

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL



Elaboración de concretos livianos estructurales mediante el uso de nanoplacas y poliestireno al 40% como reemplazo del agregado fino

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

AUTOR

Walter Jesus Burga Lopez

ASESOR

Angel Alberto Lorren Palomino

<https://orcid.org/0000-0002-6432-3453>

Chiclayo, 2023

**Elaboración de concretos livianos estructurales mediante el uso de
nanoplacas y poliestireno al 40% como reemplazo del agregado
fino**

PRESENTADA POR

Walter Jesus Burga Lopez

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

INGENIERO CIVIL AMBIENTAL

APROBADA POR

Cesar Eduardo Cachay Lazo

PRESIDENTE

Jose Alberto Acero Martínez

SECRETARIO

Angel Alberto Lorren Palomino

VOCAL

INFORME DE ORIGINALIDAD

25%

INDICE DE SIMILITUD

24%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

9%TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1**hdl.handle.net**

Fuente de Internet

10%**2****repositorio.uss.edu.pe**

Fuente de Internet

2%**3****repositorio.ucv.edu.pe**

Fuente de Internet

2%**4****Submitted to Universidad Cesar Vallejo**

Trabajo del estudiante

1%**5****tesis.usat.edu.pe**

Fuente de Internet

<1%**6****Submitted to Universidad Andina del Cusco**

Trabajo del estudiante

<1%**7****1library.co**

Fuente de Internet

<1%**8****repositorio.utea.edu.pe**

Fuente de Internet

<1%**9****www.dspace.uce.edu.ec**

Fuente de Internet

<1%

Índice

Resumen	11
Abstract	12
Introducción	13
Revisión de la literatura	19
Antecedentes	19
Internacional	19
Nacional	20
Local	21
Bases teóricas	22
Concreto	22
Perlas de poliestireno expandido	23
Cemento Portland	24
Concreto liviano estructural	24
Concreto con agregado de poliestireno expandido (CAP)	25
Nanotecnología en la ingeniería civil	25
Nano partículas adicionadas al concreto	25
Grafeno	26
Maco normativo:	27
Ensayo de Granulometría de los agregados	27
Ensayo de Peso específico de los agregados	28
Ensayo de Grado de absorción	29
Ensayo de Peso unitario suelto	31
Ensayo de Peso unitario compactado	32
Ensayo de Contenido de humedad	33
Elaboración del diseño de mezcla ACI-211	34
Ensayo de Asentamiento	39
Peso unitario del concreto	40
Módulo de Elasticidad y relación de Poisson	40
Ensayo de Compresión	42
Ensayo de Flexión	42
Ensayo de Tracción indirecta	44
Ensayo de densidad equilibrada y seca	44
Materiales y métodos	47

Tipo y nivel de investigación	47
De acuerdo al fin que se persigue	47
De acuerdo a los datos analizados	47
Diseño de investigación	47
Población, muestra y muestreo	48
Población.....	48
Muestra.....	48
Muestreo.....	49
Criterios de selección.....	49
Para el ensayo de compresión	49
Para el ensayo flexión	49
Para el ensayo de densidad equilibrada y seca.....	49
Para el ensayo de tracción indirecta	49
Operacionalización de variables.....	50
Técnicas e instrumentos de recolección de datos	52
Técnica	52
Fuentes.....	52
Instrumentos de recolección de datos	52
Procedimientos	52
Elección de agregados	52
Ensayo de los agregados	53
Elaboración del diseño de mezcla	59
Diseño de mezcla del concreto con porcentajes de nanoplacas	60
Fabricación de cilindros	62
Ensayos al concreto	63
<i>Resultados y discusión:.....</i>	<i>67</i>
Resultados	67
Granulometría de los agregados	67
Peso específico y absorción de los agregados	68
Peso unitario suelto seco de los agregados	69
Peso unitario compactado seco de los agregados	70
Contenido de humedad de los agregados	70
Diseño de mezcla ACI 211	70
Asentamiento.....	71
Peso unitario del concreto	71

