que la resistencia de trabajo en la presente investigación es de 500 kg/cm².

$$f'_{cr} = \frac{f'_c + 98}{0.9}$$

- **Paso 2: Selección del tamaño máximo del agregado "TM".**

Basado en el requerimiento de resistencia, el ACI 318 brinda la tabla N°13 que establece el tamaño máximo del agregado grueso en función de tres criterios, el primero es que no debe exceder 1/5 de la menor dimensión entre las caras de encofrados, segundo, no debe exceder 3/4 del espacio libre mínimo entre refuerzos, y tercero, no debe exceder 1/3 del espesor de la losa.

Tabla N° 13. Tamaño máximo del agregado grueso.

Resistencia requerida del concreto (kg/cm ²)	Tamaño máximo del agregado
< 630	3/4" - 1"
> 630	3/8" - 1/2"

Fuente: ACI 318

Debido a que nuestra resistencia requerida es de 664 kg/cm², se ha optado por utilizar piedra con un tamaño máximo de 1/2" que es lo recomendado por el método, para la presente investigación se utilizó piedra de 1/2" comercial, la cual tiene un tamaño máximo de 3/4".

- **Paso 3: Selección del contenido óptimo de agregado grueso.**

El contenido óptimo recomendado que se muestra en la tabla N°14, está expresado como una fracción del peso unitario compactado (PUC) y el tamaño máximo nominal del agregado. Cabe recalcar que, en las mezclas de concreto de resistencias normales, el contenido óptimo de agregado grueso está en función del módulo de fineza y el tamaño máximo nominal del agregado, sin embargo, en concretos de alta resistencia debido al alto contenido de material cementante no es dependiente del agregado fino para lograr la lubricación y compactibilidad de la mezcla.

Tabla N° 14. Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

Tamaño nominal máximo	3/8"	1/2"	3/4"	1"
Fracción volumétrica Psag	0.65	0.68	0.72	0.75

Fuente: ACI 211.4

Una vez ubicada la fracción volumétrica, se calculó el peso seco del agregado grueso haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$\text{Peso seco del agregado grueso} = \%Psag * P.U.C.$$

- **Paso 4: Estimación del agua de mezcla y contenido de aire.**

La cantidad de agua está en función del TMN, forma de las partículas, gradación del agregado, cantidad de cemento y tipo de plastificante o superplastificante a usar. La tabla N°15 permite una primera estimación del agua de mezclado, esta cantidad de agua es estimada sin la adición de aditivo y es útil únicamente para agregado grueso con tamaño máximo entre 1" y 3/8".

Tabla N° 15. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire basado en el uso de una arena con 35% de vacíos.

Slump	Agua de mezclado en kg/m ³ para los			
	tamaños máximos de agregados gruesos			
	Indicados			
	3/8"	1/2"	3/4"	1"
1"-2"	183	174	168	165
2"-3"	189	183	174	171
3"-4"	195	189	180	177
Aire Atrapado				
Sin superplastificante	3	2.5	2	1.5
Con superplastificante	2.5	2	1.5	1

Fuente: ACI 211.4

El método indica que antes de calcular la cantidad de agua se debe realizar el cálculo del contenido de vacíos del agregado fino, y este se deberá determinar con la siguiente ecuación:

$$\text{Contenido de vacíos, } V\% = \left(1 - \frac{P. U. C.}{\text{Peso específico}}\right) * 100$$

Si el contenido de vacíos calculado no es 35% se deberá realizar un ajuste del agua de mezclado mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Ajuste del agua de mezclado, } A \text{ kgm}^3 = 4,72 * (V - 35)$$

Se recomienda a su vez que cuando la gradación de la arena no es del todo uniforme, se deberá realizar el ajuste del agua de mezclado sólo cuando el contenido de vacíos sea mayor al 35%. Para la presente investigación se ha optado por no realizar el ajuste, ya que el contenido de vacíos es menor al 35%, y este reduciría la cantidad de material cementante.

La cantidad de agua de mezclado calculada mediante el uso de este método son máximas para un agregado que cumple con los límites de la norma ASTM C 33. Así mismo, este valor es referencial y depende además de la morfología y textura de las partículas del agregado fino, por ello, se deberá corroborar mediante ensayos de laboratorio.

- **Paso 5: Selección de la relación agua – material cementante (a/mc).**

La relación a/mc está en función de la resistencia promedio, la edad, y el tamaño máximo del agregado grueso, siendo así, el método divide este paso en dos tablas, la tabla N°16 que sirve para el diseño de concretos con superplastificante y la tabla N°17 para concretos con superplastificante. La que se usó en la presente investigación es la tabla N°17.

Tabla N° 16. Relación a/mc para concretos sin superplastificante.

Resistencia promedio fcr kg/cm²	Edad (días)	Relación a/cm para los tamaños máximos de agregados gruesos indicados			
		3/8"	1/2"	3/4"	1"
500	28	0.41	0.4	0.39	0.38
	56	0.44	0.43	0.42	0.42
550	28	0.36	0.35	0.34	0.34
	56	0.39	0.38	0.37	0.36
600	28	0.32	0.31	0.31	0.3
	56	0.35	0.34	0.33	0.32
650	28	0.29	0.28	0.28	0.27
	56	0.32	0.31	0.3	0.29
700	28	0.26	0.26	0.25	0.25
	56	0.29	0.28	0.27	0.26

Fuente: ACI 211.4

Tabla N° 17. Relación a/mc para concretos con superplastificante.

Resistencia promedio fcr* kg/cm²	Edad (días)	Relación a/cm para los tamaños máximos de agregados gruesos indicados			
		3/8"	1/2"	3/4"	1"
500	28	0.49	0.47	0.45	0.42
	56	0.54	0.51	0.47	0.45
550	28	0.44	0.42	0.4	0.39
	56	0.49	0.46	0.43	0.41
600	28	0.4	0.38	0.36	0.35
	56	0.44	0.41	0.39	0.37
650	28	0.36	0.35	0.33	0.32
	56	0.4	0.38	0.36	0.34
700	28	0.33	0.32	0.31	0.3
	56	0.37	0.35	0.33	0.32
750	28	0.31	0.3	0.28	0.28
	56	0.34	0.32	0.3	0.3
800	28	0.29	0.28	0.26	0.26
	56	0.32	0.3	0.28	0.28
850	28	0.27	0.26	0.25	0.25
	56	0.3	0.28	0.27	0.26

Fuente: ACI 211.4

En este paso se recomienda tabular según la resistencia promedio requerida, tomando en cuenta que para hacer uso de las tablas se deberá multiplicar el f'cr por un valor de 0.9 previamente. Seguidamente se aplicó la siguiente ecuación y con ello se pudo obtener la cantidad de material cementante.

$$\text{Material cementante} = \frac{\text{Cantidad de agua de mezclado}}{a/c}$$

- Paso 6: Determinación de la cantidad de adición de superplastificante.

Para este paso se tomó en cuenta la ficha técnica del superplastificante a usar y su dosificación recomendada, sin embargo, la dosificación ideal será producto de la experimentación en laboratorio.

- **Paso 7: Determinación de la dosificación de la mezcla base.**

Para ello se recopiló las cantidades obtenidas de los anteriores pasos, cemento, agregado grueso, agua, aire y aditivo, con ello se realizó una sumatoria y la diferencia de esta con el valor unitario por m³ de concreto es la cantidad de agregado fino a utilizar. Con estos valores se tendrá el diseño de mezcla en condiciones iniciales secas.

- **Paso 8: Ajuste por el contenido de agua de los agregados.**

Se corrigió el agua debido a la cantidad de agua en estado natural presente tanto en el agregado grueso como el fino, obteniendo así el agua efectiva del diseño de mezcla.

- **Paso 9: Diseño de mezcla en condiciones húmedas.**

Se presentó el diseño de mezcla en condiciones húmedas, en otras palabras, con las condiciones del agregado en estado natural.

- **Paso 10: Dosificación en peso.**

La dosificación del diseño de mezcla en peso fue la recopilación de todas las cantidades calculadas anteriormente, incluyendo los ajustes.

- **Paso 11: Dosificación en volumen.**

La dosificación en volumen fue el resultado del cálculo de materiales por tanda y el cálculo del peso unitario suelto húmedo en kg/m³.

- **Elaboración de los especímenes de concreto**

- ✓ **Mezcla del concreto**

Para la mezcla del concreto se tomó en cuenta lo siguiente:

Moldes

Para las probetas cilíndricas se utilizaron moldes de plástico de 4"x8" conforme con la norma ASTM C-31 / ASTM C470, se eligió estas dimensiones debido a que el concreto trabajado es de alta resistencia. Para las vigas se usaron moldes metálicos de 6"x6"x21" conforme con la norma ASTM C78.

Procedimiento:

Tanto para el concreto patrón como para el concreto adicionado, antes de cada vaciado se controló la temperatura de los materiales a usar, así como también, se hizo uso de un medidor de humedad tipo Speedy con lo cual se hizo una corrección de la cantidad de agregado fino a colocar al trompo, se adjunta las tablas de corrección “indicación vs humedad” en el Anexo N° 06.



Figura 23. Ensayo para corrección de indicación vs humedad mediante Speedy.
Fuente: Propia.

Para concreto patrón

- Primeramente, se colocó una primera porción del agua de mezcla en el trompo previamente humedecido.
- Seguidamente se colocó la piedra y se dejó remover por 30 segundos, posterior a ello se colocó la arena y el cemento.
- En la segunda y última parte del agua de mezcla se colocó el aditivo superplastificante, una vez disuelto fue vertido inmediatamente al trompo.
- El tiempo de mezclado se midió a partir de la adición del aditivo superplastificante, y este fue de 5 minutos como mínimo por recomendación de la ficha técnica del superplastificante usado.

Para concreto adicionado

- Se colocaron a dispersar las nanoplaquetas de grafeno en 500ml del agua de mezcla una hora antes de su adición al trompo.
- El procedimiento siguiente fue el mismo que el adoptado en el concreto patrón, con la diferencia de que las nanoplaquetas de grafeno se agregaron inmediatamente después de la adición del aditivo superplastificante.



Figura 24. Procedimiento para la mezcla del concreto adicionado.
Fuente: Propia.



Figura 25. Procedimiento para la mezcla del concreto adicionado.
Fuente: Propia.

✓ Elaboración de los especímenes cilíndricos de concreto

Procedimiento

- El molde a utilizar fue completamente nuevo, y este se engrasó para evitar que el concreto se adhiriera al mismo. Si no fuera nuevo, se recomienda que este se encuentre completamente limpio y libre de restos de concreto.
- Los moldes se colocaron en una superficie limpia, nivelada y protegida de las posibles vibraciones externas y otros factores que pudieran causar movimientos repentinos después del vaciado.
- Las herramientas a usar como la varilla, cucharón y plancha fueron humedecidas para evitar que absorbieran agua del concreto.
- El llenado de los moldes se realizó en tres capas, cada una de ellas a 1/3 de la altura del mismo. Se compactó con 25 golpes

con la varilla y 15 en los laterales con el mazo de goma, tal como indica la norma.

- Una vez llenados se procedió a enrasar con la plancha, buscando una superficie suave y plana.
- Para finalizar se realizó el etiquetado de cada probeta.



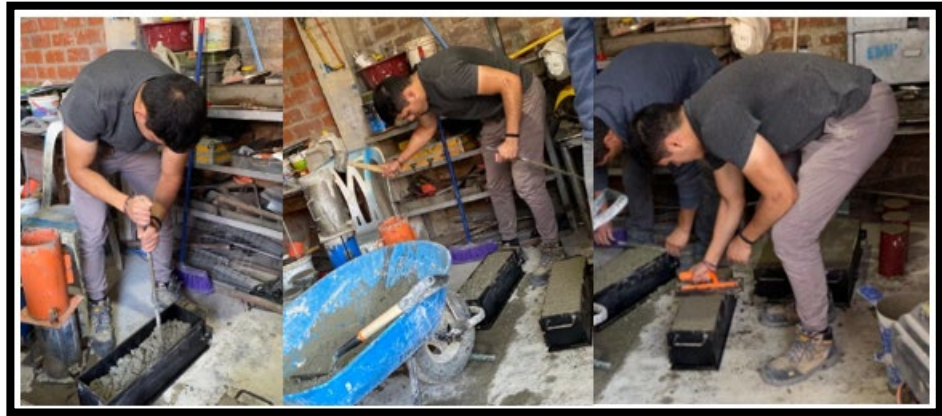
*Figura 26. Elaboración de especímenes cilíndricos de concreto.
Fuente: Propia.*

✓ Elaboración de vigas de concreto

Procedimiento

- El molde a utilizar fue limpiado de todo resto de concreto mediante una escobilla de cerdas de acero.
- Los moldes se colocaron en una superficie limpia, nivelada y protegida de las posibles vibraciones externas y otros factores que pudieran causar movimientos repentinos después del vaciado.
- Las herramientas a usar como la varilla, cucharón y plancha fueron humedecidas para evitar que absorbieran agua del concreto.
- El llenado de los moldes se realizó en dos capas, cada una de ellas a 1/2 de la altura del mismo. Se compactó con la varilla uno por cada 14 cm² o 2pulg² de superficie, así como también, de 10 a 15 golpes en los laterales con el mazo de goma, tal como indica la norma.
- Una vez llenados se procedió a enrasar con la plancha, buscando una superficie suave y plana.

- Para finalizar se realizó el etiquetado de cada viga.



*Figura 27. Elaboración de vigas de concreto.
Fuente: Propia.*

✓ Protección de los especímenes de concreto

Procedimiento

- Los especímenes cilíndricos y de viga de concreto no fueron movidos hasta después de su consolidación para desmoldarlos, se procedió a desmoldar a las 24 horas del vaciado. Los especímenes cilíndricos fueron desmoldados mediante aire comprimido y las vigas mediante el mecanismo de desmolde propio de la viga metálica. Se debe evitar golpear los especímenes para evitar posibles fisuras.
- Los especímenes estuvieron protegidos del viento y sol, a una temperatura ambiente de 16°C a 23°C.

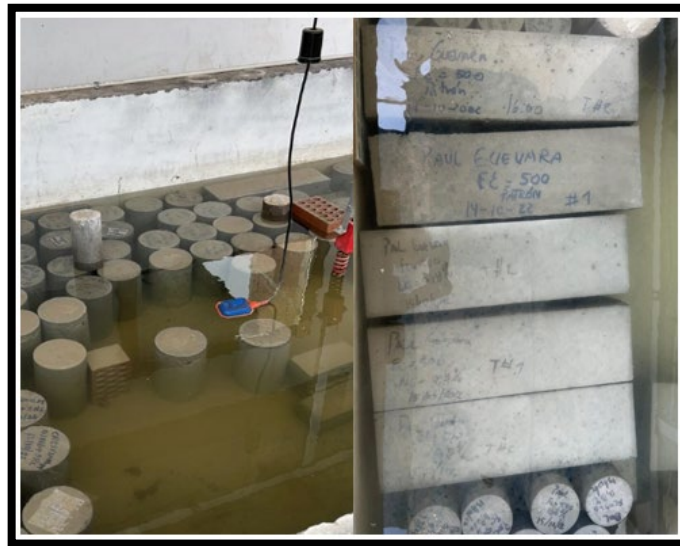


*Figura 28. Protección de especímenes de concreto.
Fuente: Propia.*

✓ Curado de los especímenes de concreto

Procedimiento

- Después de desmoldar, los especímenes de concreto fueron colocados inmediatamente en una poza, con temperatura controlada. Dicha poza contenía agua potable y limpia, la cual cubría completamente los especímenes.



*Figura 29. Procedimiento para el curado de los especímenes de concreto.
Fuente: Propia.*

➤ Ensayos de calidad del concreto

✓ Concreto en estado fresco

Peso unitario

Procedimiento:

- Se procedió a medir y pesar el molde cilíndrico de plástico.
- Luego se llenó el molde en tres partes, por cada parte con la varilla se compactó 25 veces y con el maso de goma se golpeó 15 veces en los laterales del molde.
- Finalmente se enrasó y se pesó el molde de plástico para determinar el peso unitario del concreto.



Figura 30. Procedimiento para determinar el peso unitario del concreto en estado fresco.

Fuente: Propia.

Asentamiento

Procedimiento:

- El cono de Abrams, la varilla y la base metálica fueron humedecidos previamente antes de colocar la mezcla.
- Se colocó la mezcla en tres partes, por cada parte se compactó con la varilla realizando movimientos circulares y con la varilla recta en todo momento, unas 15 veces por cada capa.
- Luego se enrasó con la varilla y se levantó el cono de Abrams lo más vertical posible.
- Finalmente se colocó la varilla y a partir de ella se midió la altura hacia el centro de la mezcla.



Figura 31. Ensayo de asentamiento del concreto en estado fresco.

Fuente: Propia.

Temperatura

Procedimiento:

- Se introdujo el termómetro en la mezcla de concreto contenida en el molde cilíndrico.
- Seguidamente se presionó el concreto de la superficie alrededor del termómetro.
- Después de dos minutos se tomó registro de la temperatura una vez estabilizado el termómetro.
- La medición de temperatura se realizó dentro de los 5 minutos después de que se obtuvo a muestra.



Figura 32. Procedimiento para determinar la temperatura del concreto.
Fuente: Propia.

✓ **Concreto en estado endurecido**

Densidad, absorción y vacíos

Procedimiento:

- Primeramente, se verificó que las probetas presenten un volumen mínimo de 350 cm³ o una masa aproximada de 800g.
- Seguidamente se extrajo un disco de 50 ± 3 mm de espesor, realizando los cortes y descartando los discos de los extremos.
- Con los discos cortados, se dejó secar en el horno a 110°C por 24 horas, posterior a ello se retiró y se colocó dentro de un desecador para que enfríe a temperatura ambiente,

una vez enfriado se procedió a pesar la primera masa. Después se volvió a colocar el disco al horno por 24 horas y se verificó que la diferencia de masas sea menor del 0.5% con respecto a la primera masa.

- Con la masa seca calculada, los discos se sumergieron en agua en un recipiente por un tiempo de 48 horas, realizando la misma verificación de masas que en el paso anterior.
- Con la masa sumergida determinada, se colocaron los discos en una olla con agua y se puso a hervir por un periodo de 5 horas, luego se dejó enfriar en un recipiente por 14 horas, con ello se determinó la masa por ebullición.
- Luego realizamos el último procedimiento que consiste en suspender los discos dentro del agua y determinar su masa sumergida aparente.
- Finalmente se realizaron los cálculos pertinentes para determinar la densidad, absorción y vacíos.



Figura 33. Procedimiento para la determinación de la densidad, absorción y vacíos.
Fuente: Propia.

Resistencia a la compresión

Procedimiento:

- Se extrajo los especímenes cilíndricos de la poza de curado y se procedió a realizar las medidas del diámetro de acuerdo a lo estipulado por la normativa vigente, verificando que este no difiera en más de 2% por diámetro

medido. Cabe recalcar que el ensayo se realizó respetando la tolerancia de tiempo permisible de la Tabla N°15.

- Antes de realizar el ensayo, también se verificó que el espécimen no esté fuera de las perpendiculares del eje en más de 0.5” y que ambos extremos o caras sean planas dentro de 0.050 mm.
- Una vez realizadas las verificaciones pertinentes, se colocó el espécimen en la máquina y se alinearon con los bloques de empuje y las almohadillas de neopreno.
- Seguidamente se verificó que el indicador de carga aplicada se encuentre en cero, y se comenzó a aplicar la carga de compresión de forma continua y sin impacto hasta el fallo.
- Para el cálculo se redondeó con precisión de 0.25 mm el diámetro medido en ángulos distintos, con el diámetro se calculó el área y seguidamente la resistencia a la compresión.



Figura 34. Procedimiento para la determinación de la resistencia a la compresión.
Fuente: Propia.

Resistencia a la flexión

Procedimiento:

- Se extrajo las vigas de la poza de curado y el ensayo se realizó manteniendo las mismas condiciones de tiempo y humedad que de los especímenes cilíndricos.
- Se procedió a marcar la viga a $L/3$, a partir de 2.5cm del borde de la viga.

- Seguidamente se colocó la viga sobre las placas de forma que la cara que tuvo contacto con la intemperie durante el vaciado, se encuentre en los laterales, esto fue fácil de identificar puesto que la cara superior e inferior una vez colocada en la máquina serán las más planas y sin irregularidades. Una vez colocada se verificó que se encuentre debidamente en contacto, según lo estipulado por la norma.
- La máquina se programó para rotura de vigas, cumpliendo con que la carga se aplique a una velocidad entre 0.9 MPa/min y 1.2 MPa/min, de esta forma se incrementará constantemente la resistencia de la fibra extrema.
- Finalmente se clasificó el tipo de falla y se procedió a la determinación del módulo de rotura, según las ecuaciones brindadas por la norma.



Figura 35. Procedimiento para determinar la resistencia a la flexión de las vigas de concreto.

Fuente: Propia.

Durabilidad del concreto

Procedimiento:

- Se procedió a realizar el mezclado, en las mismas condiciones mencionadas para los ensayos de compresión y flexión.
- La mezcla resultante, se pasó por el tamiz número 4 para separar la pasta del agregado grueso.

- Una vez obtenida la pasta se realizó el vaciado en los moldes metálicos previamente engrasados, se realizó en tres capas, por cada capa se compactó con la varilla 25 veces y con un pequeño martillo de goma se golpeó 15 veces en los laterales.
- Después de haber transcurrido 24 horas, se procedió a desmoldar. Se tuvo especial cuidado con los pernos de medición a la hora de retirar el molde. Seguidamente, se sumergió en una poza de curado por 24 horas, el agua estuvo saturada con cal.
- Una vez retiradas las vigas del curado, se dejaron secar por 24 horas para luego colocarlas en el dispositivo de soporte. Al contenedor se le agregó la solución sulfatada.
- Finalmente, las mediciones en el reloj comparador de longitudes se realizaron a los 7, 14, 21, 28, 56, 91 y 105 días. Y posterior a los 105 días en el cuarto y sexto mes.



Figura 36. Procedimiento para la determinación de la durabilidad del concreto mediante solución sulfatada.

Fuente: Propia.



Figura 37. Procedimiento para la determinación de la durabilidad del concreto mediante solución sulfatada.

Fuente: Propia.

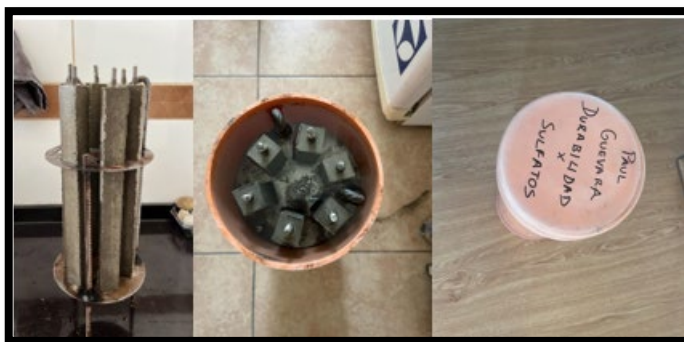


Figura 38. Procedimiento para la determinación de la durabilidad del concreto mediante solución sulfatada.

Fuente: Propia.

❖ Técnicas

Para esta investigación se utilizará como técnica la observación, dado que se basa en un registro sistémico, confiable y valido sobre conductas o circunstancias dadas en el estudio.

Tabla N° 18. Técnica de recolección de datos.

TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	
Observación Directa	Técnica mediante la que se observará como se comporta el concreto de alta resistencia con la adición porcentual de Nanoplaquetas de Grafeno

Fuente: Elaboración propia.

❖ Instrumentos

El instrumento que corresponde a la técnica anteriormente mencionada es la ficha de observación. Dicha ficha se elaborará esencialmente para compilar datos del laboratorio tanto de los ensayos de los materiales, como del concreto patrón y el concreto experimental (concreto con adición de nanoplaquetas de grafeno) en sus diversos porcentajes y a diferentes edades.

Tabla N° 19. Instrumento de Recolección de Datos.

Instrumento de Recolección de Datos	
Ficha de Recolección de Datos	Para registrar la información obtenida en laboratorio y el procesamiento de la información de datos.

Fuente: Elaboración propia.

Para mayor comprensión de la investigación, objetivos, hipótesis, variables a medir, etc. En el Anexo N°06 se encuentra la matriz de consistencia.

❖ Estrategia metodológica para demostrar la hipótesis

Para demostrar la hipótesis planteada en esta investigación los pasos que se llevarán a cabo serán los siguientes.

En primer lugar, se deberá estudiar y procesar las investigaciones realizadas acerca de las aplicaciones del grafeno y sus derivados, que incluye a los Nanotubos de Grafeno y Nanoplaquetas de Grafeno, para poder analizar las diferentes variables o interacciones con agentes externos con los que se ha puesto a prueba el material a la hora de formar materiales compuestos incluyendo el concreto, con la finalidad de tener referencias claras y poder obtener especificaciones de los mejores procesos realizados en la experimentación con este material. Las fuentes utilizadas para tal fin será bibliografía académica confiable obtenida de páginas como “Google Académico”, “ProQuest”, etc.

En segundo lugar, pasaremos a una etapa de ensayos previos dónde se evaluará la dispersión de las Nanoplaquetas de Grafeno a través de la aplicación de ondas ultrasónicas, para establecer parámetros más óptimos de tiempo y potencia.

En tercer lugar, obtendremos y procesaremos los agregados para el diseño de mezcla, realizando los ensayos de granulometría, módulo de fineza, peso unitario, contenido de humedad y capacidad de absorción.

En cuarto lugar, se realizará el diseño de mezcla para determinar la dosificación de cemento, agregado fino, agregado grueso, agua y aditivo superplastificante.

En quinto lugar, se elaborarán los especímenes para el concreto patrón y con adición de nanoplaquetas de grafeno, y posteriormente se ensayarán a los 7 y 28 días, evaluando las propiedades físico-mecánicas y de durabilidad. Para tales ensayos se hará uso del Manual de Diseño de Mezclas de Concreto ACI211, la Norma E-060, Normas Técnicas Peruanas y ASTM. Cabe recalcar que para el ensayo de durabilidad la normativa da un periodo mínimo de 6 meses para que la barra o viga de concreto se encuentre sumergida en la solución sulfatada, periodo durante el cual se deberán realizar las medidas pertinentes, detalladamente se realizará una medición a la primera, segunda, tercera, cuarta, octava, treceava y quinceava semana. Por lo cuál los resultados de la presente investigación se extienden.

En cuarto lugar, se determinarán las ventajas y desventajas de la adición de Nanotubos de Grafeno y los costos de producción provenientes de su uso en mezclas de concreto de alta resistencia.

Finalmente se procederá a estudiar los resultados y realizar la comparación con los resultados obtenidos de otros investigadores para elaborar posteriormente brindar las conclusiones y recomendaciones de la presente investigación.

Resultados y discusión

❖ Ensayos para las Nanoplaquetas de Grafeno

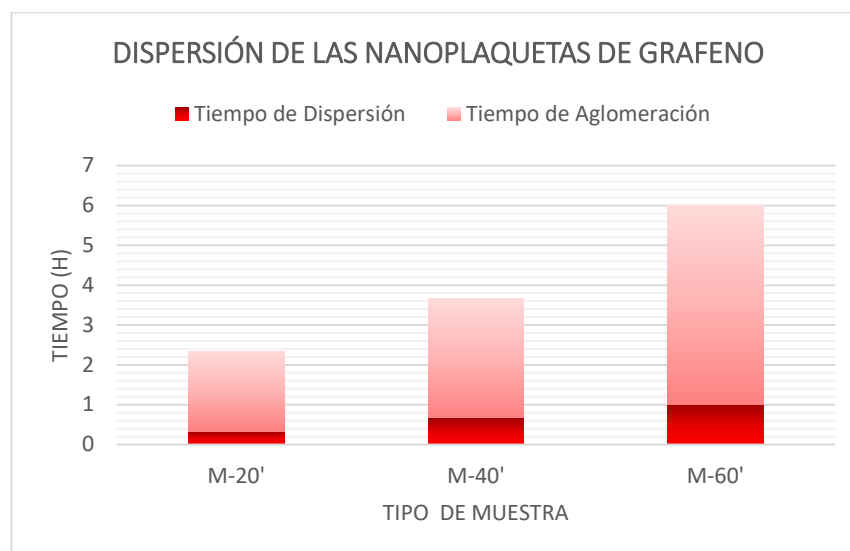
Los resultados del ensayo de dispersión fueron los siguientes:

Tabla N° 20. Porcentaje de aglomeración en el tiempo por tipo de muestra.

TIPO DE MUESTRA	PROCESO	TIEMPO REAL (horas:minutos:segundos)	Δtiempo	% DE AGLOMERACIÓN
M-20'	DISPERSIÓN	19:24:00	00:20:00	Inicio de dispersión
		19:44:00		Fin de dispersión
	AGLOMERACIÓN EN ESTADO DE REPOSO	19:44:00	00:00:00	0.00%
		20:44:00	01:00:00	60.00%
		21:44:00	02:00:00	100.00%
		22:44:00	03:00:00	100.00%
07:44:00	24:00:00	100.00%		
M-40'	DISPERSIÓN	19:24:00	00:40:00	Inicio de dispersión
		20:04:00		Fin de dispersión
	AGLOMERACIÓN EN ESTADO DE REPOSO	20:04:00	00:00:00	0.00%
		21:04:00	01:00:00	40.00%
		22:04:00	02:00:00	80.00%
		23:04:00	03:00:00	100.00%
08:04:00	24:00:00	100.00%		
M-60'	DISPERSIÓN	19:24:00	01:00:00	Inicio de dispersión
		20:24:00		Fin de dispersión
	AGLOMERACIÓN EN ESTADO DE REPOSO	20:24:00	00:00:00	0.00%
		21:24:00	01:00:00	20.00%
		22:24:00	02:00:00	60.00%
		23:24:00	03:00:00	80.00%
00:24:00	04:00:00	100.00%		
08:24:00	24:00:00	100.00%		

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 1. Dispersión y tiempo de aglomeración de las Nanoplaquetas de Grafeno.



Fuente: Elaboración propia.

La muestra M-60', fue elegida para el desarrollo de los ensayos ya que resulta más beneficiosa para el concreto puesto que asegura que las NPG se podrán mezclar uniformemente con los demás materiales, manteniendo su condición dispersa durante el proceso de vaciado y endurecimiento. Esta decisión es contrastable con los resultados obtenidos en [17], ya que en dicha investigación se

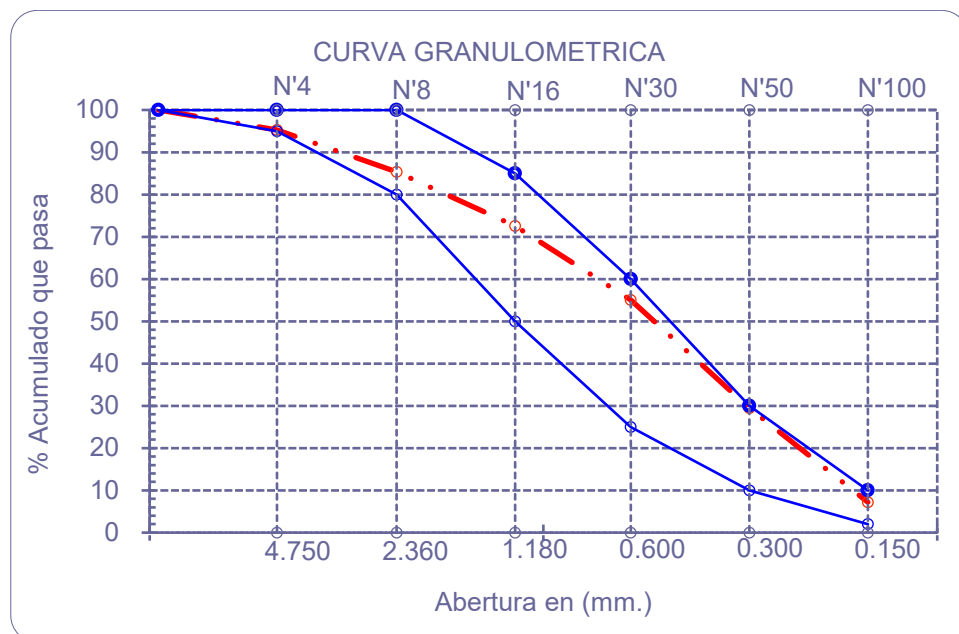
optó por el mismo tiempo de aplicación de 1 hora de aplicación de ondas ultrasónicas con una potencia de 210W.

Se seleccionó una potencia de 120W para evitar cambios en la morfología de las NPG. Aunque se logró una dispersión uniforme en agua, la eficacia para crear enlaces fuertes entre las partículas de cemento hidratado y las NPG y prevenir aglomeraciones en un ambiente cementoso fue limitada [17]. Se requieren estudios con equipo especial para ver a escala micro la forma adecuada de generar dichos enlaces.

❖ Ensayos para los agregados

Los resultados de los ensayos para los agregados fueron los siguientes:

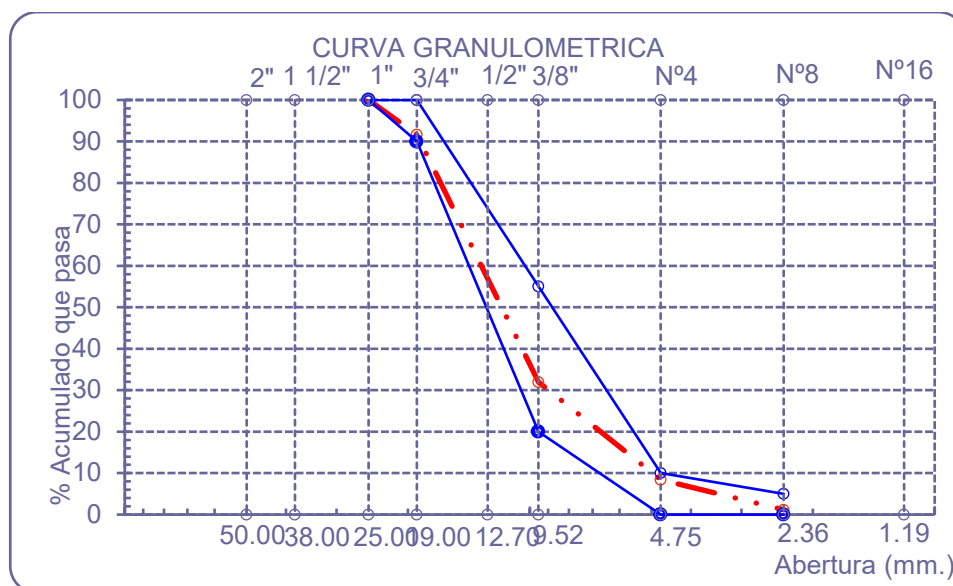
Gráfico N° 2. Curva granulométrica del agregado fino.



Fuente: Elaboración propia.

Según nuestra observación, el material extraído de las canteras visitadas cumple con la norma NTP 400.012 en cuanto a su gradación se refiere, a pesar de presentar una excedencia en la media en las mallas N°30 y N°50.

Gráfico N° 3. Curva granulométrica del agregado grueso.



Fuente: Elaboración propia.

Se observa que el material escogido de las canteras visitadas, cumple con el HUSO 67, demostrando que se encuentra bien gradado.

Tabla N° 21. Resumen de las características del agregado fino.

Agregado fino	
Contenido de Humedad	0.70%
Módulo de Fineza	2.55
Peso Unitario Compactado	1775 kg/m ³
Peso Unitario Suelto Húmedo	1537 kg/m ³
Peso Específico	2600 kg/m ³
Absorción	1.2%
Contenido de Sales	0.08%

Fuente: Elaboración propia.

En una primera observación, es posible afirmar que cuando el contenido de humedad del agregado fino es menor que el de absorción, como ocurre en este caso, el agregado tiende a absorber la humedad del concreto fresco. Esto puede generar problemas en la trabajabilidad y en la adherencia entre el agregado y la pasta de cemento, lo que, a su vez, puede afectar la resistencia y la durabilidad del concreto.

El módulo de fineza del agregado utilizado en la investigación oscila entre 2.1 y 3.2, lo que indica que se empleó adecuadamente en la mezcla de concreto.

Tabla N° 22. Resumen de las características del agregado grueso.

Agregado Grueso	
Contenido de Humedad	0.5%
TMN	3/4"
Peso Unitario Compactado	1626 kg/m ³
Peso Unitario Suelto Húmedo	1437 kg/m ³
Peso Específico	2630 kg/m ³
Absorción	0.9%
Contenido de Sales	0.03%
% Desgaste por Abrasión	22%

Fuente: Elaboración propia.

Al igual que en el agregado fino, el contenido de humedad es menor que el porcentaje de absorción, por lo que se plantea la misma observación en cuanto a su incidencia en la mezcla del concreto.

Se observa además que los pesos específicos obtenidos fluctúan en el rango de 2.4 a 2.9 g/cm³, tanto para el agregado fino como para el agregado grueso, indicando que el material tiene una porosidad aceptable. Se debe tomar en cuenta que un valor menor a 2.4 g/m³ indicaría una mayor porosidad y por ende un mayor porcentaje de absorción, teniendo repercusión en la resistencia del concreto.

Así mismo, los resultados de los ensayos para los agregados completos, con su ficha respectiva se encuentran en el anexo N°08.

❖ **Diseño de Mezcla**

Los resultados del diseño de mezcla se resumen a continuación en la siguiente tabla, dónde la unidad de medida es por metro cúbico de concreto.

Tabla N° 23. Resumen del diseño de mezcla por metro cúbico de concreto.

Diseño de Mezcla por m ³ de Concreto			
Materiales	Patrón	+0.27% NPG	+0.33% NPG
Cemento (kg/m ³)	464.60	464.60	464.60
Agua (Lts/m ³)	208.96	175.64	208.96
Agregado fino (kg/m ³)	777.88	777.88	777.88
Agregado grueso (kg/m ³)	948.86	948.86	948.86
Aditivo (Lts/m ³)	6.39	6.39	6.39
NPG (kg/m ³)	0.00	1.25	1.53

Fuente: Elaboración propia.

Para la presente investigación se optó por dividir el diseño de mezcla en tres tandas; la primera tanda corresponde a los especímenes necesarios para el concreto patrón y está compuesta de 6 probetas cilíndricas para compresión y 3 para propiedades físicas, 6 vigas para flexión y 3 vigas o barras pequeñas para durabilidad por sulfatos, todo ello representa un volumen de 0.09776 m³ de

concreto; la segunda tanda para la adición de 0.27% de NPG está compuesta de 6 probetas cilíndricas para compresión y 3 para propiedades físicas, 6 vigas para flexión y 3 vigas o barras pequeñas para durabilidad por sulfatos, todo ello representa un volumen de 0.09776 m³ de concreto: finalmente la tercera tanda estará compuesta de 6 probetas cilíndricas para compresión y 6 vigas para flexión, lo que representa un volumen de 0.09204 m³ de concreto. Dado que los mejores resultados de resistencia se obtuvieron con la adición de 0.27% de NPG, se optó por realizar la comparativa de los ensayos de las propiedades físicas y de durabilidad por sulfatos con este porcentaje y el concreto patrón. Así mismo, cabe recalcar que se tomó un factor de desperdicio del 10% ya que, al encontrarse en condiciones de laboratorio, el desperdicio fue el mínimo. Siendo así, a continuación, se resume el diseño de mezcla por tandas.

Tabla N° 24. Resumen del diseño de mezcla por metro tandas de vaciado.

Diseño de Mezcla por Tandas			
Materiales	Patrón	+0.27% NPG	+0.33% NPG
Cemento (kg)	45.42	45.42	42.76
Agua (Lts)	76.05	76.05	71.60
Agregado fino (kg)	92.76	92.76	87.34
Agregado grueso (kg)	20.43	20.43	19.23
Aditivo (Lts)	0.62	0.62	0.59
Aditivo (ml)	624.37	624.37	587.85
NPG (g)	0.00	121.12	142.54

Fuente: Elaboración propia.

El resumen de la tabla N°24 es el equivalente total a la cantidad de materiales para 18 especímenes para concreto patrón y 30 especímenes para el concreto con adición de nanoplaquetas de grafeno, siendo un total de 48 especímenes.

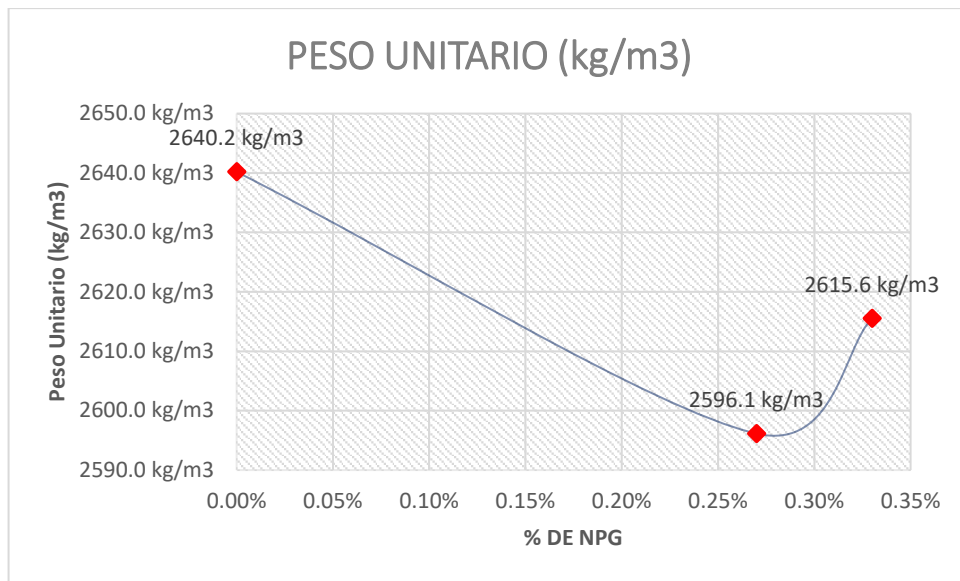
El procedimiento realizado con el paso a paso en el diseño de mezcla se puede encontrar en el Anexo N°09, y en el anexo N°10 los resultados detallados del diseño de mezcla.

❖ **Ensayos del concreto en estado fresco**

➤ **Peso Unitario**

El resultado del ensayo de peso unitario para el concreto patrón y adicionado con nanoplaquetas de grafeno fue el siguiente:

Gráfico N° 4. Peso unitario obtenido para concreto patrón y adicionado con NPG.



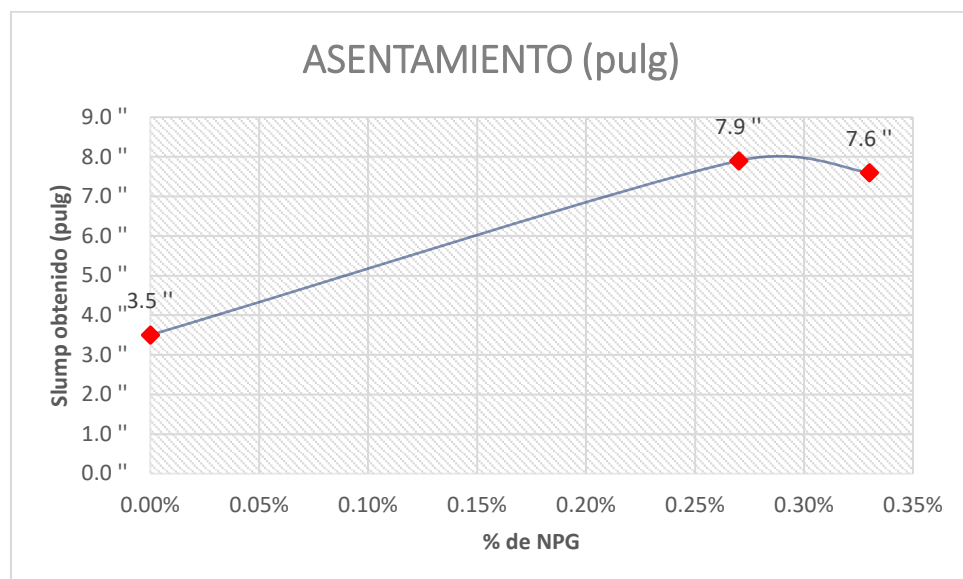
Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en el gráfico, el peso unitario del concreto disminuyó para una adición de 0.27% de NPG a 2596.1 kg/m³ respecto al patrón de 2640.0 kg/m³. Para la adición de 0.33% de NPG, el valor de densidad obtenido es intermedio y corresponde a 2615.6 kg/m³.