Resistencia a la compresión	72
Resistencia a la tracción indirecta	74
Resistencia a la flexión	75
Densidad seca.....	76
Densidad equilibrada	77
Módulo de elasticidad	78
Relación de Poisson	79
Análisis de costos.....	79
Análisis de costo de fabricación	80
Proceso constructivo para elaborar un m3 de concreto liviano estructural con el porcentaje óptimo de nanoplacas de grafeno.....	81
Discusión	83
Ensayos de los agregados	83
Ensayos de concreto.....	84
<i>Conclusiones</i>	<i>88</i>
<i>Recomendaciones</i>	<i>93</i>
<i>Referencias</i>	<i>94</i>
<i>Anexos</i>	<i>97</i>

Lista de Tablas

Tabla 1.	<i>F'c requerido de diseño</i>	34
Tabla 2.	<i>Tamaño máximo del agregado grueso</i>	34
Tabla 3.	<i>Cantidad de agua según el TMN</i>	35
Tabla 4.	<i>Relación a/c</i>	36
Tabla 5.	<i>Volumen de agregado grueso</i>	37
Tabla 6.	<i>Cantidad de muestras de ensayo</i>	48
Tabla 7.	<i>Operacionalización de variables</i>	50
Tabla 8.	<i>Comparación de ensayos de agregado fino</i>	53
Tabla 9.	<i>Comparación de ensayos de agregado grueso</i>	53
Tabla 10.	<i>Dosificación para concreto convencional</i>	59
Tabla 11.	<i>Dosificación para concreto con poliestireno al 40%</i>	59
Tabla 12.	<i>Dosificación para concreto convencional reajustado</i>	60
Tabla 13.	<i>Dosificación para concreto con poliestireno al 40% reajustado</i>	60
Tabla 14.	<i>Cantidad de materiales para concreto patrón con poliestireno</i>	61
Tabla 15.	<i>Cantidad de materiales para concreto con poliestireno y 0.05% de nanoplacas</i>	61
Tabla 16.	<i>Cantidad de materiales para concreto con poliestireno y 0.10% de nanoplacas</i>	61
Tabla 17.	<i>Cantidad de materiales para concreto con poliestireno y 0.15% de nanoplacas</i>	61
Tabla 18.	<i>Granulometría para agregado fino</i>	67
Tabla 19.	<i>Granulometría para agregado grueso</i>	68
Tabla 20.	<i>Peso específico y absorción de agregado fino</i>	68
Tabla 21.	<i>Peso específico y absorción de agregado grueso</i>	69
Tabla 22.	<i>Peso unitario suelto seco del agregado fino</i>	69
Tabla 23.	<i>Peso unitario suelto seco del agregado grueso</i>	69
Tabla 24.	<i>Peso unitario compactado seco del agregado fino</i>	70
Tabla 25.	<i>Peso unitario compactado seco del agregado grueso</i>	70
Tabla 26.	<i>Contenido de humedad de agregado fino</i>	70

Tabla 27.	Contenido de humedad de agregado grueso	70
Tabla 28.	Proporciones de diseño final de concreto liviano	71
Tabla 29.	Cantidad de materiales final por m³	71
Tabla 30.	Asentamiento del concreto liviano	71
Tabla 31.	Peso unitario del concreto	72
Tabla 32.	Resistencia a la compresión de la muestra patrón liviano	73
Tabla 33.	Resistencia a la compresión de la muestra con adición de 0.05% de nanoplacas.....	73
Tabla 34.	Resistencia a la compresión de la muestra con adición de 0.10% de nanoplacas.....	73
Tabla 35.	Resistencia a la compresión de la muestra con adición de 0.15% de nanoplacas.....	74
Tabla 36.	Resistencia a la tracción del concreto liviano.....	74
Tabla 37.	Resistencia a la flexión del concreto liviano.....	75
Tabla 38.	Densidad seca del concreto liviano estructural	76
Tabla 39.	Densidad equilibrada del concreto liviano estructural.....	77
Tabla 40.	Módulo de Elasticidad	78
Tabla 41.	Relación de Poisson	79
Tabla 42.	Precios unitarios para un concreto liviano con poliestireno al 40%.....	80
Tabla 43.	Precios unitarios para un concreto liviano con poliestireno al 40% y 0.10% de nanoplacas	80
Tabla 44.	Resultados de ensayos de agregados	84
Tabla 45.	Resistencias a la compresión promedio de mezcla patrón y adiciones	85
Tabla 46.	Porcentajes de los módulos de rotura para la mezcla de concreto liviano patrón y adiciones	86
Tabla 47.	Densidades de equilibrio y secas de mezcla de concreto liviano patrón y adiciones...	87