➤ **Asentamiento**

El resultado de los ensayos de asentamiento para el concreto patrón y adicionado con nanoplaquetas de grafeno fue el siguiente:

Gráfico N° 5. Slump obtenido para concreto patrón y con adición de NPG.



Fuente: Elaboración propia.

El slump de diseño fue de 2” para un concreto con adición de superplastificante (sección 1. del anexo N°09), sin embargo, como se observa en el gráfico la adición de Sikament TM-312 en un porcentaje de 1.65% sobre el peso del cemento proporcionó un aumento de 1.5” sobre el slump de diseño.

Para la adición de 0.27% de NPG el aumento del slump fue considerablemente alto respecto al concreto patrón, debido a que se obtuvo un slump de 7.9”. Por otra parte, la adición de 0.33% de NPG redujo sensiblemente el slump respecto de la adición de 0.27%, alcanzando un valor de 7.6”. En general, se observa que la interacción entre el aditivo superplastificante y las NPG aumenta la fluidez del concreto de forma considerable.

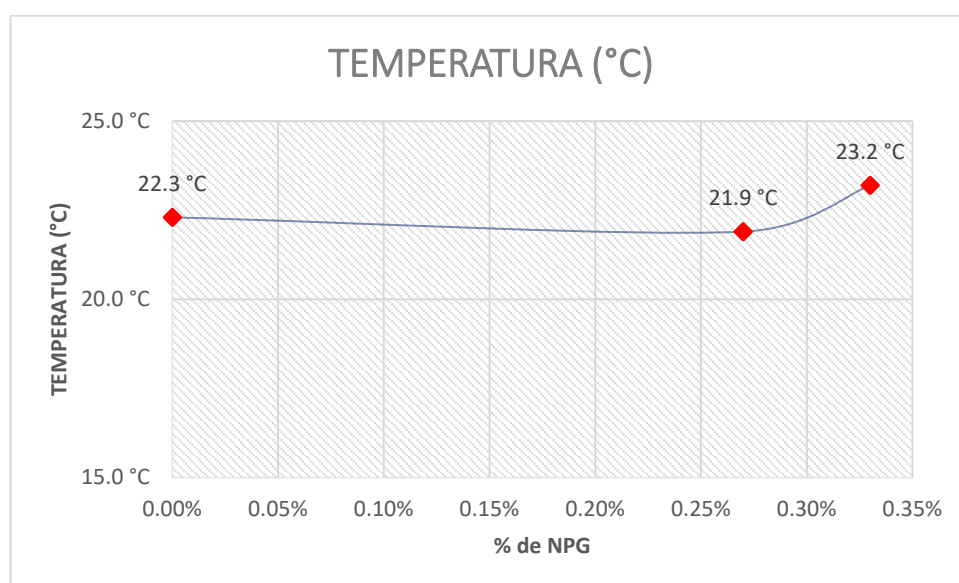
La trabajabilidad obtenida en la pasta de cemento se debe al fenómeno de auto lubricación logrado durante la dispersión de las NPG [30]. Sin embargo, al compararla con otro material de la misma categoría, como los nanotubos de carbono (NTC), la dispersión de estos últimos por encima de una cierta relación de esfuerzo puede reducir significativamente la trabajabilidad de la pasta de cemento debido al enredo de los mismos [31].

En el anexo N°11 se encuentra además los resultados detallados del asentamiento obtenido por tipo de muestra.

➤ **Temperatura**

El resultado de los de temperatura para el concreto patrón y adicionado con nanoplaquetas de grafeno se puede observar en el siguiente gráfico.

Gráfico N° 6. Temperatura obtenida para concreto patrón y con adición de NPG.



Fuente: Elaboración propia.

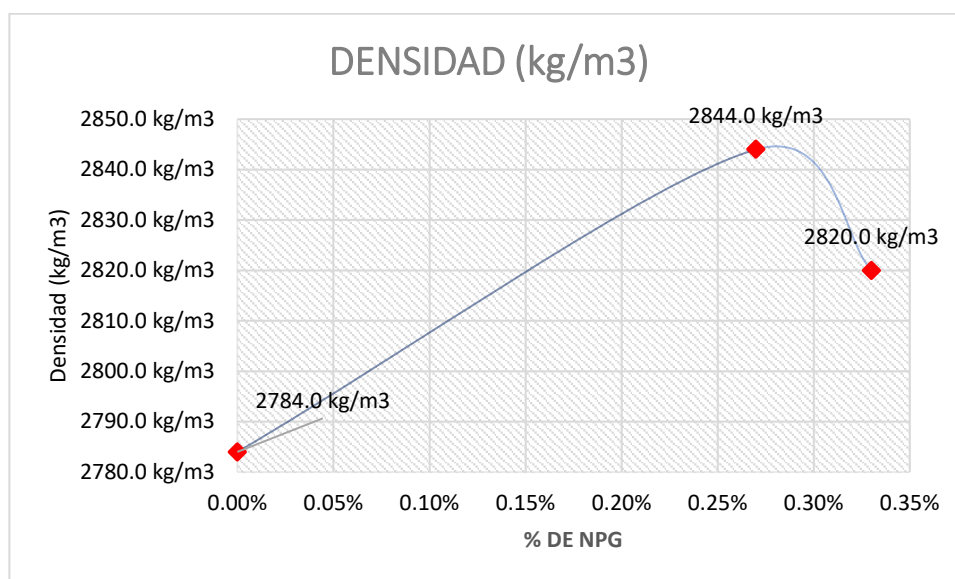
Al promediar la temperatura obtenida en el concreto con adición de NPG, obtenemos el valor de temperatura en el concreto patrón, por lo cual este aumento o disminución en márgenes mínimos no es representativo ni representa alguna vulnerabilidad.

❖ Ensayos del concreto en estado endurecido

➤ Densidad, absorción y vacíos

Los resultados que se muestran a continuación pertenecen a un concreto con madurez de 28 días.

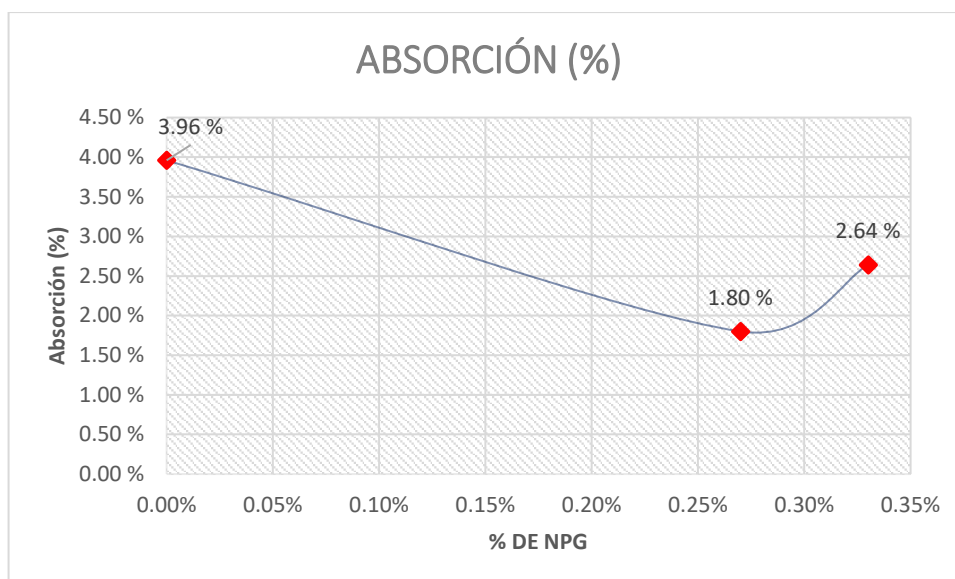
Gráfico N° 7. Densidad del concreto endurecido para patrón y con adición de NPG.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en el gráfico, existe un aumento de densidad de 60 kg/m³ en la adición de 0.27% de NPG con respecto al concreto patrón. Sin embargo, la adición de 0.33% de NPG tiene un aumento de 36 kg/m³, que representa apenas un poco más de la mitad que lo obtenido con una adición menor en porcentaje de NPG. Si usamos como base el concreto patrón, para la adición de 0.27% de NPG la mejora es de 2.15% y para la adición de 0.33% de NPG es de 1.29%. Estos resultados son beneficiosos para el concreto si de reducción en la formación de grietas se refiere.

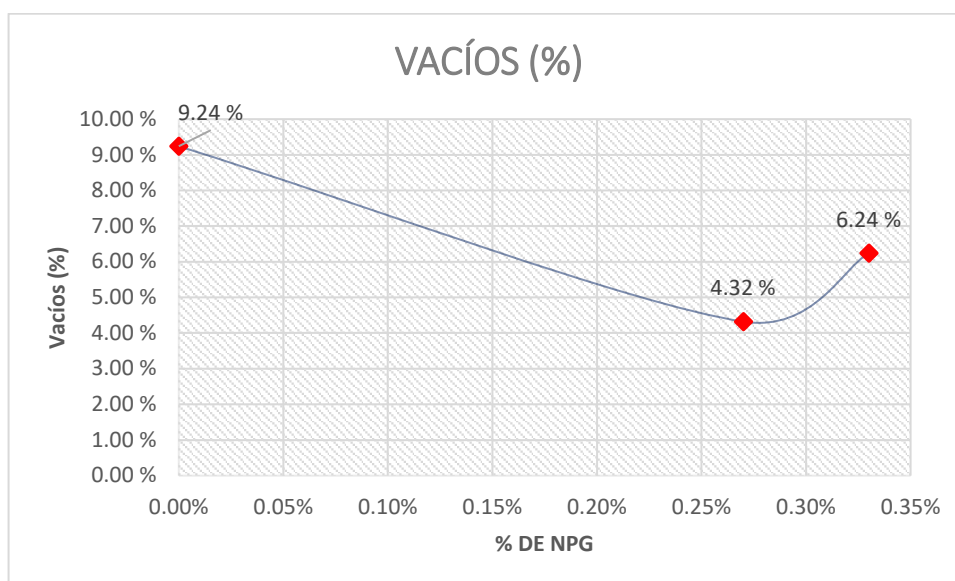
Gráfico N° 8. Porcentaje de absorción del concreto endurecido para patrón y con adición de NPG.



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del ensayo de absorción de agua mostraron que el concreto con adición de 0.27% de NPG presenta el menor porcentaje de absorción con un valor de 1.80%, seguido de la muestra con adición de 0.33% de NPG con 2.64% de absorción. Los dos valores de absorción de agua obtenidos con adición de NPG son menores al valor medido en concreto patrón que tiene un valor de 3.96%. Evaluando con respecto al patrón se tiene una mejora de hasta 54.04% en la disminución del porcentaje de absorción para el concreto adicionado con 0.27% de NPG.

Gráfico N° 9. Porcentaje de vacíos del concreto endurecido para patrón y con adición de NPG.



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del ensayo de porcentaje de vacíos mostraron que el concreto con adición de 0.27% de NPG presenta el menor porcentaje de vacíos con un valor de 4.32%, seguido de la muestra con adición de 0.33% de NPG que cuenta con 6.24%. Ambos valores obtenidos son menores al medido en el concreto patrón que tiene un valor de 9.24%.

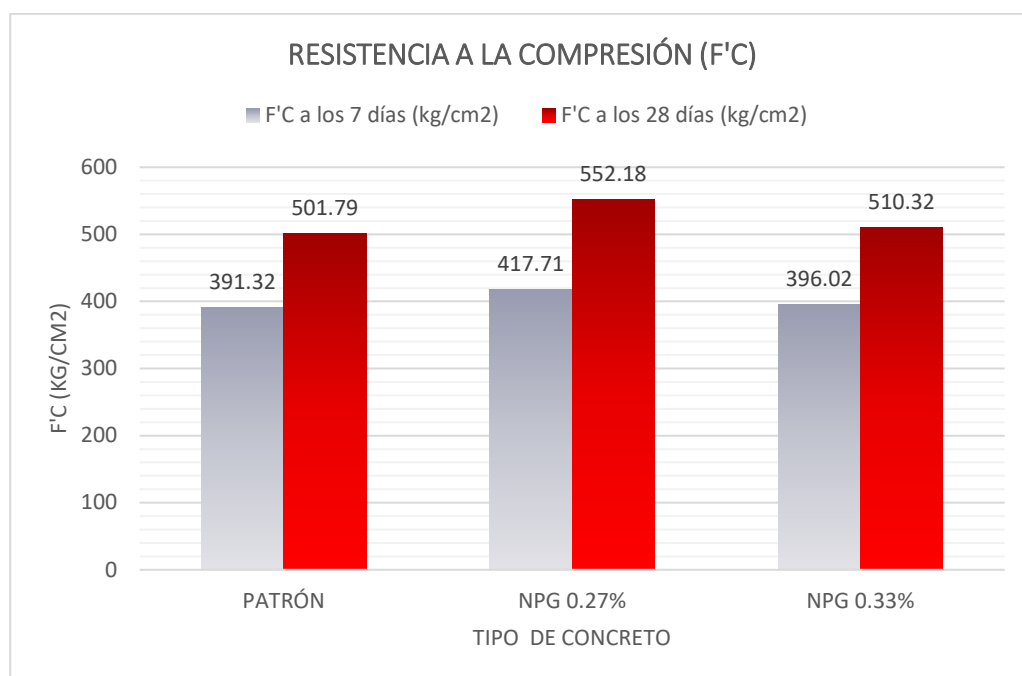
Realizando un contraste con [17], el porcentaje de vacíos en dicha investigación se redujo a valores de 37% para una adición de 1% de NPG. En la presente investigación, el porcentaje de vacíos disminuyó en un 53.24% para una adición de 0.27% de NPG con respecto al concreto patrón. Esto demuestra que mayores proporciones de NPG, no garantizan mejores resultados, debido a las diferentes variables que participan en la interacción y obtención de enlaces.

Como se puede observar en el Gráfico N° 7, 8 y 9 las tres propiedades están directamente relacionadas. A una mayor densidad del concreto en estado endurecido, menor porcentaje de vacíos y menor absorción de agua.

➤ **Resistencia a la compresión**

A continuación, se muestran los resultados de la resistencia a la compresión, los cuales podemos encontrar detalladamente en el anexo N°11.

Gráfico N° 10. Resistencia a la compresión en kg/cm².



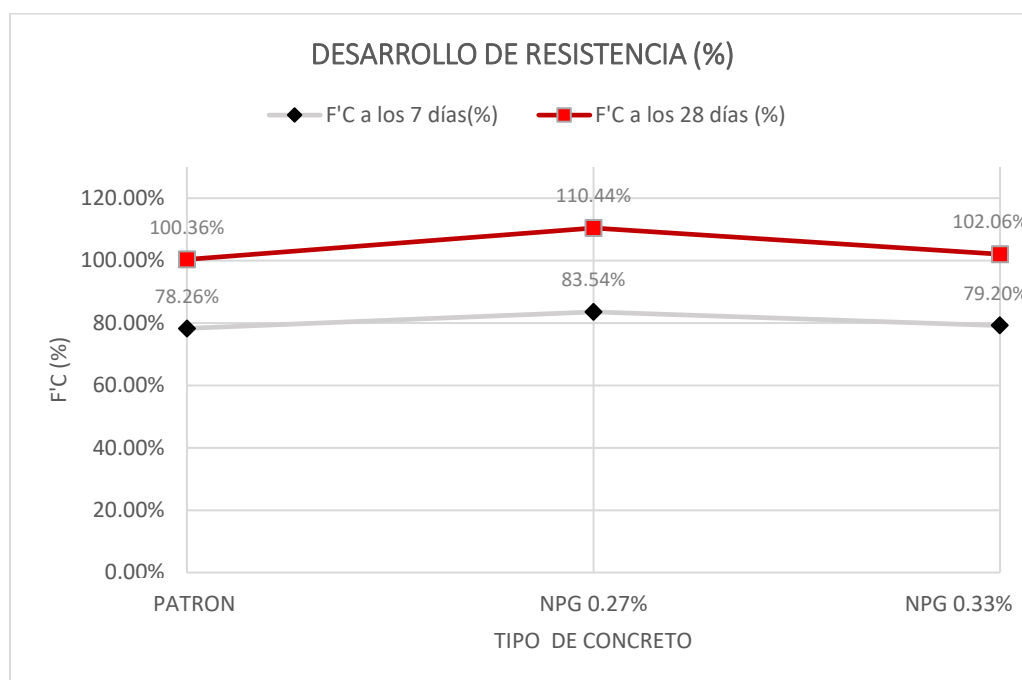
Fuente: Elaboración propia.

Observamos que el concreto con una adición de 0.27% presenta el mayor aumento de resistencia con una diferencia de 50.39 kg/cm² que representa un porcentaje de 10.03% sobre el concreto patrón. Sin embargo, el concreto con una

adición de 0.33% de NPG presentó un aumento tan solo de 8.53 kg/cm² que representa un 1.70% sobre el concreto patrón, resultando en una mejora poco significativa (ver Gráfico N°10).

En el desarrollo de la resistencia a la compresión, el concreto patrón alcanzó un 100.36% de la resistencia de diseño, así mismo, se puede observar que el 0.27% de NPG alcanza el mayor desarrollo con un valor de 110.44% seguido de la adición de 0.33% de NPG con un desarrollo de 102.06% de NPG (ver Gráfico N° 11). Así mismo, estos resultados muestran que la adición de NPG no acelera el desarrollo de la resistencia ya que a los 7 días la mejora es de apenas 5.28% y a los 28 días de 10.08%.

Gráfico N° 11. Desarrollo de resistencia a la compresión en %.



Aunque la mejora en la resistencia a la compresión y flexión coincide con resultados previos que lograron un aumento máximo del 17% en resistencia a la compresión [16], en la presente investigación se obtuvo tan solo un aumento del 10.03% en el mismo ensayo. Esto puede deberse a que en la presente investigación el superplastificante se agregó directamente a la mezcla, lo que afectó la uniformidad de la dispersión. Asimismo, no se utilizó un proceso adicional como la mezcla de alto cizallamiento. Además, si se realiza un contraste con [17], la potencia recomendada de ultrasonidos es de 210W y 300W con un pulso al 70%, en la presente investigación

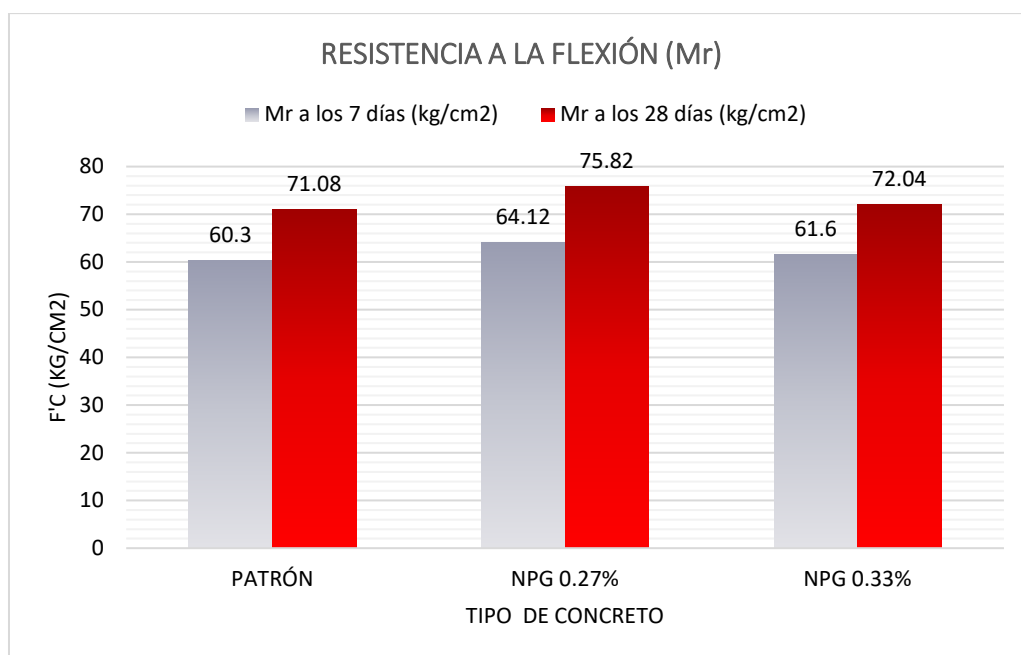
se usó 120W continuos, lo cual es menor, y por tanto cabe esperar una menor uniformidad en la mezcla.

Cómo se observa en los resultados de la presente investigación, y en contraste con los estudios mencionados no se observa ningún efecto significativo sobre las propiedades mecánicas del concreto, sin embargo, Dimov D. [32] en su investigación informó un aumento del 146% en la resistencia a la compresión y 79.5 % en la resistencia a la flexión, utilizando NPG con un tamaño lateral mayor a 2 μm , con un grosor promedio entre 8 y 15 μm y un área superficial entre 500 y 700 m^2/g , para dichos resultados utilizó una dispersión con dos horas de alto cizallamiento a 5000 rpm para luego ser incorporado en la mezcla de concreto. Así mismo, se observó una disminución en la permeabilidad del agua en un 400%, que da como resultado un valor ideal para construcciones sujetas a inundaciones, la dosificación utilizada fue de 0.7g de NPG por cada 1 litro de agua de mezcla, que corresponde al 0.04% en peso de cemento. Si realizamos un contraste con los materiales y procedimientos utilizados en la presente investigación y lo comparamos con [32], las nanoplaquetas usadas tienen un tamaño lateral variable de 1 – 2 μm , mientras que en la investigación revisada tienen un tamaño lateral uniforme de 2 μm , además de ello el grosor es menor con una diferencia de escala importante con un valor entre 8 y 15 μm , a diferencia de la presente investigación donde tenemos un valor de 1-6 nm.

Evaluando los resultados de la presente investigación y las discusiones anteriores, se puede notar que entre los estudios revisados existen aumentos limitados o nulos [16], así como muy altos [32], y la diferencia entre los resultados se puede deber a las propiedades o características del nanomaterial, así como al procedimiento de dispersión.

➤ **Resistencia a la flexión**

A continuación, se muestran los resultados de la resistencia a la flexión, los cuales podemos encontrar detalladamente en el anexo N°10.

Gráfico N° 12. Desarrollo de la resistencia a la flexión del concreto patrón y con adición de NPG

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del ensayo de resistencia a la flexión o módulo de rotura (Mr) mostraron que para una adición de 0.27% de NPG el concreto presenta el mayor aumento de resistencia con una diferencia de 4.74 kg/cm² que representa un 6.68% sobre el concreto patrón. Sin embargo, el concreto con una adición de 0.33% de NPG presentó un aumento tan solo de 0.96 kg/cm² que representa un 1.35% sobre el concreto patrón. A diferencia de los resultados obtenidos para la resistencia a la compresión, en la resistencia a la flexión para las dos adiciones la mejora es insignificante y muy poco representativa.

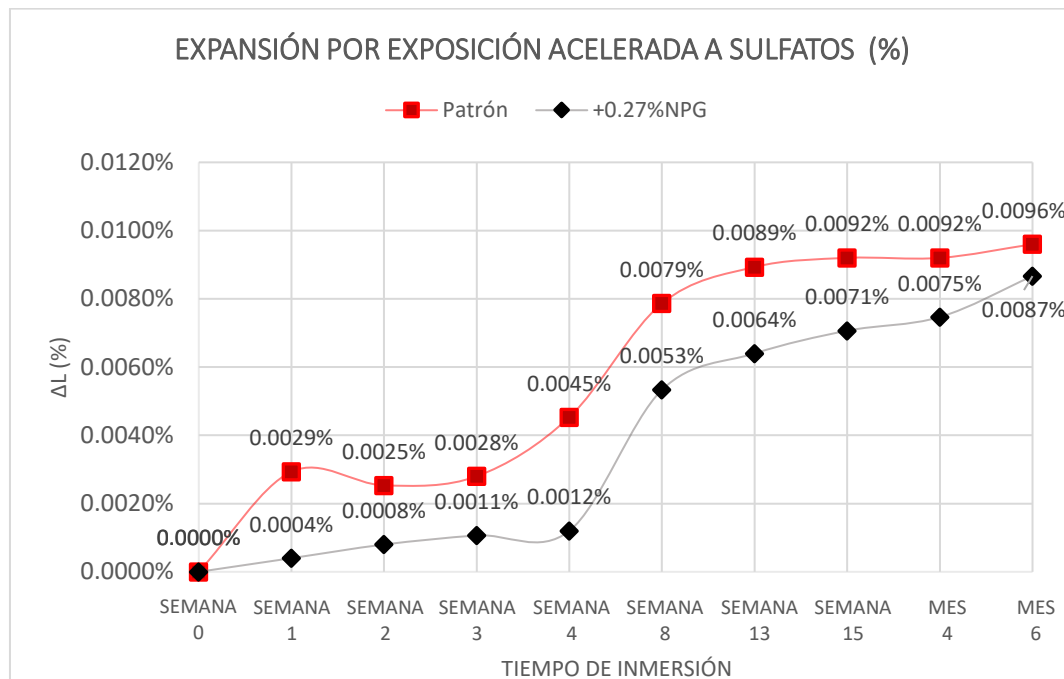
Tal y como se menciona en [16], la resistencia a la flexión con la adición de NPG no es muy alta a comparación del aumento obtenido en la resistencia a la compresión.

Si comparamos los cambios en las propiedades mecánicas, producto de la adición de NPG con la adición de nanotubos de carbono NTC [31], se observa que ambos nanomateriales dan como resultado una aceleración de la reacción de hidratación, sin embargo, para el refuerzo a flexión como resultado de la relación de aspecto más alta y su estructura cilíndrica que permite unir nanofisuras más fácilmente, los CNT dan como resultado un rendimiento mayor con las NPG.

➤ Durabilidad por sulfatos

En cuanto a los resultados de la medición de cambio de longitud de viguetas, se obtuvo lo siguiente:

Gráfico N° 13. Expansión por exposición acelerada a sulfatos en % del concreto patrón y con adición de NPG.



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados indican que el concreto patrón tuvo una expansión del 0.0029% en la primera semana, mientras que el concreto adicionado con 0.27% de NPG mostró una expansión menor del 0.0004%, en comparación con la medida inicial antes de la inmersión en la solución sulfatada. Hasta la semana 4, se observó un crecimiento lineal en la expansión, alcanzando un pico en la semana 8. Para el concreto patrón, la expansión fue del 0.0079%, mientras que para el concreto adicionado fue de 0.0053%. Después de la semana 8, la expansión volvió a ser lineal.

Si comparamos los resultados obtenidos del concreto adicionado con 0.27% de NPG con el concreto patrón se establece la siguiente reducción de expansión en porcentaje: semana 1 (86.36%), semana 2 (68.42%), semana 3 (61.90%), semana 4 (73.53%), semana 8 (32.20%), semana 13 (28.36%), semana 15 (23.19%), mes 4 (18.84%) y mes 6 (9.72%). Con estos resultados identificamos dos patrones de valores, por lo que estableciendo un rango de valores de la semana 0 a la 4 obtenemos un promedio de 72.55% en la reducción de la expansión, y el segundo patrón corresponde de la semana 8 al mes 6 con lo que se tiene un promedio de 22.46% en la reducción de la expansión por exposición acelerada a los sulfatos.

Es relevante destacar que en la semana 8, el concreto adicionado con NPG mostró un aumento del 0.0012% al 0.0053%, una diferencia de 0.0041%. En cambio, el concreto patrón experimentó un aumento más gradual, pasando del 0.0045% al 0.0079% entre las semanas 4 y 8, con una diferencia de 0.0034%. En general, se observa que el concreto con NPG tiene una mayor resistencia al ataque de sulfatos hasta la semana 4, y en las semanas posteriores su comportamiento y valores se acercan más al concreto patrón. Esta diferencia puede deberse a que el concreto con NPG tiene menos vacíos y mayor densidad, lo que permite una menor entrada de la solución sulfatada en los poros y, por lo tanto, una menor expansión.

La norma ASTM C1012 establece una expansión máxima del 0.01% para concretos elaborados con cemento portland, como observamos en el gráfico N°13, todos los valores se encuentran debajo de este límite.

❖ **Ventajas y desventajas del uso de nanoplaquetas de grafeno en un concreto de alta resistencia**

A continuación, se muestra una tabla que identifica las ventajas y desventajas que tiene el uso y aplicación de nanoplaquetas de grafeno en base a los alcances y características de la presente investigación.

Tabla N° 25. Ventajas y desventajas del uso de nanoplaquetas de grafeno en concreto de alta resistencia

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Mejora de las propiedades físicas	
- Densidad: de hasta 2.15% - Absorción: de hasta 54.04% - Porcentaje de vacíos: de hasta 53.24%	
Mejora de las propiedades mecánicas	
- Resistencia a la compresión: de hasta 10.03% - Desarrollo de resistencia a la compresión: 5.28% a los 7 días y 10.08% a los 28 días. - Resistencia a la flexión: hasta 6.68% - Durabilidad por sulfatos: reducción de la expansión de 72.55% de la semana 0 a la 4 y 22.46% de la semana 8 al mes 6 aproximadamente.	
	- Aumento en el costo de producción hasta en 263.38%
	- Se necesitan equipos y control de calidad especial para controlar la dispersión y aglomeración
	- Demora en la importación de las NPG y equipos para dispersión.

Fuente: Elaboración propia.

❖ **Costo producción**

A continuación, se presenta el análisis de costos unitarios realizado para el concreto patrón y adicionado con 0.27% de NPG, los dos para un metro cúbico de concreto. Se analizó para una misma partida para notar la diferencia en el costo únicamente con la incidencia de las NPG.

Tabla Nº 26. Análisis de costo unitario para concreto patrón.

ACU - CONCRETO PATRÓN						
Partida		: Concreto simple para vigas F'c= 500 kg/cm2				
Especificaciones		: + 1.65% aditivo superplastificante				
Rendimiento		10 m3/día				
					Total S/.	634.50
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio		
				Unitario	Parcial	Total
MANO DE OBRA						119.37
Operario	hh	2.00	1.6000	23.44	37.50	
Oficial	hh	1.00	0.8000	18.53	14.82	
Peón	hh	5.00	4.0000	16.76	67.04	
MATERIALES						493.95
Cemento Portland Tipo I	bls		10.9318	30.20	330.14	
Arena Gruesa	m3		0.4382	50.00	21.91	
Piedra Chancada 1/2"	m3		0.5836	75.00	43.77	
Agua	m3		0.2090	6.20	1.30	
Aditivo Superplastificante	lts		6.3867	14.10	90.05	
Gasolina 84 oct	gln		0.3900	17.39	6.78	
EQUIPO Y HERRAMIENTAS						21.18
Maquina mezcladora 11 p3	hm	1.00	0.8000	12.00	9.60	
Vibrado 4HP, F 2"	hm	1.00	0.8000	10.00	8.00	
Herramienta manual	% MO		3%	119.37	3.58	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla Nº 27. Análisis de costo unitario para el concreto con 0.27% de NPG.

ACU - CONCRETO +0.27% NPG						
Partida		: Concreto simple para vigas F'c= 500 kg/cm2				
Especificaciones		: + 1.65% aditivo superplastificante + 0.27% NPG				
Rendimiento		10 m3/día				
					Total S/.	2307.21
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio		
				Unitario	Parcial	Total
MANO DE OBRA						138.12
Operario	hh	3.00	2.4000	23.44	56.26	
Oficial	hh	1.00	0.8000	18.53	14.82	
Peón	hh	5.00	4.0000	16.76	67.04	
MATERIALES						2129.35
Cemento Portland Tipo I	bls		10.9318	30.20	330.14	
Arena Gruesa	m3		0.4382	50.00	21.91	
Piedra Chancada 1/2"	m3		0.5836	75.00	43.77	
Agua	m3		0.2090	6.20	1.30	
Aditivo Superplastificante	lts		6.3867	14.10	90.05	
Nanoplaquetas de Grafeno	kg		3.7168	440.00	1635.40	
Gasolina 84 oct	gln		0.3900	17.39	6.78	
EQUIPO Y HERRAMIENTAS						39.74
Maquina mezcladora 11 p3	hm	1.00	0.8000	12.00	9.60	
Vibrado 4HP, F 2"	hm	1.00	0.8000	10.00	8.00	
Máquina de ultrasonidos	hm	3.00	2.4000	7.50	18.00	
Herramienta manual	% MO		3%	138.12	4.14	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 28. Análisis de costo unitario para el concreto con 0.33% de NPG

ACU - CONCRETO +0.33% NPG						
Partida		: Concreto simple para vigas F'c= 500 kg/cm2				
Especificaciones		: + 1.65% aditivo superplastificante + 0.33% NPG				
Rendimiento		10 m3/día				
					Total S/.	3177.38
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio		
				Unitario	Parcial	Total
MANO DE OBRA						138.12
Operario	hh	3.00	2.4000	23.44	56.26	
Oficial	hh	1.00	0.8000	18.53	14.82	
Peón	hh	5.00	4.0000	16.76	67.04	
MATERIALES						2999.51
Cemento Portland Tipo I	bls		4.0000	30.20	120.80	
Arena Gruesa	m3		0.0000	50.00	0.00	
Piedra Chancada 1/2"	m3		10.9318	75.00	819.89	
Agua	m3		0.4382	6.20	2.72	
Aditivo Superplastificante	lts		0.5836	14.10	8.23	
Nanoplaquetas de Grafeno	kg		4.6460	440.00	2044.25	
Gasolina 84 oct	gln		0.2090	17.39	3.63	
EQUIPO Y HERRAMIENTAS						39.74
Maquina mezcladora 11 p3	hm	1.00	0.8000	12.00	9.60	
Vibrado 4HP, F 2"	hm	1.00	0.8000	10.00	8.00	
Máquina de ultrasonidos	hm	3.00	2.4000	7.50	18.00	
Herramienta manual	% MO		3%	138.12	4.14	

Fuente: Elaboración propia.

Realizando una comparación entre los análisis de costos unitarios, se observa que el costo de producción de un concreto de resistencia $f'c=500$ kg/cm2 con la mano de obra, materiales, equipo y herramientas mostrados en la Tabla N°25 es de 634.50 soles. Mientras que para un concreto de las mismas características con la adición de 0.27% de NPG el costo es de 2307.21 soles, lo cual es un equivalente a 3.64 veces más el costo del concreto sin adición.

Disgregando los costos observamos que la adición de 0.27% de NPG añade un costo de 1635.40 soles en 3.7168 kg de NPG para un metro cúbico de concreto, cabe recalcar que en dicho costo se incluye el costo del material y el envío desde su país de origen, China. Se observa además que la adición requiere del uso de una máquina de ultrasonidos, que tendrá un costo de 18 soles y a su vez el ingreso de un operario para el manejo del equipo, con un costo adicional de 23.44 soles, ambos valores para producir un metro cúbico de concreto. Por ende, para un metro cúbico de concreto el costo de producción con respecto al concreto patrón aumenta en un 263.38%.

Conclusiones

Las nanoplaquetas de grafeno y el uso de ondas ultrasónicas no mejoran considerablemente las propiedades físico-mecánicas del concreto, y dificulta la elaboración de concreto de alta resistencia.

Tras realizar el ensayo de dispersión mediante ondas ultrasónicas el tiempo óptimo para conseguir una adecuada dispersión de nanoplaquetas de grafeno fue de 60 minutos para una potencia elegida de 120W.

Los ensayos de resistencia a la compresión mostraron que la adición de 0.27% de NPG presentan como resultado un aumento del 10.03% sobre el concreto patrón, mientras que el 0.33% de NPG tan solo presenta un incremento del 1.70% respecto al concreto patrón. Además, se observó que el concreto patrón alcanzó un valor de resistencia a la compresión del 78.26% a los 7 días y del 100.36% a los 28 días en el desarrollo de resistencia. En contraste, el concreto con una adición de 0.27% de NPG alcanzó un valor del 83.54% a los 7 días y del 110.44% a los 28 días, mientras que el concreto con una adición de 0.33% de NPG mostró un valor del 79.20% a los 7 días y del 102.06% a los 28 días.

Los ensayos de resistencia a la flexión mostraron que la adición de 0.27% de NPG presentan como resultado un aumento del 6.68% sobre el concreto patrón, mientras que el 0.33% de NPG tan solo incrementa un 1.35%.

En el estado endurecido, se observó que la densidad aumentó con la adición de NPG, llegando a un máximo de 2844.0 kg/m³ para una concentración del 0.27% y de 2820.0 kg/m³ para una concentración del 0.33%, esto significa una mejora de 2.15% y 1.29% respectivamente con respecto al concreto patrón. En el ensayo de absorción, se observó una disminución significativa de la absorción con la adición de NPG, alcanzando un mínimo de 1.80% para una concentración del 0.27% y de 2.64% para una concentración del 0.33%, lo que representa una mejora de 54.04% y 33.33% respectivamente con respecto al concreto patrón. Finalmente, en el ensayo de porcentaje de vacíos, se encontró que la adición de NPG disminuyó significativamente los vacíos, con una reducción del porcentaje de vacíos del 9.24% al 4.32% para una concentración del 0.27% y del 6.24% para una concentración del 0.33%, esto representa una mejora de 53.12% y 32.47% respectivamente con respecto al concreto patrón. Adicionalmente a la evaluación de las propiedades físicas del concreto endurecido, se midieron algunas de las propiedades física en estado fresco, siendo así se observó que la adición de NPG aumentó significativamente el asentamiento en estado fresco, alcanzando un máximo de 7.9" para una concentración del 0.27% y de 7.6" para una concentración del 0.33%; así mismo

durante los ensayos, la temperatura se mantuvo estable con valores entre 22.3°C y 23.2°C, lo que estuvo en función de la temperatura ambiente.

Los resultados del ensayo de durabilidad por expansión de vigas por exposición acelerada a los sulfatos revelan que el concreto adicionado con 0.27% de NPG presenta una menor expansión en comparación con el concreto patrón, especialmente en las primeras semanas. Al comparar los resultados, se identificaron dos patrones de reducción de expansión, con un promedio del 72.55% durante las primeras cuatro semanas y un promedio del 22.46% desde la semana 8 hasta el mes 6, debido a la exposición acelerada a los sulfatos. Estas diferencias pueden atribuirse a la menor presencia de vacíos y mayor densidad en el concreto con NPG, lo que limita la entrada de la solución sulfatada en los poros y reduce la expansión.

Se identificaron múltiples ventajas en cuanto a la mejora en las propiedades físicas y mecánicas, sin embargo, la principal desventaja es el aumento del costo de producción en un 263.38% así como también la adquisición u alquiler de equipos y mejora en el control de calidad para el control de dispersión y aglomeración.

Recomendaciones

En la presente investigación una de las principales limitantes fue la disponibilidad de equipo especializado para en análisis de nanomateriales, es por ello que se recomienda obtener el parámetro de potencia con alguna de las metodologías utilizadas por la comunidad científica, por ejemplo mediante la comparación de la caracterización pre y post aplicación de ondas ultrasónicas con microscopía electrónica de barrido (SEM), ya que esto permitirá conocer si la morfología de las nanoplaquetas está sufriendo algún cambio por la acción del ultrasonido. Así mismo, se recomienda utilizar un equipo especial que mida la absorbancia de luz para realizar un análisis cuantitativo del porcentaje de aglomeración post aplicación de ondas ultrasónicas.

Producto de la tendencia en los resultados obtenidos en la presente investigación se recomienda comparar la adición de nanoplaquetas de grafeno con un concreto adicionado con impermeabilizante, ya que la mejora en las propiedades mecánicas obtenidas no es tan alta, sin embargo, se tiene una mayor mejora en las propiedades físicas del concreto fresco y endurecido.

Se recomienda investigar la reacción de las NPG con diferentes tipos de aditivos u adiciones, en la búsqueda de enlaces más fuertes y que no requieran de procesos de dispersión como los ultrasonidos o mezclas de alto cizallamiento.

Referencias

- [1] U. M. Angst, «resent and future durability challenges for reinforced concrete structures,» *Materials and Corrosion*, vol. 63, n° 12, pp. 1047-1051, 2012.
- [2] M. Amran, S. S. Huang, A. M. Onaizi, N. Makul, H. S. Abdelgader y T. Ozbakkaloglu, «Recent trends in ultra-high performance concrete (UHPC): Current status, challenges, and future prospects,» *Constr. Build Mater*, vol. 352, p. 129029, 2022.
- [3] R. Sharma, J. G. Jang y P. P. Bansal, «A comprehensive review on effects of mineral admixtures and fibers on engineering properties of ultra-high-performance concrete,» *Journal of Building Engineering*, vol. 45, p. 103314, 2022.
- [4] K. Janković, D. Bojović y M. Stojanović, «Influence of nanoparticles on the strength of ultra-high performance concrete,» *Nanotechnology in Eco-efficient Construction: Materials, Processes and Applications*, pp. 13-42, 2019.
- [5] L. Barcelo, J. Kline, G. Walenta y E. Gartner, «Cement and carbon emissions,» *Mater Struct*, vol. 47, n° 6, pp. 1055-1065, 2014.
- [6] K. N. Gutiérrez Orihuela, Ó. E. Morales Flores, R. Chávez Ugaz y G. Victoria León, «Investigación científica del grafeno en la industria de la construcción,» *Ingeniería Industrial*, vol. 2523, n° 6326, p. 14, 2021.
- [7] J. Lee, S. Mahendra y P. J. J. Alvarez, «Nanomaterials in the Construction Industry: A Review of Their Applications and Environmental Health and Safety Considerations,» *ACS Nano*, vol. 4, pp. 3580-3590, 2020.
- [8] J. W. B. Q. W. J. L. D. W. R. Z. MA, «Processing and properties of carbon nanotubes-nano-SiC ceramic,» *Journal of Materials Science*, vol. 33, n° 0022, p. 1, 1998.
- [9] J. López Barroso, «Funcionalización química de nanorefuerzos de carbono 1D y 2D y su efecto sobre propiedades termo-mecánicas en una resina epóxica,» Instituto Tecnológico de Ciudad de Madero, Altamira, Tamaulipas, 2018.
- [10] L. Choque Flores, «Mejoramiento de las propiedades mecánicas del concreto $f_c=210$ kg/cm², agregando grafeno,» Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, 2021.
- [11] V. Á. Apaza Mango y K. M. Quispe Mamani, «Mejoramiento de propiedades mecánicas del concreto con adición de nanotubos de carbono,» Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, 2018.
- [12] C. . G. Nastari Marcondes, «ADIÇÃO DE NANOTUBOS DE CARBONO EM CONCRETOS CIMENTO PORTLAND - ABSORÇÃO, PERMEABILIDADE, PENETRAÇÃO DE CLORETO E PROPRIEDADES MECÂNICAS,» UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, CURITIBA, 2012.
- [13] E. A. Navarro Jiménez y H. Forero Romero, «Mejoramiento de la resistencia a compresión del concreto con Nanotubos de Carbono,» Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, 2017.
- [14] C. G. N. Marcondes, M. H. F. Medeiros y J. Marques Fil, «Nanotubos de carbono en concreto de cemento portland. Influencia de la dispersión en las propiedades mecánicas y en la absorción de agua,» *ALCONPAT*, vol. 5, n° 2, pp. 97-114, 2015.
- [15] K. Yee y M. H. Ghayesh, «A review on the mechanics of graphene nanoplatelets reinforced structures,» *Nanotechnology in Eco-Efficient Construction: Materials*, vol. 186, p. 103831, 2023.
- [16] Z. Jiang, O. Sevim y O. E. Ozbulut, «Mechanical properties of graphene nanoplatelets-reinforced concrete prepared with different dispersion techniques,» *Constr. Build Mater*, vol. 303, p. 124472, 2021.
- [17] H. Du y S. D. Pang, «Dispersion and stability of graphene nanoplatelet in water and its influence on cement composites,» *Constr. Build Mater*, vol. 167, pp. 403-413, 2018.
- [18] I. Papanikolaou, L. R. d. Souza, C. Litina y A. Al-Tabbaa, «Investigation of the dispersion of multi-layer graphene nanoplatelets in cement composites using different superplasticiser treatments,» *Constr. Build Mater*, vol. 293, p. 123543, 2021.
- [19] F. I. Ismail, «The behavior of graphene-nanoplatelets-based high-performance concrete under ambient curing,» *Structures*, vol. 47, pp. 694-708, 2023.
- [20] J. Tao, X. Wang, Z. Wang y Q. Zeng, «Graphene nanoplatelets as an effective additive to tune the microstructures and piezoresistive properties of cement-based composites,» *Constr. Build Mater*, vol. 209, pp. 665-678, 2019.
- [21] G. O. Pasino, «Material de Apoyo para la Enseñanza de los Cursos de Diseño y Comportamiento del Concreto Armado,» Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2004.
- [22] I. E. R. López, «Concretos de Alta Resistencia,» Instituto de la Construcción y Gerencia , Lima, 2002.