Lista de Imágenes

<i>Imagen 1.</i>	<i>Muestras de granulometría de piedra</i>	<i>54</i>
<i>Imagen 2.</i>	<i>Muestras de granulometría de arena</i>	<i>54</i>
<i>Imagen 3.</i>	<i>Determinación del peso sumergido de la piedra</i>	<i>55</i>
<i>Imagen 4.</i>	<i>Agitación de fiola para hallar el peso específico de la arena</i>	<i>55</i>
<i>Imagen 5.</i>	<i>Muestra retirada de fiola para peso específico</i>	<i>56</i>
<i>Imagen 6.</i>	<i>Añadido de agua a fiola con arena.....</i>	<i>56</i>
<i>Imagen 7.</i>	<i>Muestra de arena para granulometría</i>	<i>57</i>
<i>Imagen 8.</i>	<i>Muestra de piedra para granulometría</i>	<i>57</i>
<i>Imagen 9.</i>	<i>Muestra de piedra para peso unitario suelto</i>	<i>58</i>
<i>Imagen 10.</i>	<i>Muestra de arena para peso unitario compactado</i>	<i>58</i>
<i>Imagen 11.</i>	<i>Mezclado de concreto liviano.....</i>	<i>62</i>
<i>Imagen 12.</i>	<i>Slump de mezcla de concreto patrón</i>	<i>63</i>
<i>Imagen 13.</i>	<i>Peso unitario de concreto liviano patrón</i>	<i>63</i>
<i>Imagen 14.</i>	<i>Resistencia a la compresión a los 7 días de concreto liviano con 0.15% de nanoplacas</i>	<i>64</i>
<i>Imagen 15.</i>	<i>Módulo de Elasticidad y Poisson a los 28 días de concreto liviano patrón.</i>	<i>65</i>
<i>Imagen 16.</i>	<i>Resistencia a la flexión a los 28 días de concreto con 0.15% de nanoplacas</i>	<i>65</i>
<i>Imagen 17.</i>	<i>Probeta ensayada a tracción diagonal</i>	<i>66</i>
<i>Imagen 18.</i>	<i>Acondicionando el ensayo de densidades.....</i>	<i>67</i>

Lista de Graficas

Gráfico 1.	<i>Curvas de resistencia a la compresión</i>	72
Gráfico 2.	<i>Resistencia a la tracción</i>	75
Gráfico 3.	<i>Resistencia a la flexión</i>	76
Gráfico 4.	<i>Densidad seca del concreto liviano.....</i>	77
Gráfico 5.	<i>Densidad equilibrada del concreto liviano.....</i>	78
Gráfico 6.	<i>Declaración jurada de duplicidad</i>	97

Resumen

El sector de la construcción ha implementado un tipo de concreto liviano, que brinda ciertos beneficios a las estructuras. Estos están enfocados en mejorar el desempeño sísmico de las edificaciones y brindar la posibilidad de realizar construcciones considerables en terrenos con una baja capacidad portante. Sin embargo, la desventaja de este tipo de concreto es que, debido a su tipología, resulta obtener resistencias mecánicas bajas, que no permiten ser utilizados en la mayoría de los elementos estructurales. El propósito de este estudio es desarrollar un concreto liviano estructural utilizando nanoplacas de grafeno y poliestireno como sustitutos del 40% del agregado fino, y proporcionar una guía para su producción en cualquier parte del mundo. Se siguió una metodología experimental, fabricando probetas para evaluar la resistencia mecánica en compresión, tracción indirecta, flexión, relación de Poisson, módulo de elasticidad, densidad seca y densidad equilibrada del concreto. Además, se llevaron a cabo pruebas en el estado fresco, incluyendo el peso unitario y la consistencia, para analizar las propiedades en ese estado. La realización del diseño de mezcla fue siguiendo los parámetros establecidos en la norma ACI 211, determinando las cantidades del reemplazo de poliestireno y la adición de las nanoplacas de grafeno. Los porcentajes de nanoplacas añadidas a la mezcla fueron de 0.05%, 0.10% y 0.15%; en donde, el mejor comportamiento lo obtuvo el porcentaje de 0.10%, teniendo un aumento en las propiedades mecánicas de un 3% para la resistencia a la compresión, 17.9% en resistencia a la flexión, 30.30% en resistencia a la tracción indirecta, y 6.8% en módulo de elasticidad más en comparación a la mezcla patrón.

Palabras claves: Concreto liviano estructural, nanotecnología, perlas de poliestireno expandido

Abstract

The construction sector has implemented a type of lightweight concrete, which provides certain benefits to structures. These are focused on improving the seismic performance of buildings and providing the possibility of carrying out considerable constructions on land with a low bearing capacity. However, the disadvantage of this type of concrete is that, due to its typology, it results in low mechanical resistance, which does not allow it to be used in most structural elements. The purpose of this study is to develop a structural lightweight concrete using graphene and polystyrene nanosheets as 40% substitutes for fine aggregate, and provide guidance for its production anywhere in the world. An experimental methodology was followed, manufacturing specimens to evaluate the mechanical resistance in compression, indirect traction, bending, Poisson's ratio, modulus of elasticity, dry density and balanced density of the concrete. In addition, tests were carried out in the fresh state, including unit weight and consistency, to analyze the properties in that state. The mixture design was carried out following the parameters established in the ACI 211 standard, determining the amounts of polystyrene replacement and the addition of graphene nanoplates. The percentages of nanoplates added to the mixture were 0.05%, 0.10% and 0.15%; where the best behavior was obtained by the percentage of 0.10%, having an increase in mechanical properties of 3% for compressive strength, 17.9% in flexural strength, 30.30% in indirect tensile strength, and 6.8% more in modulus of elasticity compared to the standard mix.

Keywords: Structural lightweight concrete, nanotechnology, expanded polystyrene beads

Elaboración de concretos livianos estructurales mediante el uso de nanoplacas y poliestireno al 40% como reemplazo del agregado fino

Introducción

La tecnología del concreto ha ido avanzando a lo largo de toda la historia. Tuvo su primera mención de forma genérica en los años 2500 a.c. donde los egipcios la utilizaban para realizar sus construcciones, como son las pirámides de Giza, empleando morteros conformados por la mezcla de cal y yeso [1]. Pero no fue hasta la llegada de los Romanos que su uso aumentó; ellos lo empleaban para la construcción de sus grandes obras como son el Coliseo Romano (utilizándolo en sus cimientos y muros internos) y el Panteón, hechos en los años 80 y 120 d.c. respectivamente. [2]. Al entender el gran potencial que tiene este material en las construcciones, el concreto se convirtió en uno de los materiales importantes y más utilizados que ha llegado a inventar el hombre, y esto lo ha llevado a que sea catalogado como el puente al progreso de la humanidad [3].

Gracias al avance de la tecnología han surgido nuevos inventos que permiten mejorar los materiales de construcción, esto debido a que permanentemente existen desafíos en el sector construcción. Al día de hoy, se siguen con las investigaciones sobre la tecnología del concreto, centrándose generalmente en realizar estudios novedosos sobre su fabricación.