- [23] L. M. Pastrana Martínez, S. Morales Torres, H. T. Gomes y A. M. T. Silva, «Nanotubos e Grafeno: Os primos mais jovens na família do carbono!», *ARTIGOS*, n° 128, p. 7, 2013.
- [24] J. O. d. Castro, «Conductividad eléctrica en función de la temperatura de compuestos de 3YTZP con nanoplaquetas de grafeno», Universidad de Sevilla, Sevilla, 2017.
- [25] OCSiAl, «OCSiAl», 2022. [En línea]. Available: [https://ocsial.com/es/nanotubes/#:~:text=A%20pesar%20de%20tener%20nombres,\(carbono%20de%20capas%20m%C3%BAltiples\)..](https://ocsial.com/es/nanotubes/#:~:text=A%20pesar%20de%20tener%20nombres,(carbono%20de%20capas%20m%C3%BAltiples)..) [Último acceso: 25 05 2022].
- [26] S. Z., T. D., P. K. y G. C., «Carbon nanotube-polymer composites: Chemistry, processing, mechanical and electrical properties», *Progress in Polymer Science*, vol. 35, n° 357-401, 2010.
- [27] C. J. Cabello Alvarado, A. Sáenz Galindo, L. López López, C. Pérez Barúmen, C. Ávila Orta y J. A. Valdez Garza, «Alternativas para la Funcionalización de NTC's. Aplicación en nanomateriales poliméricos», *AFINIDAD*, vol. LXIX, n° 558, p. 7, 2012.
- [28] F. H. Gojny, M. H. G. Wichmann, B. Fiedler, W. Bauhofer y K. Schulte, «Influence of nano-modification on the mechanical and electrical properties of conventional fibre-reinforced composites», *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 36, n° 1525-1535, 2005.
- [29] N. R. M. C. Association, «CIP-36 Concreto Estructural de Peso Liviano», NRMCA, México, 2019.
- [30] A. Alatawna, «The effect of compatibility and dimensionality of carbon nanofillers on cement composites», *Constr. Build Master*, vol. 232, p. 117141, 2020.
- [31] M. D. C. Camacho, O. Galao, F. Baeza, E. Zornoza y a. P. Garcés, «Mechanical Properties and Durability of CNT Cement Composites», *Materials*, vol. 7, n° 10.3390/ma7031640, pp. 1640-1651, 2014.
- [32] D. Dimov, «Ultrahigh Performance Nanoengineered Graphene–Concrete Composites for Multifunctional Applications», *Adv. Funct. Mater*, vol. 28, n° 23, p. 1705183, 2018.
- [33] M. Sunny, «Made in China», [En línea]. Available: https://es.made-in-china.com/co_centrostar/product_Industrial-Ultrasonic-Cleaning-Machine-PCB-Washing-Equipment-Washing-Machine_ehgisessy.html. [Último acceso: 02 06 2022].

Anexos

Anexo N°01. Ficha técnica del cemento Qhuna Tipo I.



Cemento Portland TIPO I, es un cemento de uso general, fabricado mediante la molienda de clinker y yeso en adecuadas proporciones, asegurando de esa manera un producto de calidad, para construcciones donde se requieran propiedades de avance y durabilidad en obra. Cumple con los requisitos de las normas técnicas NTP 334.009 y ASTM C 150.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

PROPIEDADES FÍSICAS	CEMENTO QHUNA TIPO 1	REQUISITO DE NORMA 334.009 - ASTM C 150	a la NTP 334.009 / ASTM C 150
Superficie Especifica (cm^2/gr)	3620	Mínimo 2800	
Retenido 45 μm (%)	8.4	No Especifica	
Contenido de Aire (%)	6.0	Máx. 12.0	
Densidad (g/ml)	3.14	No Especifica	
Pérdida Por Ignición (%)	2.47	Máx. 3.5	
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			
1 DÍA Mpa (kg/cm^2)	10.0 (102)	NE	
3 DÍAS Mpa (kg/cm^2)	20.2 (206)	12.0 (122)	
7 DÍAS Mpa (kg/cm^2)	27.9 (285)	19.0 (194)	
28 DÍAS Mpa (kg/cm^2)	47.7 (487)	28.0 (286)	
TIEMPO DE FRAGUADO			
Fraguado Inicial (Minutos)	122'	Mínimo 45'	
Fraguado Final (Minutos)	245'	Máximo 375'	

CUADRO COMPARATIVO DE RESISTENCIAS

COMPARATIVO DE



RESISTENCIAS

CEMENTO PORTLAND TIPO I

MÁS PUNCHE, MENOS BOLSAS



APLICACIONES

- Para uso en obras de construcción en general, proporciona altas resistencias.
- Para preparación de concretos en cimientos, sobre cimientos, zapatas, vigas, columnas y techado de edificaciones.
- Para uso en la construcción de todo tipo de elementos o estructuras de concreto, simple o armado.
- Usado en la fabricación de ladrillos o bloques de alta resistencia, alcantarillados o adoquines.
- Para asentar ladrillos, tarrajear, enchapes de mayólicas, pisos cerámicos y otros materiales.

RECOMENDACIONES

- Usar agregados y materiales de propiedades conocidas, certificados y de buena calidad.
- Preparar la mezcla sobre una superficie limpia, libre de materiales ajenos a la preparación.
- Es recomendable realizar el curado con agua o un agente curador químico al momento del vaciado, esto para lograr una eficiente hidratación del cemento con el objetivo de optimizar el desarrollo de la resistencia a la compresión.
- Para asegurar la conservación del cemento, se recomienda almacenar las bolsas bajo techo, separadas de paredes o pisos y protegidas de la humedad.
- Evitar apilar las bolsas en más de 10, para evitar la compactación de las mismas.
- Controlar la cantidad de agua de la mezcla, cuidando que no exceda la relación agua/cemento, determinada en el diseño.

RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD

Este producto, seco o húmedo puede causar irritación o quemadura a los ojos y la piel, por ende, evitar el contacto directo.



Usar lentes de protección, guantes y botas de jebe, así como respiradores de polvo apropiados cuando se abra la bolsa o se ejecute el trabajo.



Cubra sus brazos y piernas adecuadamente, para evitar irritación.



Mantener fuera del alcance de los niños.



Pacasmayo

Fabricador Cementos Pacasmayo SAA

Dirección

Chiclayo - Lima - Piura

Página Web

www.cementospacasmayo.com.pe

Anexo N°02. Ficha técnica del aditivo superplastificante.



HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

Sikament® TM-312

SUPER PLASTIFICANTE REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO DE TRABAJABILIDAD PROLONGADA

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Superplastificante, reductor de agua de alto rango de trabajabilidad prolongada y economizador de cemento. Ideal para climas templados y fríos mantiene la manejabilidad del concreto. No contiene cloruros.

USOS

Sikament® TM-312 tiene 3 usos básicos:

Como superplastificante

Adicionado a una mezcla con consistencia normal se consigue plastificar el concreto o mortero, generando una buena compacidad de las mezclas, facilitando su colocación, haciéndolo apto para el bombeo.

Como reductor de agua de alto poder

Adicionado en el agua de amasado, permite reducir hasta el 30% del agua de la mezcla consiguiéndose la misma manejabilidad con incremento notable en las resistencias mecánicas a todas las edades. Al reducir la relación a/c se incrementa la impermeabilidad y durabilidad del concreto.

Como economizador de cemento

Se puede aprovechar el incremento de resistencias logrado al reducir agua con el aditivo, para disminuir el contenido de cemento y hacer más económico el diseño.

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Reduce la exudación del concreto.
- Evita la segregación y formación de cangrejeras.
- Proporciona manejabilidad prolongada
- Facilita el bombeo del concreto
- Permite doblar los tiempos de manejabilidad de la mezcla en climas medios y fríos.
- Permite reducir hasta el 30% del agua de la mezcla.
- Incrementa la resistencia iniciales y finales
- Aumenta considerablemente la impermeabilidad y durabilidad del
- Densifica el concreto.

CERTIFICADOS / NORMAS

Cumple con los requerimientos para superplastificantes según la norma ASTM C 494, tipo D y tipo G

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

Empaques	<ul style="list-style-type: none"> • Cilindro x 200 L • Dispenser x1000L • Granel x1L
Apariencia / Color	Líquido pardo oscuro
Vida Útil	1 año

Hoja De Datos Del Producto
Sikament® TM-312
Junio 2019, Versión 01.01
021302011000000792

Condiciones de Almacenamiento	El producto debe de ser almacenado en su envase original bien cerrado y bajo techo, en lugar fresco resguardado de heladas y a temperaturas entre 5°C y 35°C. Para el transporte debe tomarse las precauciones normales para el manejo de un producto químico.
--------------------------------------	--

Densidad

INSTRUCCIONES DE APLICACIÓN

Como plastificante:

Adicionarlo a la mezcla de concreto o mortero ya preparado y remezclar por lo menos durante 5 minutos hasta obtener una mezcla fluida.

Como superplastificante:

Adicionar disuelto en la última porción del agua de amasado durante la preparación de la mezcla.

IMPORTANTE

- En la elaboración de concretos o morteros fluidos se exige una buena distribución granulométrica. Se debe garantizar un suficiente contenido de finos para evitar la segregación del material fluido.
- En caso de deficiencia de finos, dosificar SikaAer® para incorporar el aire en forma controlada a la mezcla.
- El uso de concreto fluido demanda un especial cuidado en el sellado de los encofrados para evitar la pérdida de la pasta de cemento.
- La dosis óptima se debe determinar mediante ensayos con los materiales y en las condiciones de obra.
- Dosificación superiores a las recomendadas pueden ocasionar retardos en el fraguado del concreto.
- Cuando se presenten dificultades en el proceso de bombeo y altas presiones, debido a las características de la mezcla (granulometría discontinua, carencia de finos, mezcla áspera) o cuando las condiciones del bombeo lo dificulten (longitud, altura, cambio de dirección), es aconsejable usar un aditivo que ayude al bombeo (SikaAer®).

DOSIFICACIÓN

Como plastificante del 0,5 % - 1 % del peso del cemento.

Como superplastificante del 1 % - 2.0 % del peso del cemento.

NOTAS

Todos los datos técnicos recogidos en esta hoja técnica se basan en ensayos de laboratorio. Las medidas de los datos actuales pueden variar por circunstancias fuera de nuestro control.

RESTRICCIONES LOCALES

Nótese que el desempeño del producto puede variar dependiendo de cada país. Por favor, consulte la hoja técnica local correspondiente para la exacta descripción de los campos de aplicación del producto.

ECOLOGÍA, SALUD Y SEGURIDAD

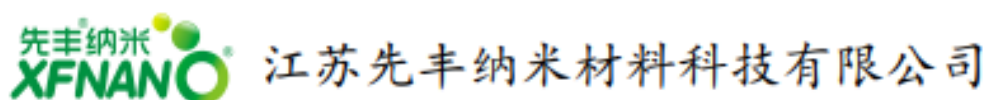
Para información y asesoría referente al transporte, manejo, almacenamiento y disposición de productos químicos, los usuarios deben consultar la Hoja de Seguridad del Material actual, la cual contiene información médica, ecológica, toxicológica y otras relacionadas con la seguridad.

NOTAS LEGALES

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A.C. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A.C. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web www.sika.com.pe. La presente edición anula y reemplaza la edición anterior, misma que deberá ser destruida.



Anexo N°03. Ficha técnica de las nanoplaquetas de grafeno.



XFQ024-薄层石墨烯纳米片

XFQ024-Thin Layer Graphene Nanoplates

1 技术参数 (Properties)

名称	Product name	薄层石墨烯纳米片 Thin Layer Graphene Nanoplates
碳含量	Carbon content	>99 at% (EDS)
灰分	Ash content	<1wt%
片径	Lateral size	1-2 μm (HRTEM)
厚度	Thickness	1-6 nm (HRTEM)
电导率	Conductivity	800-1100 S/cm
含水量	Moisture content	<2 wt%
D50 粒度	Grain size	~56.17 μm
振实密度	Tap density	0.10-0.15 g/cm ³
松装密度	Apparent density	0.06-0.09 g/cm ³
外观	Appearance	黑灰色粉末 Black gray powder

注：以上为单次测量数据，不同批次粉末测试结果有所浮动。

Note: The above is a single measurement data, the test results of different batches of powder fluctuated.

江苏先丰纳米材料科技有限公司
地址：南京市国家级江北新区步月路 29 号 9 栋
邮编：210033
电话 Tel: 025-69657069
传真 Fax: 025-68256991

Jiangsu XFNANO Materials Tech Co., Ltd
Addr: Nanjing City, Jiangsu Province, China
Zip: 210033
E-mail: isale@xfnano.com
http://www.xfnano.com



2 表征测试图 (Characterizations)

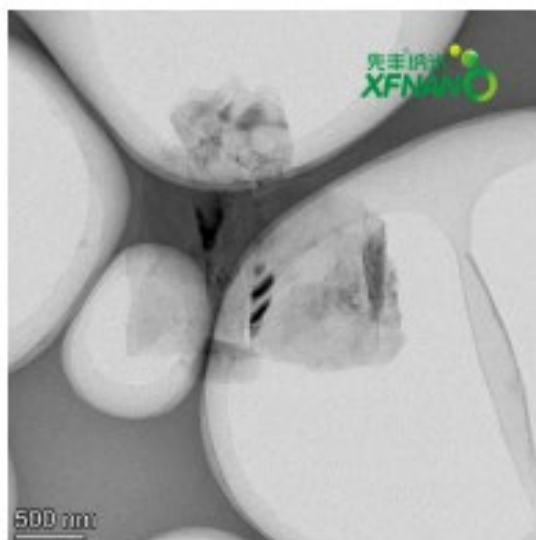


图 1

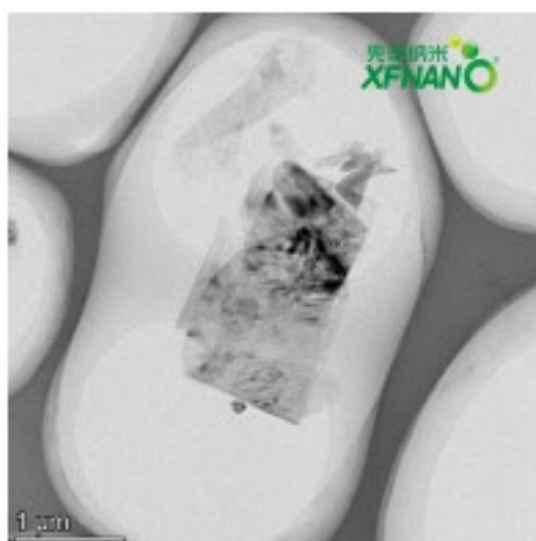


图 2

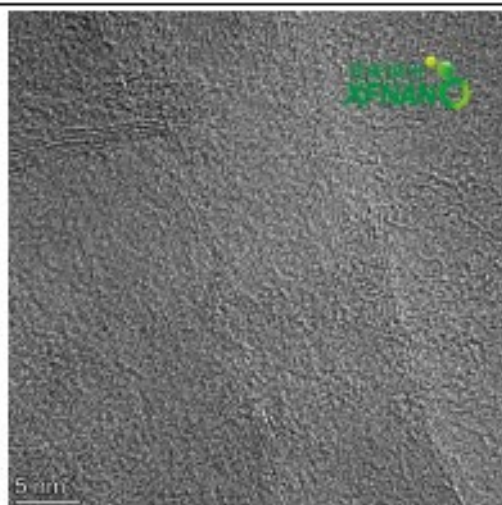


图 3

图 1-3 薄层石墨烯纳米片透射电镜图

Fig.1-3 TEM graphs of Thin Layer Graphene Nanoplates

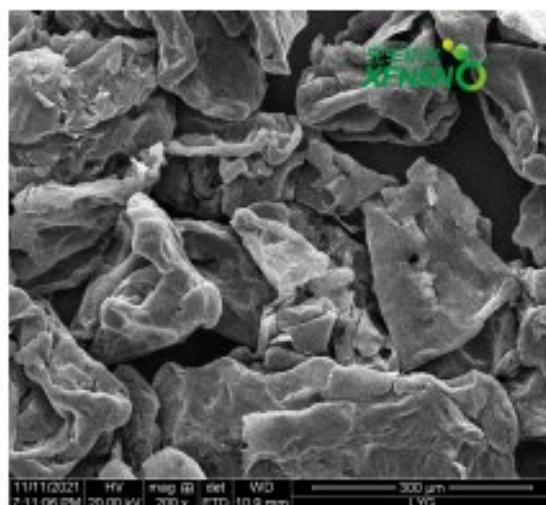


图 4

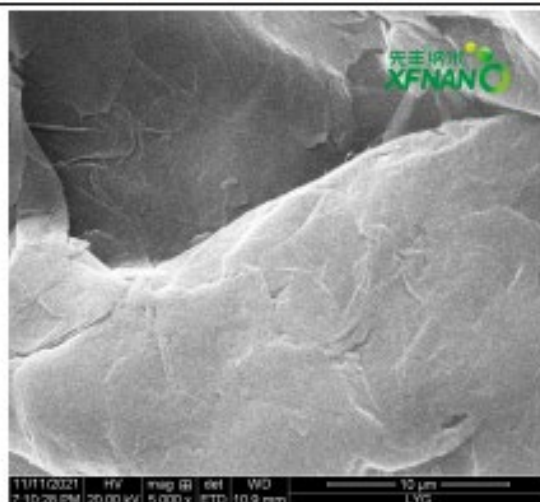


图 5

图 4.5 薄层石墨烯纳米片扫描电镜图

Fig.4.5 SEM graphs of Thin Layer Graphene Nanoplates

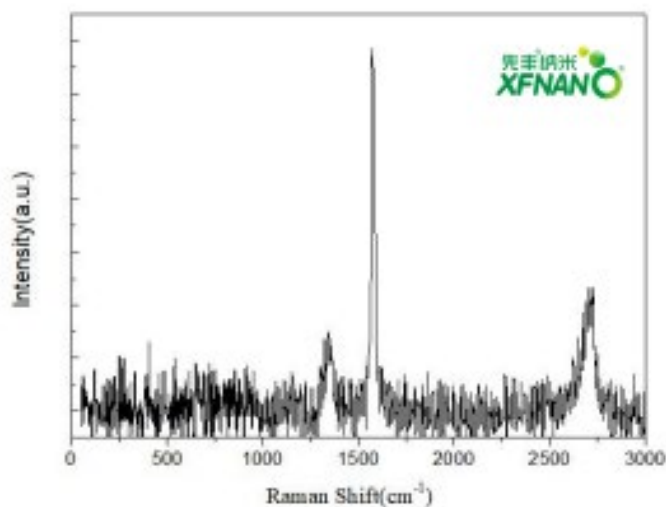


图 6 薄层石墨烯纳米片拉曼光谱

Fig.6 Raman spectrum of Thin Layer Graphene Nanoplates

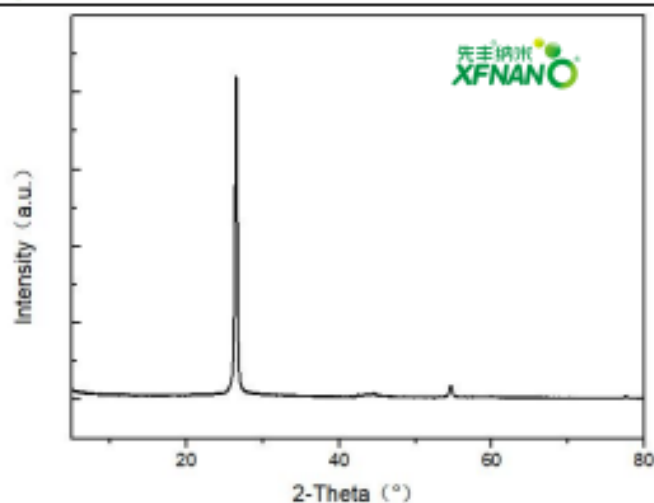


图 7 薄层石墨烯纳米片 X-射线衍射图
Fig.7 XRD pattern of thin layers graphene nanoplates

3 应用领域(Application Fields)

新能源电池、导电复合材料、抗静电、导热散热、提高机械强度、涂料改性剂、电子芯片、天线材料、航空航天等。

New energy battery, conductive composites, anti-static function, heat conduction and heat dissipation, mechanical strength enhancement, coating modifying, antenna material, aeronautical and space technologies etc.