Por ello, existen estudios innovadores que nos brindan diferentes métodos de realizar concretos especiales, que están dirigidos en aumentar sus propiedades como productividad, calidad, seguridad, factores ambientales y su coste total de obra. Los aportes de dichas investigaciones han hecho posible la realización de grandes proyectos civiles de la ingeniería actual.

Por lo tanto, la gran responsabilidad que tiene el concreto en el uso estructural es eminente, debido a su influencia en la aportación de las propiedades físico-mecánicas en elementos estructurales. Esto significa una razón por la que los investigadores han buscado perfeccionar dos características importantes: La resistencia y la densidad. Esta primera relacionada directamente al requerimiento de aumentar su capacidad de resistencia a cargas axiales y de flexo-compresión. La segunda relacionada con la necesidad de disminuir las cargas provocadas por el peso total de una estructura, que viene a ser un aspecto significativo para diseñar [3].

Se identificó, que una de las maneras de disminuir la masa total de una construcción es reduciendo, en el concreto, su densidad; teniendo en cuenta que el concreto convencional tienen variaciones de densidad de 2300 a 2400 kg/m³. Además, podemos decir que, al disminuir la

densidad del concreto sin afectar su resistencia, traería consigo muchas ventajas en el sentido de la construcción, pero primordialmente en la productividad y reducción del coste total.

La problemática del exceso de masa de las edificaciones, se da en su mayoría en suelos que presentan baja capacidad portante. La resistencia del terreno depende mucho de la tipología del suelo existente, la cual no es homogénea a lo largo de todo el territorio mundial. Hoy en día, las construcciones están siendo obligadas a ser ejecutadas en zonas con capacidades portantes bajas, ya que las zonas con mejor tipo de terreno han sido utilizadas en su mayoría.

De igual manera, el buen desempeño sísmico de las edificaciones es un requisito fundamental dentro del ámbito de la construcción, ya que brinda la seguridad a los usuarios. Para las naciones situadas en la región conocida como "Anillo de Fuego del Pacífico", que es la ubicación geográfica de las placas tectónicas del planeta, son los más propensos a sufrir sismos causados por el roce de estas. Los sismos traen consecuencias desastrosas dentro de una civilización, porque puede llegar a ocasionar pérdidas humanas como materiales.

El investigador Theore Bremmer afirma que, si se considera preservar las características mecánicas del concreto mientras se reduce su densidad, ayudaría a reducir considerablemente de los esfuerzos generados por la fuerza sísmica tales como el cortante basal, momentos flectores y axiales [4].

El problema de las edificaciones en áreas con capacidad de carga limitada y la posibilidad de la presencia de fenómenos naturales como son los sismos, nos llevan a buscar alternativas innovadoras acerca de la fabricación del concreto convencional para de alguna forma reducir su peso específico, pero buscando mantener las propiedades físicas y mecánicas.

Debido al gran potencial existente que son las construcciones con menos peso, surge el concreto liviano estructural como una alternativa para la reducción del peso, de forma considerable, en las edificaciones.

A lo largo de la historia, se empezó a implementar el concreto liviano en construcciones importantes en el mundo. Los primeros edificios que se construyeron con hormigón estructural ligero se dieron después de la Primera Guerra Mundial. En 1922 se realizó el primer edificio de concreto liviano, el cual se estableció de una expansión del gimnasio acuático en la Escuela de Aeróbicos de Kansas City. La razón para usar hormigón estructural liviano es que la capacidad portante de aquel suelo para la cimentación fue baja y, por lo tanto, con el cambio de material se pudo reducir el peso descargado sobre el suelo [5].

Para el año de 1928 se realizó un análisis para aumentar el número de niveles de un edificio en la ciudad de Kansas. Genuinamente el edificio contaba con 14 pisos, y tras el estudio a la cimentación se concluyó que, empleando concreto convencional, se podrían aumentar como

máximo 8 niveles. No obstante, se utilizó el concreto liviano, pudiendo llegar a sumarle 14 pisos más [5].