4 储存条件(Storage Conditions)

密封常温干燥避光保存，保存期限 1 年。

Keep dry and sealed at room temperature. Avoid light. Expiry date: One year .

声明：我司保证技术报告中的信息的准确性，但不保证材料的普适性，也不负责由此导致的任何损失。提供的参数为统计数据，允许少量浮动。且我司提供的技术报告都是面向所有客户，报告中的表征图片请勿擅自截图使用。

Disclaimer: XFNANO LLC believes that the information in this Technical Data Sheet is accurate and represents the best and most current information available to us. XFNANO Material makes no representations or warranties either express or implied, regarding the suitability of the material for any purpose or the accuracy of the information contained within this document. Accordingly, XFNANO Material will not be responsible for damages resulting from use of or reliance upon this information. Please do not use screenshots of any characteristic graphs in this report without permission.

20220104 Ed.2

Anexo N°04. Ficha técnica de sulfato de sodio para ensayo de durabilidad.



INDIQSA

INDUSTRIAL INSUMOS QUÍMICOS S.A.

CERTIFICADO DE ANÁLISIS SULFATO DE SODIO ANHIDRO

1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO

Nombre Químico	Sulfato de Sodio Anhidro
Fórmula Molecular	Na ₂ SO ₄
Peso Molecular	142.06 g/mol.
Sinónimos Sulfato	Di-sódico

2. DESCRIPCIÓN

Sal inorgánica, cristalina, blanca e inodora cuando esta en forma anhidra, y se conoce como sal Glauber cuando esta en forma deca-hidratada con fórmula Na₂SO₄.10 H₂O

3. ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

Pureza % mín.	99
Cloruros % Max	0.2
Hierro (mg/kg) Max	100
Calcio (mg/Kg) Max	500
Magnesio (mg/Kg) máx.	20
Humedad % máx.	0.2
Insolubles en HCl % máx.	0.05

4. PROPIEDADES

Presentación	polvo
Color	blanco
Olor	inodoro
Sabor	picante, salino
Gravedad específica	2.671
pH (5 % P/P a 25°C)	6 - 7

INDUSTRIAL INSUMOS QUÍMICOS S.A.

☛ Calle Benito Pardo Figueroa N° 147
Urb. Balconcillo, La Victoria, Lima, Perú

☎ Tel. 01 474 1099 | Fax 01 474 1079
indiqsa@gmail.com | chubralu@ec-red.com

Anexo N°05. Ficha técnica de máquina generadora de ultrasonidos.




Skymen Cleaning Equipment Shenzhen Co.ltd

PROFORMA INVOICE

Seller: Skymen Cleaning Equipment Shenzhen Co.ltd. Contact: Lydia Luo TEL: +86-18948307377 Email: sales12@skymen.cc Address: Floor 1st & 2nd, Building 3, Tanggang Taifeng Industrial Park, Dawangshan Community, Shajing Street, Bao'an District, Shenzhen	PI NO.	Date
	Skymen20220520108	May 20th, 2022
	Trade term	Payment
	EXW	100% BY T/T IN ADVANCE
Buyer: Paul Contact: Paul TEL: +51 976 810 343 ADD: Peru	SHIPMENT	Shpping Mark

Subject: Skymen ultrasonic cleaner

NO.	Model/Photo	Description	UNIT PRICE	QTY.(set)	AMOUNT
1	JP-080S 	22L ultrasonic cleaner Inner tank size: 500 x 300 x 150 mm Frequency: 40KHZ Heating power: 480W Material: SUS304 American plug 110V	US\$285.0	1	US\$285.0
express shipping cost(by UPS)					\$326.00
Sum for Goods					US\$285.0
TOTAL should pay					US\$611.0

Remark :

Terms of trading : EXW

Warranty: 1 year. During the warranty period, spare parts are free to replace.

Payment terms: 100% in advance by T/T

Via PAYPAL:

Email address: ultrasonic.china@gmail.com

For & on behalf of
 Skymen Cleaning Equipment Shenzhen Co.ltd.
 Authorized Signature



Digital timer heater adjustable PLUS series

After the countdown is over (during the working, press the button again, the ultrasonic operation stops). And then cut off the power, empty out the liquid, clean the tank and the unit with cloth for next use. (If the PLUS series does not any operate for 3 minutes, the panel light will go out in standby mode)

OPERATION PROCEDURE

>>>>>MECHANICAL SERIES<<<<<<

Model	Frequency (KHz)	Transducer (Pcs)	Capacity (L)	Tank size(mm)	Unit size(mm)	Heating power (W)	Ultrasonic power (W)	Time(M)	Temperature(°C)
JP-010	40	1	2	150x135x100	175x160x210	100	80	0-30	room temp-80
JP-020	40	2	3.2	240x135x100	265x165x220	100	120	0-30	room temp-80
JP-030	40	3	4.5	300x150x100	325x180x225	200	180	0-30	room temp-80
JP-031	40	3	6.5	300x150x150	325x180x280	200	180	0-30	room temp-80
JP-040	40	4	10	300x240x150	325x265x280	200	240	0-30	room temp-80
JP-060	40	6	15	330x300x150	360x325x285	300	360	0-30	room temp-80
JP-080	40	8	22	500x300x150	530x325x285	500	480	0-30	room temp-80
JP-100	40	10	33	500x300x200	530x325x325	500	600	0-30	room temp-80

>>>>>Digital timer heater adjustable with degas series<<<<<<

Model	Frequency (KHz)	Transducer (Pcs)	Capacity (L)	Tank size(mm)	Unit size(mm)	Heating power (W)	Ultrasonic power (W)	Time(M)	Temperature(°C)
JP-020S	40	2	3.2	240x135x100	270x185x230	100	120/60	0-30	room temp-80
JP-030S	40	3	4.5	300x150x100	330x200x235	200	180/90	0-30	room temp-80
JP-031S	40	3	6.5	300x150x150	375x200x275	200	180/90	0-30	room temp-80
JP-040S	40	4	10	300x240x150	380x290x280	200	240/120	0-30	room temp-80
JP-050S	40	5	14.5	300x240x200	370x270x325	200	300/150	0-30	room temp-80
JP-060S	40	6	15	330x300x150	400x350x280	300	360/180	0-30	room temp-80
JP070S	40	8	20	330x300x200	400x300x200	300	480/240	0-30	room temp-80
JP-080S	40	8	22	500x300x150	585x330x280	500	480/240	0-30	room temp-80
JP-100S	40	10	30	500x300x200	585x327x333	500	600/300	0-30	room temp-80
JP-120S	40	12	38	500x300x250	595x345x385	800	720/360	0-30	room temp-80



>>>>>Digital timer heater adjustable plus series<<<<<<

Model	Frequency (kHz)	Transducer (Pcs)	Capacity (L)	Drk size (mm)	Unit size (mm)	Working power (W)	Ultrasonic power (W)	U.S-ultrasonic power (W)	Time (M)	Temperature (°C)
JP-020plus	40	3	3.2	240x135x100	290x185x270	100	120	180	0-99	room temp-80
JP-030plus	40	5	4.5	300x150x100	350x210x275	200	180	300	0-99	room temp-80
JP-031plus	40	5	6.5	300x150x150	350x210x325	200	180	300	0-99	room temp-80
JP-040plus	40	8	10	300x240x150	395x295x315	200	240	480	0-99	room temp-80
JP-060plus	40	10	15	330x300x150	420x360x320	300	360	600	0-99	room temp-80
JP-080plus	40	14	22	500x300x150	595x355x330	500	480	840	0-99	room temp-80
JP-100plus	40	18	30	500x300x200	595x355x385	500	600	1080	0-99	room temp-80

(The size is manual measurement, please refer to the actual product)

APPLICATION

Full series standard ultrasonic cleaners are made up of high quality stainless steel plate, which is corrosion resistance and long lifespan, adopt with high quality ultrasonic transducer and advanced adhesive technology, high electro-acoustic conversion efficiency and strong ultrasonic power output. Equipped with automatic constant temperature heating device, heating range: room temperature-80°C. SkyMen ultrasonic cleaner widely applied to industry of precision electronics, painting, filter system, watch-clocks, glass, metal, jewelry, and medical instruments cleaning etc.

Industry	The cleaning products materials	Cleardirt
Semi-conductor	Integrated circuit, power tube, silicon wafer, diode, lead frame, capillary, tray, etc	Hards, etching oil, stamping oil, polishing wax, dust particles, etc
Electrical & electronic machine	Tube parts, cathode ray tube, printed circuit board, quartz parts, electronic components, telephone switching equipment, speaker components, power meter, LCD glass, core iron parts, computer floppy disk, video parts, hoop parts, head, photo die mask, etc	Fingerprint, powder, cutting oil, stamping oil, iron filings, polishing materials, walnut powder, polishing wax, resin, dust etc
Precision machine	Bearing, sewing machine parts, typewriter, textile machine, optical mechanical device, gas valve, watches, cameras, metal filter element, etc.	Machine cutting oil, iron filings, polishing powder, finger print oil, grease, dirt etc.
Optical device	Glasses, lens prism, optical lens, filter lens, glass device, film, optical fiber, etc.	Plastic, resin, paraffin, finger printing, etc
Hardware & machinery parts	Bearing, gear, bal, metal shaft parts, tools, adjustable valve, and cylinder parts, burner, copm pressors, hydraulic press, gun and ultracentrifuge, city water faucet, etc.	Cutting oil, iron filings, grease, polishing powder, finger printing, and so on.
Medical instrument	Medical instrument, denture, etc.	Iron filings, polishing powder, oil, stamping oil, dirt, etc.
Electroplate	Galvanized parts, mold, stamping parts, etc.	Polishing scrap iron, oil, black iron shell, rust, oxidation shell, scrap iron, polishing powder, stamping oil, dirt etc
Car parts	Poston ring, carburetor, flow meter housing, compressor shell, electrical components, etc.	Iron filings, polishing powder, oil, stamping oil, dirt, etc
Chemical fiber	Chemical or artificial fiber nozzle filter protector, chemical fiber texture, etc.	Chemical colloid, glue, and other solid material, dust, etc

Anexo N°06: Tablas de corrección indicada vs humedad.



SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C

SERVICIOS DE LABORATORIO DE ENSAYO DE SUELOS Y PAVIMENTOS, CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE LABORATORIO

Área de Metrología
LABORATORIO DE PRESIÓNCERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
SLSP - LP - 007-2022

pág. 4 de 4

12.- Tablas de corrección Indicación vs humedad

MARCA	RITHEM
SERIE	NO INDICA

MODELO	NO INDICA
CAPACIDAD	7.00g

NRO. DE CERTIFICADO	SLSP - LP - 007-2022
FORM. % DE HUMEDAD	Y=0.6662X-0.0052

X=INDICACIÓN (PSI)
Y=HUMEDAD (%)

INDICACION (PSI)	HUMEDAD (%)
1.0	0.7
2.0	1.3
3.0	2.0
4.0	2.7
5.0	3.3
6.0	4.0
7.0	4.7
8.0	5.3
9.0	6.0
10.0	6.7
11.0	7.3
12.0	8.0
13.0	8.7
14.0	9.3
15.0	10.0

INDICACION (PSI)	HUMEDAD (%)
16.0	10.7
17.0	11.3
18.0	12.0
19.0	12.7
20.0	13.3
21.0	14.0
22.0	14.7
23.0	15.3
24.0	16.0
25.0	16.6
26.0	17.3
27.0	18.0
28.0	18.6
29.0	19.3
30.0	20.0



Av. Vicente Ruso Lote 1, Fundo El Cerrito (Al Costado de la Quinta Arellano - Prolongación Bolognesi)
Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP Asfaltos
948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250



emp_calibraciones@hotmail.com
servicios_lab@hotmail.com

Anexo N°07: Matriz de Consistencia.

Evaluación del comportamiento de las propiedades físico-mecánicas de concreto de alta resistencia $F'c = 500 \text{ kg/cm}^2$, incorporando nanoplaquetas de grafeno con aplicación de ondas ultrasónicas									
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE	DESCRIPCIÓN	INDICADOR	RANGO DE APLICACIÓN	UNID. DE MEDIDA	MÉTODO DE MEDICIÓN (Instrumento, Ensayo, Norma)	
¿La adición de nanotubos de grafeno al concreto de alta resistencia mediante la aplicación de ondas ultrasónicas mejora las propiedades físico-mecánicas del concreto facilitando su elaboración?	GENERAL	Las nanoplaquetas de grafeno y el uso de ondas ultrasónicas mejoran considerablemente las propiedades físico-mecánicas del concreto, facilitando la elaboración de concretos de alta resistencia	Independiente	Ondas Ultrasónicas	Tiempo de aplicación	0 - 60	Minutos	Cronómetro de la máquina de limpieza por ondas ultrasónicas JP-040S	
	Potencia de ondas ultrasónicas				120-240	Potencia (Watts)	Regulador de la máquina de limpieza por ondas ultrasónicas JP-040S		
	Nanoplaquetas de grafeno			Porcentaje en peso del cemento	0.27 y 0.33	%	Balanza digital de 0,01g de precisión		
	ESPECÍFICOS			VARIABLE	DESCRIPCIÓN	INDICADOR		UNID. DE MEDIDA	MÉTODO DE MEDICIÓN (Instrumento, Ensayo, NTP)
	Determinar el tiempo y potencia óptimos para la aplicación de ondas ultrasónicas con el fin de conseguir una adecuada dispersión de nanoplaquetas de grafeno					Propiedades Físicas del concreto endurecido	Densidad	kg/cm3	Ensayo de densidad por ASTM C642
							Absorción	%	Ensayo de absorción por ASTM C642
				Porcentaje de vacíos	%		Ensayo de porcentaje de vacíos por ASTM C642		
	Evaluar la resistencia a la compresión del concreto $F'c=500 \text{ kg/cm}^2$ con la adición de nanoplaquetas de grafeno en dos diferentes porcentajes y la aplicación de ondas ultrasónicas			Propiedades físico-mecánicas	Resistencia a la compresión	kg/cm2	Ensayo de resistencia a la compresión según ASTM C40		
					Resistencia a la flexión	kg/cm2	Ensayo de resistencia a la flexión ASTM C293		
					Durabilidad por resistencia a los sulfatos	gr	Ensayo de durabilidad por ASTM C157		
	Evaluar la resistencia a la flexión del concreto $F'c=500 \text{ kg/cm}^2$ con la incorporación de nanoplaquetas de grafeno en dos diferentes porcentajes y la aplicación de ondas ultrasónicas			VARIABLE	DESCRIPCIÓN	INDICADOR		UNID. DE MEDIDA	MÉTODO DE MEDICIÓN (Instrumento, Ensayo, NTP)
						Materiales del diseño de Mezcla	Cemento Qhuna Tipo I	Tipo	NTP 334.090
							Aditivo Superplastificante a base de policarboxilato	%	Balanza digital de 0,01g de precisión
			Granulometría de los agregados				%	Análisis granulométrico de los agregados según ASTM C136	
			Módulo de fineza del agregado fino				-	Análisis granulométrico de los agregados según ASTM C136	
			Peso específico de los agregados				kg/m3	Peso específico de los agregados según ASTM C127	
			Peso unitario suelto y varillado de los agregados				kg/m3	Peso unitario y vacíos en los agregados según ASTM C29M	
			Contenido de humedad				%	Análisis del contenido de humedad de los agregados según ASTM 566	
			Capacidad de absorción				%	Absorción de los agregados según ASTM C128	
			Contenido de sales				%	Contenido de sales según NTP 339.152	
Evaluar la durabilidad del concreto con el porcentaje más óptimo de nanoplaquetas de grafeno		VARIABLE	DESCRIPCIÓN	INDICADOR			UNID. DE MEDIDA	MÉTODO DE MEDICIÓN (Instrumento, Ensayo, NTP)	
				Propiedades Físicas del concreto fresco	Peso Unitario	kg/m3	Peso unitario del concreto según ASTM C138		
					Asentamiento	pulg	Asentamiento del concreto según ASTM C143		
Temperatura	°C	Ensayo para determinar la temperatura de mezclas según ASTM C1064							
Determinar las ventajas y desventajas del uso de nanoplaquetas de grafeno en un concreto de alta resistencia									
Elaborar el costo producción del concreto patrón y con uso de nanoplaquetas de grafeno en sus diferentes porcentajes									

Anexo N°08. Resultados de los análisis en laboratorio para los agregados.



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
 Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

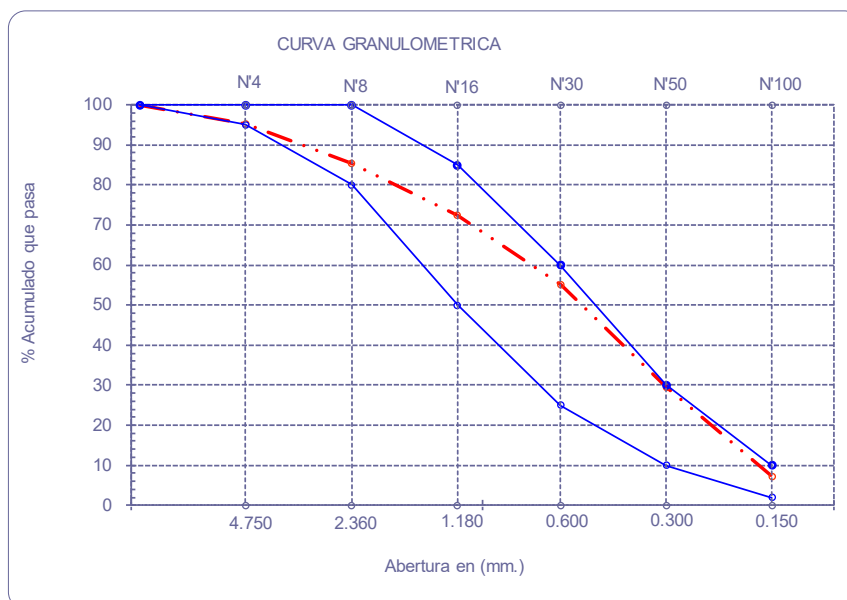


Tesista : Guevara Rimarachín Kevin Paul
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Evaluación del comportamiento de las propiedades físico-mecánicas de concreto de alta resistencia $F'c = 500 \text{ kg/cm}^2$, incorporando nanoplaquetas de grafeno con aplicación de ondas
Ubicación : Dist. de Chiclayo, Prov. De Chiclayo, Dpto. de Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 29 de Septiembre del 2022

Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado del agregado fino
Referencia : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

Cantera : Agregado Fino - Ferreñafe, Tres Tomas (Arena). **P. Inicial H.** 600.0 **% de Humedad =** 0.7 **Modulo de Fineza:** 2.55
P. Inicial S. 596.0

Malla	Peso Ret.	(%) Ret.	(%) Acum. Ret.	(%) Acum. Que Pasa	Especificaciones:	
Pulg.	(mm.)					
1/2"	12.700	0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	0	0.0	100.0	100	100
Nº 04	4.750	28.2	4.7	95.3	95	100
Nº 08	2.360	59.3	9.9	85.3	80	100
Nº 16	1.180	76.2	12.8	27.5	72.5	85
Nº 30	0.600	104	17.4	44.9	55.1	60
Nº 50	0.300	152.8	25.6	70.6	29.4	30
Nº 100	0.150	132.5	22.2	92.8	7.2	10
Fondo		43	7.2	100.0	0.0	
Módulo de Fineza			2.551			
Abertura de malla de referencia			9.500			



OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.

Guevara Rimarachín Kevin Paul
 Tesista

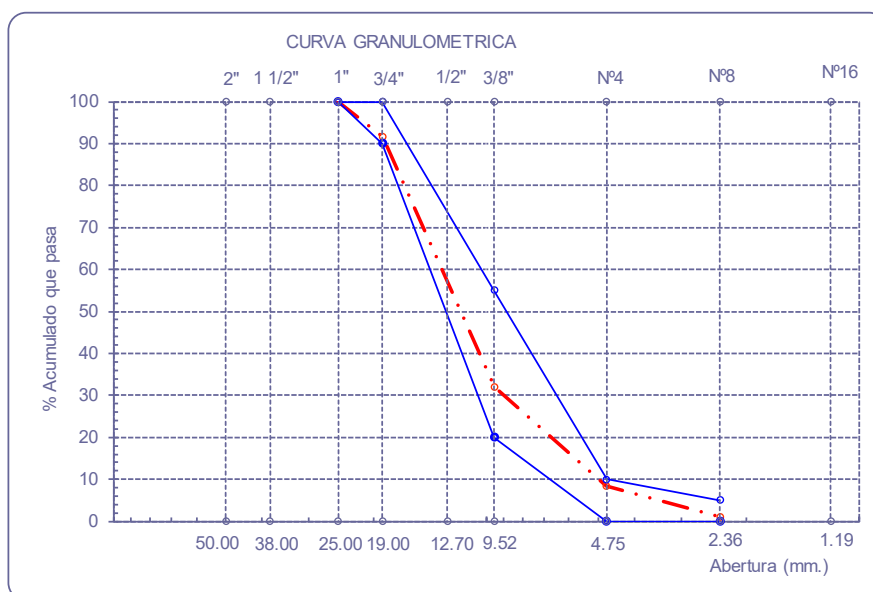




Tesista : Guevara Rimarachín Kevin Paul
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Evaluación del comportamiento de las propiedades físico-mecánicas de concreto de alta resistencia $F'c = 500 \text{ kg/cm}^2$, incorporando nanoplaquetas de grafeno con aplicación de : Dist. de Chiclayo, Prov. De Chiclayo, Dpto. de Lambayeque.
Ubicación : Chiclayo, 29 de Septiembre del 2022
Fecha de emisión : Chiclayo, 29 de Septiembre del 2022
Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso
Referencia : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

Cantera : Agregado Grueso - Pacherrez (Piedra de 1/2").
P. Inicial H. 12750
P. Inicial S. 12687
% de Humedad = 0.50

Malla		Peso Ret.	(% Ret.)	(% Acum. Ret.)	(% Acum. Que Pasa)	Especificaciones USO 67	
Pulg.	(mm.)						
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
1"	25.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
3/4"	19.00	1063.0	8.4	8.4	91.6	90.0	100.0
1/2"	12.70	0.0	0.0	8.4	91.6		
3/8"	9.52	7568.0	59.7	68.0	32.0	20.0	55.0
1/4"	6.33	0.0	0.0	68.0	32.0		
Nº 04	4.75	2985.0	23.5	91.6	8.4	0.0	10.0
Nº 08	2.36	924.0	7.3	98.8	1.2	0.0	5.0
Nº 16	1.19	210.0	1.7	100.5	-0.5		
Fondo		0	0.0	100.5	-0.5		
Tamaño Maximo			1"	9.52			
Tamaño Maximo Nominal			3/4"	6.33			



OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio.



Guevara Rimarachín Kevin Paul

Tesista





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
 Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú



Tesista : Guevara Rimarachín Kevin Paul
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Evaluación del comportamiento de las propiedades físico-mecánicas de concreto de alta resistencia $F'c = 500 \text{ kg/cm}^2$, incorporando nanoplaquetas de grafeno con aplicación de ondas
Lugar : Dist. de Chiclayo, Prov. De Chiclayo, Dpto. de Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 29 de Septiembre del 2022
Ensayo : Peso unitario del agregado fino
Referencia : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

Cantera : Agregado Fino - Ferreñafe, Tres Tomas (Arena).

1.- PESO UNITARIO SUELTO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	19300	19350	19280
2.- Peso del recipiente	(gr.)	10477.0	10477.0	10477.0
3.- Peso del material		8823	8873	8803
4.- Constante ó Volumen	(m^3)	0.00575	0.00575	0.00575
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m^3)	1535	1544	1531
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m^3)	1537		

2.- PESO UNITARIO COMPACTADO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	20650	20700	20690
2.- Peso del recipiente	(gr.)	10477.0	10477.0	10477.0
3.- Peso del material		10173	10223	10213
4.- Constante ó Volumen	(m^3)	0.00575	0.00575	0.00575
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m^3)	1770	1779	1777
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m^3)	1775		

OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio.

Guevara Rimarachín Kevin Paul
Tesista





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
 Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú



Tesista : Guevara Rimarachín Kevin Paul
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Evaluación del comportamiento de las propiedades físico-mecánicas de concreto de alta resistencia $F'c = 500 \text{ kg/cm}^2$, incorporando nanoplaquetas de grafeno con aplicación de ondas

Lugar : Dist. de Chiclayo, Prov. De Chiclayo, Dpto. de Lambayeque.

Fecha de emisión : Chiclayo, 29 de Septiembre del 2022

Ensayo : Peso unitario del agregado grueso

Referencia : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

Cantera : Agregado Grueso - Pacherez (Piedra de 1/2").

A.- PESO UNITARIO SUELTO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	18745	18700	18760
2.- Peso del recipiente	(gr.)	10477.0	10477.0	10477.0
3.- Peso del material		8268	8223	8283
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00575	0.00575	0.00575
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m ³)	1438	1431	1441
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m ³)	1437		

B.- PESO UNITARIO COMPACTADO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	19826	19800	19850
2.- Peso del recipiente	(gr.)	10477.0	10477.0	10477.0
3.- Peso del material		9349	9323	9373
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00575	0.00575	0.00575
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m ³)	1626	1622	1631
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m ³)	1626		

OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio.

Guevara Rimarachín Kevin Paul
Tesista





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
 Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú



Tesista : Guevara Rimarachín Kevin Paul
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Evaluación del comportamiento de las propiedades físico-mecánicas de concreto de alta resistencia $F^c = 500 \text{ kg/cm}^2$, incorporando nanoplaquetas de grafeno con aplicación de ondas ultrasónicas
Lugar : Dist. de Chiclayo, Prov. De Chiclayo, Dpto. de Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 29 de Septiembre del 2022
Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado fino
Referencia : Norma ASTM C-128 ó N.T.P. 400.022

Cantera : Agregado Fino - Ferreñafe, Tres Tomas (Arena).

I.- Datos.

1.- A Peso Mat. Sat. Sup. Seco (en Aire)	(g)	300.0	300.0
2.- B Pes Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	676.1	680
3.- C Peso Frasco + agua + A	(g)	976.1	980
4.- D Peso del Mat. + agua en el frasco	(g)	862.5	865.5
5.- E Vol de masa + vol de vacío = C-D	(g)	113.6	114.5
6.- F Pe. De Mat. Seco en estufa (105°C)	(g)	296.6	296.6
7.- G Vol de masa = E - (A - F) (gr)	(g)	110.15	111.07

II.- Resultados

A- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.600
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.630
C.- PESO ESPESIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.681
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	1.20

OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio.

Guevara Rimarachín Kevin Paul
Tesista





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú



Tesista : Guevara Rimarachín Kevin Paul
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Evaluación del comportamiento de las propiedades físico-mecánicas de concreto de alta resistencia $F'c = 500 \text{ kg/cm}^2$, incorporando nanoplaquetas de grafeno con aplicación de ondas ultrasónicas
Lugar : Dist. de Chiclayo, Prov. De Chiclayo, Dpto. de Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 29 de Septiembre del 2022
Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado grueso
Referencia : Norma ASTM C-127 ó N.T.P. 400.021

Cantera : Agregado Grueso - Pacherez (Piedra de 1/2").

I.- Datos.

1.- A Peso Mat.Sat. Sup. Seca (En Aire)	(g)	1124	1231
2.- B Peso Mat.Sat. Sup. Seca (En Agua)	(g)	700	768
3.- C Vol. de masa + vol de vacíos = A-B	(g)	424	463
4.- D Peso material seco en estufa (105 °C)	(g)	1114	1220
5.- Vol. de masa = C- (A - D)	(g)	414	452

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.630
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.654
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.694
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.90

OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio.

Guevara Rimarachín Kevin Paul

Tesista





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú



Tesista : Guevara Rimarachín Kevin Paul
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Evaluación del comportamiento de las propiedades físico-mecánicas de concreto de alta resistencia $F_c = 500 \text{ kg/cm}^2$, incorporando nanoplaquetas de grafeno con aplicación de ondas ultrasónicas
Lugar : Dist. de Chiclayo, Prov. De Chiclayo, Dpto. de Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 29 de Septiembre del 2022
Ensayo : Contenido de humedad del agregado fino
Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Cantera : Agregado Fino - Ferreñafe, Tres Tomas (Arena).

I. - Datos

A.- Peso de muestra húmeda + tara	(gr.)	600	600
B.- Peso de muestra seca + tara	(gr.)	596	596
C.- Contenido de humedad	(%)	0.70	0.70
D.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.70	

OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio.

Guevara Rimarachín Kevin Paul
Tesista





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú



Tesista : Guevara Rimarachín Kevin Paul
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Evaluación del comportamiento de las propiedades físico-mecánicas de concreto de alta resistencia $F'c = 500 \text{ kg/cm}^2$, incorporando nanoplaquetas de grafeno con aplicación de ondas ultrasónicas
Lugar : Dist. de Chiclayo, Prov. De Chiclayo, Dpto. de Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 29 de Septiembre del 2022
Ensayo : Contenido de humedad del agregado grueso
Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Cantera : Agregado Grueso - Pacherez (Piedra de 1/2").

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda + tara	(gr.)	1200	1200
B.- Peso de muestra seca + tara	(gr.)	1194	1194
C.- Contenido de humedad	(%)	0.5	0.5
D.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.50	

OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio.

Guevara Rimarachín Kevin Paul
Tesista





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú



Tesista : Guevara Rimarachín Kevin Paul
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Evaluación del comportamiento de las propiedades físico-mecánicas de concreto de alta resistencia $F_c = 500 \text{ kg/cm}^2$, incorporando nanoplaquetas de grafeno con aplicación de ondas ultrasónicas
Lugar : Dist. de Chiclayo, Prov. De Chiclayo, Dpto. de Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 29 de Septiembre del 2022
Ensayo : Contenido de sales del agregado fino
Referencia : N.T.P. 339.152.

Cantera : Agregado Fino - Ferreñafe, Tres Tomas (Arena).

I. - Datos

A.- Muestra	(Nº)	1	2
B.- Peso Tarro (Biker 100mL.) Pyres	(gr.)	74.81	87.84
C.- Peso Tarro + agua + sal	(gr.)	120.37	137.84
D.- Peso Tarro Seco + sal	(gr.)	74.85	87.88
E.- Peso de Sal	(gr.)	0.04	0.04
F.- Peso de Agua	(gr.)	45.56	50.00
G.- Porcentaje de Sal	(%)	0.09	0.08
H.- Promedio	(%)	0.08	

OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio.

Guevara Rimarachín Kevin Paul
Tesista





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú



Tesista : Guevara Rimarachín Kevin Paul
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Evaluación del comportamiento de las propiedades físico-mecánicas de concreto de alta resistencia $F_c = 500 \text{ kg/cm}^2$, incorporando nanoplaquetas de grafeno con aplicación de ondas ultrasónicas
Lugar : Dist. de Chiclayo, Prov. De Chiclayo, Dpto. de Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 29 de Septiembre del 2022
Ensayo : Contenido de sales del agregado grueso
Referencia : N.T.P. 339.152.

Cantera : Agregado Grueso - Pacherez (Piedra de 1/2").

I. - Datos

A.- Muestra	(Nº)	1	2
B.- Peso Tarro (Biker 100mL.) Pyres	(gr.)	48.52	64.63
C.- Peso Tarro + agua + sal	(gr.)	91.08	123
D.- Peso Tarro Seco + sal	(gr.)	48.53	64.65
E.- Peso de Sal	(gr.)	0.01	0.02
F.- Peso de Agua	(gr.)	42.56	50.00
G.- Porcentaje de Sal	(%)	0.02	0.04
H.- Promedio	(%)	0.03	

OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio.

Guevara Rimarachín Kevin Paul
Tesista





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú



Tesista : Guevara Rimarachín Kevin Paul
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Evaluación del comportamiento de las propiedades físico-mecánicas de concreto de alta resistencia $F_c = 500 \text{ kg/cm}^2$, incorporando nanoplaquetas de grafeno con aplicación de ondas ultrasónicas
Lugar : Dist. de Chiclayo, Prov. De Chiclayo, Dpto. de Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 29 de Septiembre del 2022
Ensayo : Abrasión (Máquina de los Ángeles)
Referencia : N.T.P. 400.019.

Cantera : Agregado Gueso - Pacherez (Piedra de 1/2").

I. - Datos

A.- Peso total	(gr.)	5000
B.- Peso retenido tamiz N°12	(gr.)	3895
C.- Pérdida después del ensayo	(gr.)	1105
D.- N° de esferas	(N°)	6.00
E.- Peso de las esferas	(gr.)	2476.00
F.- Tiempo de rotación	(min)	15.00
G.- Porcentaje de desgaste	(%)	22.00

OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio.

Guevara Rimarachín Kevin Paul
Tesista



Anexo N°09. Cálculo para el diseño de mezcla.

DISEÑO DE MEZCLA CONCRETO F'C= 500KG/CM2 - ACI 211.4

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LABORATORIO DE LOS AGREGADOS

Agregado fino		Agregado Grueso	
Módulo de Fineza	2.55	TMN	3/4"
Peso Específico	2600 kg/m ³	Peso Específico	2630 kg/m ³
PUC=	1775 kg/m ³	PUC	1626 kg/m ³
Cont. Humedad	0.70%	Cont. Humedad	0.5%
Absorción	1.2%	Absorción	0.9%
PUSH	1537 kg/m ³	PUSH	1437 kg/m ³

1. SELECCIÓN DEL SLUMP Y DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO REQUERIDA O PROMEDIO

Tabla N° 01. Slump recomendado para concretos de alta resistencia con y sin superplastificante.

Slump con SP	Slump sin SP
1" - 2"	2" - 4"

Fuente: ACI C211.4

SLUMP con SP=	2"
----------------------	-----------

$f'_{cr} = \frac{f'_c + 98}{0.9}$	
f'c=	500 kg/cm ²
f'cr=	664 kg/cm²

2. SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO "TM"

Tabla N° 02. Tamaño máximo del agregado grueso.

Resistencia requerida del concreto (kg/cm ²)	Tamaño máximo del agregado
< 630	3/4" - 1"
> 630	3/8" - 1/2"

Fuente: ACI C211.4

TMN=	3/4
-------------	------------

3. SELECCIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE AGREGADO GRUESO

Tabla N° 03. Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto (para AF con M.F. 2,5 - 3,2).

Tamaño nominal máximo	3/8"	1/2"	3/4"	1"
Fración volumétrica P _{sag}	0.65	0.68	0.72	0.75

Fuente: ACI C211.4

Peso seco del agregado grueso = %P_{sag} * P. U. C.

W seco A.G.=	1170.72 kg
---------------------	-------------------

4. ESTIMACIÓN DEL AGUA DE MEZCLA Y EL CONTENIDO DE AIRE

Tabla N° 04. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire del concreto basado en el uso de una arena con 35% de vacíos).

Slump	Agua de mezclado en kg/m ³ para los tamaños máximos de agregados gruesos indicados			
	3/8"	1/2"	3/4"	1"
	1"-2"	183	174	168	165
2"-3"	189	183	174	171
3"-4"	195	189	180	177
Aire Atrapado				
Sin superplastificante	3	2.5	2	1.5
Con superplastificante	2.5	2	1.5	1

Fuente: ACI C211.4

- Cálculo del contenido de vacíos del agregado fino.

$$\text{Contenido de vacíos, } V\% = \left(1 - \frac{P. U. C.}{\text{Peso específico}}\right) * 100$$

Agua =	168 kg/m3
Vi%=	35.00%
Vc%=	31.73%
Corregir agua	

$$\text{Ajuste del agua de mezclado, } A' \text{ kgm}^3 = 4,72 * (V - 35)$$

A' =	-0.15 kg/m3
Agua corregida =	168 kg/m3

5. SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA - MATERIAL CEMENTANTE a/mc.

Tabla N° 5. Relación agua/material cementante para concretos sin superplastificante.

Resistencia promedio fcr kg/cm²	Edad (días)	Relación a/cm para los tamaños máximos de agregados gruesos indicados			
		3/8"	1/2"	3/4"	1"
500	28	0.41	0.4	0.39	0.38
	56	0.44	0.43	0.42	0.42
550	28	0.36	0.35	0.34	0.34
	56	0.39	0.38	0.37	0.36
600	28	0.32	0.31	0.31	0.3
	56	0.35	0.34	0.33	0.32
650	28	0.29	0.28	0.28	0.27
	56	0.32	0.31	0.3	0.29
700	28	0.26	0.26	0.25	0.25
	56	0.29	0.28	0.27	0.26

Fuente: ACI C211.4

Tabla N° 6. Relación agua/material cementante para concretos con superplastificante.

Resistencia promedio fcr* kg/cm²	Edad (días)	Relación a/cm para los tamaños máximos de agregados gruesos indicados			
		3/8"	1/2"	3/4"	1"
500	28	0.49	0.47	0.45	0.42
	56	0.54	0.51	0.47	0.45
550	28	0.44	0.42	0.4	0.39
	56	0.49	0.46	0.43	0.41
600	28	0.4	0.38	0.36	0.35
	56	0.44	0.41	0.39	0.37
650	28	0.36	0.35	0.33	0.32
	56	0.4	0.38	0.36	0.34
700	28	0.33	0.32	0.31	0.3
	56	0.37	0.35	0.33	0.32
750	28	0.31	0.3	0.28	0.28
	56	0.34	0.32	0.3	0.3
800	28	0.29	0.28	0.26	0.26
	56	0.32	0.3	0.28	0.28
850	28	0.27	0.26	0.25	0.25
	56	0.3	0.28	0.27	0.26

Fuente: ACI C211.4

TABULACIÓN	
550	0.40
598	0.362
600	0.36

Ajuste de f'cr para usar las tablas 5 y 6, multiplicar f'cr por 0,9.

f'cr =	598
a/mc =	0.362

5.1 CÁLCULO DEL CONTENIDO DE MANTERIAL CEMENTANTE /m3

$$\text{Material cementante} = \frac{\text{Cantidad de agua de mezclado}}{a/c}$$

mc=	464.60 kg/m3 ^o
mc=	10.93 bls/m3 ^o

6. DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE ADICIÓN DE SUPERPLASTIFICANTE

Sikament TM-312

RENDIMIENTO:

Plastificante: 0,5% a 1% sobre el peso del cemento.

Superplastificante: 1% a 2% sobre el peso del cemento.

OTRAS CONSIDERACIONES:

Densidad= 1.20 Kg/L

% elegido inicial=	1.00%
Slump Diseño=	2.00 "

- Cálculo de aditivo por metro cúbico de concreto:

ADITIVO=	3.87 lts/m3 ^o
ADITIVO=	354.17 ml/bls

7. DETERMINACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA BASE

Las proporciones de todos los materiales por m3 excepto la arena es la siguiente:

Cemento=	0.158 m3
A.G.=	0.445 m3
Agua=	0.168 m3
Aire=	0.015 m3
Aditivo 1=	0.004 m3
	<u>0.790 m3</u>
A.F.=	0.210 m3

La cantidad de agregado fino por m3 será:

A.F.=	545.90 kg
--------------	------------------

7.1 El diseño de mezcla en condiciones secas inicial:

Cemento=	464.60 kg/m3 ^o
A.F.=	545.90 kg/m3 ^o
A.G.=	1170.72 kg/m3 ^o
Agua=	168.00 lts/m3 ^o
Aditivo=	4.65 lts/m3 ^o
	<u>2353.86 kg</u>

Una vez convertido el diseño de mezcla en condiciones secas inicial a condiciones húmedas, se probó en el laboratorio para evaluar el Slump obtenido. El Slump obtenido fue de 11", esto debido a la acción del aditivo superplastificante y a la reducida proporción de agregado fino, por ello se optó por cambiar el porcentaje de agregado fino y grueso de la mezcla, realizando el primer reajuste.

7.2 Ajuste N°1: Proporcionamiento de los agregados.

V. Agregados **1716.62 kg/m3^o**

Proporciones iniciales	
Arena =	32%
Piedra =	87%
Proporciones finales	
Arena =	45%
Piedra =	55%

7.3 Diseño de mezcla en condiciones secas final:

Cemento=	464.60 kg/m ³ c ^o
A.F.=	772.48 kg/m ³ c ^o
A.G.=	944.14 kg/m ³ c ^o
Agua=	168.00 lts/m ³ c ^o
Aditivo=	4.65 lts/m ³ c ^o
	2353.86 kg

8. AJUSTE POR EL CONTENIDO DE AGUA DE LOS AGREGADOS.

A.G. corregido=	948.86 kg
A.F. corregido=	777.88 kg

Corregimos el agua de mezclado tomando en cuenta la absorción de los agregados:

Agua efectiva=	176 lts/m ³
----------------	------------------------

9. DISEÑO DE MEZCLA EN CONDICIONES HÚMEDAS

Cemento=	464.60 kg/m ³ c ^o
A.F.=	777.88 kg/m ³ c ^o
A.G.=	948.86 kg/m ³ c ^o
Agua=	175.64 lts/m ³ c ^o
Aditivo=	3.87 lts/m ³ c ^o

9.1 Dosificación para tanda de prueba en laboratorio.

Cemento	7.389
A.F.	12.372
A.G.	15.091
Agua	2.793
Aditivo	0.062
Aditivo	61.58

Slump obtenido de la dosificación: 1"

9.2 Reajuste de dosificación durante el mezclado.

Dado que el slump obtenido no fue el requerido, se procedió a realizar un reajuste en la cantidad de agua y aditivo. Puesto que la interacción del superplastificante no cuenta con registros anteriores, este procedimiento se realiza según la recomendación dada en la ficha técnica, la cual indica experimentación en laboratorio. Para ello se busca obtener un Slump de 3.5" con SP.

Adición durante el mezclado	
+ Agua	530.00 ml
+ Aditivo	40.00 ml

PROPORCIONES FINALES:	
Cemento	7.39
A.F.	12.37
A.G.	15.09
Agua	3.32 ml
Aditivo	0.102
Aditivo	101.58 ml

9.3 Conversión de las nuevas proporciones de aditivo y agua a m3 de concreto para el diseño de mezcla final.

Aditivo=	6.39 lts/m3cº
Agua=	208.96 lts/m3cº

% final aditivo=	1.65%
Slump Obtenido=	3.5

DISEÑO DE MEZCLA FINAL	
Cemento=	464.60 kg/m3cº
A.F.=	777.88 kg/m3cº
A.G.=	948.86 kg/m3cº
Agua=	208.96 lts/m3cº
Aditivo=	6.39 lts/m3cº

10. DOSIFICACIÓN EN PESO

C	AF	AG	Agua	Aditivo	
1.00	1.67	2.04	208.96	6.39	lts/m3cº
1.00	1.67	2.04	19.12	0.58	lts/bls

11. DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN

A) Materiales por tanda:

Cemento=	42.50 kg/bls
A.F.=	71.16 kg/bls
A.G.=	86.80 kg/bls
Agua=	19.12 lts/bls
Aditivo=	0.58 lts/bls

B) PUSH:





PUSH AF=	1537.00 kg/m3 ag
PUSH AG=	1437.00 kg/m3 ag

C) PUSH (kg/pie3)

PUSH AF=	43.64 kg/pie3
PUSH AG=	40.80 kg/pie3

C	AF	AG	Agua	Aditivo	
1.00	1.63	2.13	19.12	0.58	lts/bls

Anexo N°10. Diseño de mezcla para concreto patrón y con NPG.

	UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS Av. San José María Escrivá N°855. Chiclayo - Perú						
	ESCUELA: ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL TESISTA: Guevara Rimarachín, Kevin Paul TESIS: Evaluación del comportamiento de las propiedades físico-mecánicas de concreto de alta resistencia $F'c = 500 \text{ kg/cm}^2$, incorporando nanoplaquetas de grafeno con aplicación de ondas ultrasónicas.						
UBICACIÓN: Distrito de Chiclayo, Provincia de Chiclayo, Departamento de Lambayeque							
DISEÑO DE MEZCLA FINAL		F'c= 500 kg/cm²					
CEMENTO:							
1.- Tipo de cemento	: Tipo I QHUNA						
2.- Peso específico	: 2940 kg/cm ³						
AGREGADOS:							
Agregado fino:		Agregado grueso:					
Cantera	: FERREÑAFE - TRES TOMAS (ARENA)						
1.- Peso específico de masa	2.600 gr/cm ³	Cantera	: PACHERREZ (PIEDRA DE 1/2")				
2.- Peso específico de masa S.S.S.	2.630 gr/cm ³	1.- Peso específico de masa	2.630 gr/cm ³				
3.- Peso unitario suelto	1537 kg/m ³	2.- Peso específico de masa S.S.S.	2.654 gr/cm ³				
4.- Peso unitario compactado	1775 kg/m ³	3.- Peso unitario suelto	1437 kg/m ³				
5.- % de absorción	1.2%	4.- Peso unitario compactado	1626 kg/m ³				
6.- Contenido de humedad	0.7%	5.- % de absorción	0.9%				
7.- Módulo de fineza	2.55	6.- Contenido de humedad	0.5%				
		7.- Tamaño máximo	1 "				
		8.- Tamalo máximo nominal	3/4"				
Resultados del diseño de mezcla:							
Factor cemento por M3 de concreto	: 10.9 bls/m ³						
Relación agua cemento de diseño	: 0.362						
Cantidad de materiales por metro cúbico:							
Cemento	465 kg/m ³	: Tipo I QHUNA					
Agua	209 Lts/m ³	: Potable					
Agregado fino	778 kg/m ³	: FERREÑAFE - TRES TOMAS (ARENA)					
Agregado grueso	949 kg/m ³	: PACHERREZ (PIEDRA DE 1/2")					
Aditivo	6 Lts/m ³						
	Cemento	Arena	Piedra	Agua	Aditivo	Lts/bls	Adición NPG
Proporción en peso:	1.00	1.67	2.04	19.12	0.58	Lts/bls	0.00
Proporción en volumen:	1.00	1.63	2.13	19.12	0.58	Lts/bls	0.00
 Guevara Rimarachín, Kevin Paul Tesista							



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
Av. San José María Escrivá N°855. Chiclayo - Perú



ESCUELA: ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
TESISTA: Guevara Rimarachín, Kevin Paul
TESIS: Evaluación del comportamiento de las propiedades físico-mecánicas de concreto de alta resistencia $F'c = 500 \text{ kg/cm}^2$, incorporando nanoplaquetas de grafeno con aplicación de ondas ultrasónicas.

UBICACIÓN: Distrito de Chiclayo, Provincia de Chiclayo, Departamento de Lambayeque

DISEÑO DE MEZCLA FINAL

$F'c = 500 \text{ kg/cm}^2$ (+0.27% adición de NPG)

CEMENTO:

1.- Tipo de cemento 0
 2.- Peso específico : 2940 kg/cm³

AGREGADOS:

Agregado fino:

Cantera : FERREÑAFE - TRES TOMAS (ARENA)

1.- Peso específico de masa 2.600 gr/cm³
 2.- Peso específico de masa S.S.S. 2.630 gr/cm³
 3.- Peso unitario suelto 1537 kg/m³
 4.- Peso unitario compactado 1775 kg/m³
 5.- % de absorción 1.2%
 6.- Contenido de humedad 0.7%
 7.- Módulo de fineza 2.55

Agregado grueso:

Cantera : PACHERREZ (PIEDRA DE 1/2")

1.- Peso específico de masa 2.630 gr/cm³
 2.- Peso específico de masa S.S.S. 2.654 gr/cm³
 3.- Peso unitario suelto 1437 kg/m³
 4.- Peso unitario compactado 1626 kg/m³
 5.- % de absorción 0.9%
 6.- Contenido de humedad 0.5%
 7.- Tamaño máximo 1 "
 8.- Tamalo máximo nominal 3/4"

Resultados del diseño de mezcla:

Factor cemento por M3 de concreto : 10.9 bls/m³
 Relación agua cemento de diseño : 0.362

Cantidad de materiales por metro cúbico:

Cemento	465 kg/m ³	: Tipo I QHUNA
Agua	176 L	: Potable
Agregado fino	778 kg/m ³	: FERREÑAFE - TRES TOMAS (ARENA)
Agregado grueso	949 kg/m ³	: PACHERREZ (PIEDRA DE 1/2")
Aditivo	6 Lts/m ³	

	Cemento	Arena	Piedra	Agua	Aditivo	Lts/bls	Adición NPG
Proporción en peso:	1.00	1.67	2.04	19.12	0.58	Lts/bls	1.25 kg/m ³ C°
Proporción en volumen:	1.00	1.63	2.13	19.12	0.58	Lts/bls	1.25 kg/m ³ C°

Guevara Rimarachín, Kevin Paul

Tesista





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
Av. San José María Escrivá N°855. Chiclayo - Perú



ESCUELA: ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
TESISTA: Guevara Rimarachín, Kevin Paul
TESIS: Evaluación del comportamiento de las propiedades físico-mecánicas de concreto de alta resistencia $F'c = 500 \text{ kg/cm}^2$, incorporando nanoplaquetas de grafeno con aplicación de ondas ultrasónicas.

UBICACIÓN: Distrito de Chiclayo, Provincia de Chiclayo, Departamento de Lambayeque

DISEÑO DE MEZCLA FINAL

$F'c = 500 \text{ kg/cm}^2$ (+0,33% adición de NPG)

CEMENTO:

1.- Tipo de cemento : Tipo I QHUNA
 2.- Peso específico : 2940 kg/cm³

AGREGADOS:

Agregado fino:

Cantera : FERREÑAFE - TRES TOMAS (ARENA)
 1.- Peso específico de masa 2.600 gr/cm³
 2.- Peso específico de masa S.S.S. 2.630 gr/cm³
 3.- Peso unitario suelto 1537 kg/m³
 4.- Peso unitario compactado 1775 kg/m³
 5.- % de absorción 1.2%
 6.- Contenido de humedad 0.7%
 7.- Módulo de fineza 2.55

Agregado grueso:

Cantera : PACHERREZ (PIEDRA DE 1/2")
 1.- Peso específico de masa 2.630 gr/cm³
 2.- Peso específico de masa S.S.S. 2.654 gr/cm³
 3.- Peso unitario suelto 1437 kg/m³
 4.- Peso unitario compactado 1626 kg/m³
 5.- % de absorción 0.9%
 6.- Contenido de humedad 0.5%
 7.- Tamaño máximo 1 "
 8.- Tamalo máximo nominal 3/4"

Resultados del diseño de mezcla:

Factor cemento por M3 de concreto : 10.9 bls/m³
 Relación agua cemento de diseño : 0.362

Cantidad de materiales por metro cúbico:

Cemento	465 kg/m ³	: Tipo I QHUNA
Agua	209 L	: Potable
Agregado fino	778 kg/m ³	: FERREÑAFE - TRES TOMAS (ARENA)
Agregado grueso	949 kg/m ³	: PACHERREZ (PIEDRA DE 1/2")
Aditivo	6 Lts/m ³	

	Cemento	Arena	Piedra	Agua	Aditivo	Lts/bls	Adición NPG
Proporción en peso:	1.00	1.67	2.04	19.12	0.58	Lts/bls	1.53 kg/m ³ C°
Proporción en volumen:	1.00	1.63	2.13	19.12	0.58	Lts/bls	1.53 kg/m ³ C°

Guevara Rimarachín, Kevin Paul
Tesista



Anexo N°11. Resultados de la resistencia a la compresión y flexión.



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

INFORME DE ENSAYO N° 5031-1

Tesista : Guevara Rimarachín Kevin Paul
Atención : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL USAT
Obra/ Tesis : "Evaluación del comportamiento de las propiedades físico-mecánicas de concreto de alta resistencia $F_c = 500$ kg/cm², incorporando nanoplaquetas de grafeno con aplicación de ondas ultrasónicas"
Lugar : Distrito Chiclayo, Provincia Chiclayo, Departamento Lambayeque
ENSAYO : PROBETAS DE CONCRETO, Resistencia a la compresión
REFERENCIA : NORMA ASTM C39

Denominación: CONCRETO PATRÓN

Edad	Slump	Código	Fecha de Vaciado	Hora de Vaciado	Fecha de Rotura	Hora de Rotura	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio	Desarrollo (%) Fc
7	3.5"	T-1	04/10/2022	11:51:00	11/10/2022	11:38:00	31926.61	79.84	399.89	391.32	78%
		T-1	04/10/2022	11:51:00	11/10/2022	11:43:00	30142.71	79.33	379.98		
		T-1	04/10/2022	11:51:00	11/10/2022	11:50:00	31029.56	78.74	394.08		
28	3.5"	T-1	04/10/2022	11:51:00	01/11/2022	14:15:00	39755.35	78.74	504.90	501.79	100%
		T-1	04/10/2022	11:51:00	01/11/2022	14:15:00	39388.38	78.74	500.24		
		T-1	04/10/2022	11:51:00	01/11/2022	14:15:00	40058.00	78.74	500.24		

Denominación: CONCRETO +0.27% NPG

Edad	Slump	Código	Fecha de Vaciado	Hora de Vaciado	Fecha de Rotura	Hora de Rotura	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio	Desarrollo (%) Fc
7	7.5"	T-1	15/10/2022	17:30:00	22/10/2022	11:38:00	33370.00	81.02	411.87	417.71	84%
		T-1	15/10/2022	17:30:00	22/10/2022	11:43:00	34590.00	80.86	427.77		
		T-1	15/10/2022	17:30:00	22/10/2022	11:50:00	33260.00	80.44	413.47		
28	7.5"	T-1	15/10/2022	17:30:00	12/11/2022	16:25:00	41845.06	78.74	531.44	552.18	110%
		T-1	15/10/2022	17:30:00	12/11/2022	16:30:00	45250.00	78.74	574.68		
		T-1	15/10/2022	17:30:00	12/11/2022	16:35:00	43340.00	78.74	550.43		

Denominación: CONCRETO +0.33% NPG

Edad	Slump	Código	Fecha de Vaciado	Hora de Vaciado	Fecha de Rotura	Hora de Rotura	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio	Desarrollo (%) Fc
7	7.5"	T-1	17/10/2022	19:10:00	24/10/2022	16:00:00	31750.00	79.84	397.68	396.02	79%
		T-1	17/10/2022	19:10:00	24/10/2022	16:03:00	30580.00	79.33	385.40		
		T-1	17/10/2022	19:10:00	24/10/2022	16:05:00	31880.00	78.74	404.88		
28	7.5"	T-1	17/10/2022	19:10:00	14/11/2022	17:30:00	39755.35	78.74	504.90	510.32	102%
		T-1	17/10/2022	19:10:00	14/11/2022	17:35:00	41290.00	78.74	524.39		
		T-1	17/10/2022	19:10:00	14/11/2022	14:40:00	39500.00	78.74	501.66		

FERMATI CONSTRUCTORA Y
SERVICIOS GENERALES SAC
German Gustavo Chirinos
GERENTE GENERAL



NOTA:
- Ensayo realizado con equipo calibrado.

OBSERVACIONES:
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.

964423859 - 943011231

Ca. José Galvez N° 120

fermatisac@gmail.com

www.fermatisac.cf

INFORME DE ENSAYO N° 5931-2**Tecista :** Guevara Rimarachín Kevin Paul**Atención :** ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL USAT**Obra/ Testis :** "Evaluación del comportamiento de las propiedades físico-mecánicas de concreto de alta resistencia $F_c = 500$ kg/cm², incorporando nanoplaquetas de grafeno con aplicación de ondas ultrasónicas"**Lugar :** Distrito Chiclayo, Provincia Chiclayo, Departamento Lambayeque**ENSAYO :** VIGAS DE CONCRETO, Resistencia a la flexión**REFERENCIA :** NORMA ASTM C78**Denominación:** CONCRETO PATRÓN

Edad	Slump	Código	Fecha de Vaciado	Hora de Vaciado	Fecha de Rotura	Hora de Rotura	Carga (Kg)	Área (cm ²)	Luz libre (mm)	Módulo de Rotura (MPa)	Módulo de Rotura Prom. (kg/cm ²)
7	1.5"	T-1	14/10/2022	13:36:00	21/10/2022	15:53:00	5096.84	24485.28	450.00	5.91	60.30
		T-1	14/10/2022	16:16:00	21/10/2022	15:57:00	5728.85	24485.28	450.00		
		T-1	14/10/2022	17:14:00	21/10/2022	16:03:00	4485.22	24485.28	450.00		
28	1.5"	T-1	14/10/2022	17:14:00	11/11/2022	16:45:00	5750.00	24485.28	450.00	6.97	71.08
		T-1	14/10/2022	13:36:00	11/11/2022	16:45:00	6106.01	24485.28	450.00		
		T-1	14/10/2022	17:14:00	11/11/2022	16:45:00	6190.00	24485.28	450.00		

Denominación: CONCRETO +0.27% NPG

Edad	Slump	Código	Fecha de Vaciado	Hora de Vaciado	Fecha de Rotura	Hora de Rotura	Carga (Kg)	Área (cm ²)	Luz libre (mm)	Módulo de Rotura (MPa)	Módulo de Rotura Prom. (kg/cm ²)
7	8.3"	T-1 ₁	15/10/2022	16:00:00	22/10/2022	14:37:00	5160.00	24485.28	450.00	6.29	64.12
		T-1 ₂	15/10/2022	16:50:00	22/10/2022	14:45:00	5610.00	24485.28	450.00		
		T-1 ₃	15/10/2022	17:30:00	22/10/2022	14:50:00	5510.00	24485.28	450.00		
28	8.3"	T-1 ₁	15/10/2022	16:50:00	12/11/2022	17:05:00	6170.00	24485.28	450.00	7.43	75.82
		T-1 ₂	15/10/2022	17:30:00	12/11/2022	17:10:00	6470.00	24485.28	450.00		
		T-1 ₃	15/10/2022	17:30:00	12/11/2022	17:15:00	6610.00	24485.28	450.00		

Denominación: CONCRETO +0.33% NPG

Edad	Slump	Código	Fecha de Vaciado	Hora de Vaciado	Fecha de Rotura	Hora de Rotura	Carga (Kg)	Área (cm ²)	Luz libre (mm)	Módulo de Rotura (MPa)	Módulo de Rotura Prom. (kg/cm ²)
7	7.7"	T-1 ₁	27/10/2022	15:30:00	03/11/2022	10:30:00	5000.00	24485.28	450.00	6.04	61.60
		T-1 ₂	27/10/2022	16:30:00	03/11/2022	10:30:00	5170.00	24485.28	450.00		
		T-1 ₃	27/10/2022	16:30:00	03/11/2022	10:30:00	5470.00	24485.28	450.00		
28	7.7"	T-1 ₁	27/10/2022	15:30:00	24/11/2022	16:00:00	6140.00	24485.28	450.00	7.06	72.04
		T-1 ₂	27/10/2022	15:30:00	24/11/2022	16:05:00	5950.00	24485.28	450.00		
		T-1 ₃	27/10/2022	16:30:00	24/11/2022	16:10:00	6200.00	24485.28	450.00		


 FERMATI CONSTRUCTORA Y SERVICIOS GENERALES SAC
 German Gustavo Chirinos
 GERENTE GENERAL
**NOTA:**

- Ensayo realizado con equipo calibrado.

OBSERVACIONES:

- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.

Anexo N°12. Resultados de ensayo de durabilidad por resistencia a los sulfatos.



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

Solicitante: Guevara Rimarachin Kevin Paul
Atención: Laboratorio de mecánica de suelos (USAT)
Obra/ Testis: "Evaluación del comportamiento de las propiedades físico-mecánicas de concreto de alta resistencia $f'c = 500 \text{ kg/cm}^2$, incorporando nanoplaquetas de grafeno con aplicación de ondas ultrasónicas"
Lugar: Distrito Chiclayo, Provincia Chiclayo, Departamento Lambayeque

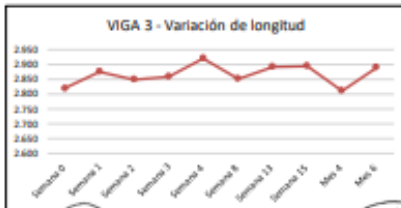
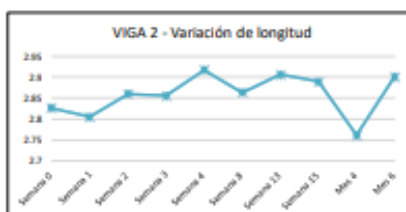
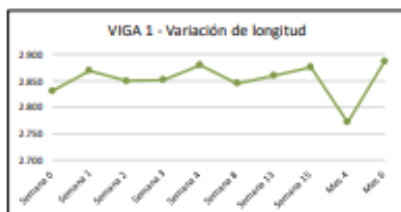
Código: ASTM C 157
 Título: Método de prueba estándar para cambio de longitud de mortero y concreto de cemento hidróxido endurecido

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA Concreto Patron $f'c=500 \text{ kg/cm}^2$

TIEMPO DE LECTURA	VIGA 1	VIGA 2	VIGA 3	Expansión Acumulada	Expansión Aunitaria
Semana 0 (27/11/2022)	2.831	2.826	2.820	0.0000 %	0.0000 %
Semana 1 (04/12/2022)	2.869	2.805	2.876	0.0088 %	0.0029 %
Semana 2 (11/12/2022)	2.850	2.860	2.849	0.0164 %	0.0025 %
Semana 3 (18/12/2022)	2.852	2.856	2.859	0.0248 %	0.0028 %
Semana 4 (25/12/2022)	2.880	2.917	2.921	0.0384 %	0.0045 %
Semana 8 (22/01/2023)	2.845	2.863	2.852	0.0620 %	0.0079 %
Semana 13 (26/02/2023)	2.860	2.906	2.892	0.0888 %	0.0089 %
Semana 15 (12/03/2023)	2.876	2.889	2.895	0.1164 %	0.0092 %
Mes 4 (27/04/2023)	2.772	2.762	2.811	0.1440 %	0.0092 %
Mes 6 (03/06/2023)	2.887	2.901	2.890	0.1728 %	0.0096 %



Desviación Estandar	0.03415	0.05062	0.03257
----------------------------	---------	---------	---------



FERMATI CONSTRUCTORA Y SERVICIOS GENERALES SAC
 German Castelo Chirinos
 GERENTE GENERAL



Solicitante : Guevara Rimarachin Kevin Paul
Atención : Laboratorio de mecánica de suelos (USAT)
Obra/ Tesis : "Evaluación del comportamiento de las propiedades físico-mecánicas de concreto de alta resistencia $f'c = 500 \text{ kg/cm}^2$, incorporando nanoplaquetas de grafeno con aplicación de ondas ultrasónicas"
Lugar : Distrito Chiclayo, Provincia Chiclayo, Departamento Lambayeque

Código: AS/BI C 157
 Título: Método de prueba estándar para cambio de longitud de mortero y concreto de cemento hidráulico endurecido

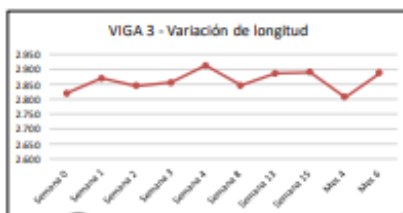
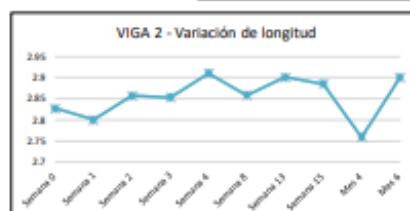
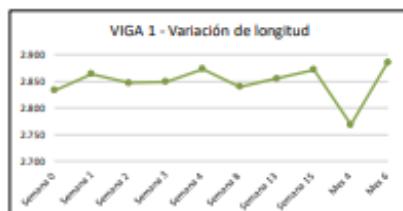
IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA
 Concreto Patrón
 $f'c = 500 \text{ kg/cm}^2 + 0.27\%$
 MDR:

TIEMPO DE LECTURA	VIGA 1	VIGA 2	VIGA 3
Semana 0 (27/11/2022)	2.833	2.827	2.821
Semana 1 (04/12/2022)	2.864	2.800	2.871
Semana 2 (11/12/2022)	2.847	2.857	2.846
Semana 3 (18/12/2022)	2.849	2.853	2.856
Semana 4 (25/12/2022)	2.873	2.910	2.914
Semana 8 (22/01/2023)	2.840	2.858	2.847
Semana 13 (26/02/2023)	2.855	2.901	2.887
Semana 15 (12/03/2023)	2.872	2.885	2.891
Mes 4 (27/04/2023)	2.769	2.759	2.808
Mes 6 (03/06/2023)	2.886	2.900	2.889

Expansión Acumulada	Expansión Aunitaria
0.0000 %	0.0000 %
0.0012 %	0.0004 %
0.0036 %	0.0008 %
0.0068 %	0.0011 %
0.0104 %	0.0012 %
0.0264 %	0.0053 %
0.0456 %	0.0064 %
0.0668 %	0.0071 %
0.0892 %	0.0075 %
0.1152 %	0.0087 %



Desviación Estandar	0.03391	0.05030	0.03187
---------------------	---------	---------	---------



FERMATI CONSTRUCTORA Y SERVICIOS GENERALES SAC
 German Gustavo Chirinos
 GERENTE GENERAL