El estudio del concreto liviano sigue hasta hoy, pero enfocado netamente en la mejora de sus propiedades resaltantes que son la baja densidad y resistencia. Gracias a los avances tecnológicos de la era contemporánea, se ha logrado la incorporación de una variedad de elementos ligeros. Entre ellos se pueden mencionar las arcillas, las pizarras y las escorias expandidas extraídas de instalaciones industriales, así como los materiales plásticos sintéticos como el poliestireno y las sustancias enriquecidas en sílice como el subproducto de las cáscaras de arroz. Estos elementos desempeñan un rol primordial en la composición del concreto, ya que su baja densidad proporciona un cambio en la composición interna de la mezcla, lo que permite la fabricación de concreto liviano. [6].

Chuquilin, Jorge A. (2018), en su tesis realizó una investigación sobre el diseño de un concreto liviano con poliestireno expandido para su uso en losas estructurales. El estudio se basó en pruebas experimentales para identificar las propiedades físicas y mecánicas del material modificado comparándolo con una muestra sin adiciones. Los resultados son favorables en diferentes muestras realizadas, pero lo más importante es que nos da la posibilidad de poder combinar este material con otro que pueda mejorar aún más sus condiciones para así tener un material liviano mucho más lujoso [7].

Por otro lado, hoy en día el avance de la ciencia se está centrando en desarrollar aspectos tecnológicos desde principios moleculares, en los cuales brindan la certeza de que dará mejores y destacados avances en comparación a la alteración de fragmentos más grandes de la materia.

La nanotecnología se ha vuelto objeto de estudio en diversos campos profesionales, y la industria de la construcción no es una excepción. El hormigón se puede modificar incorporándole nanomateriales, de esta forma se controla el comportamiento de partículas en el cemento, los agregados y la mezcla de partículas para proporcionar una funcionalidad adicional [8].

Las nanoplacas de grafeno de capa fina, son superficies de grafeno que, gracias a sus propiedades físicas excepcionales, se ha convertido en un aditivo universal. Entre sus propiedades podemos resaltar su alta conductividad eléctrica, la estabilidad térmica, pero además tienen una resistencia mecánica considerable para poder ser utilizado dentro del concreto. Existen estudios similares realizados en el concreto, donde se adicionan los nanotubos de carbono para mejorar sus propiedades mecánicas y físicas, los cuales llegan a tener resultados favorables para el sector de la construcción [9].

Suman KumarAdhikary, Žymantas Rudžionis¹, Simona Tučkutė & Deepankar KumarAshish (2021), en su artículo de investigación cuyo objetivo es estudiar la adición de porcentajes de nanotubos de carbono de pared múltiple, para la producción de hormigones livianos a base de aerogel con vidrio expandido y sílice, para obtener resultados sobre sus propiedades de resistencia a la compresión y tracción y en propiedades físicas como fluidez y trabajabilidad [10].

El artículo de investigación muestra un estudio experimental sobre el uso de los nanotubos de carbono en concretos livianos, donde afirman que la resistencia a compresión y tracción aumentan hasta en un 41% en comparación a la muestra patrón, además la trabajabilidad y fluidez disminuyen a medida que se adiciona más porcentajes de nanotubos de carbono.

Es por ello que, gracias a las investigaciones realizadas sobre el concreto liviano, obtenemos antecedentes confiables que podríamos usar en algún proyecto. En este caso dichas investigaciones serán la base de una nueva, con la finalidad de obtener un estudio más completo y sin limitaciones, para así generar otra alternativa que solucione a problemas en el ámbito constructivo.

A raíz de todo lo mencionado, se planteó la siguiente problemática de investigación: ¿Es posible la fabricación de un concreto estructural liviano a base de nanoplacas y poliestireno expandido al 40% en reemplazo del volumen del agregado fino? De igual manera, se planeó la siguiente hipótesis de investigación, para atender dicho problema, que es: Sí es posible la fabricación del concreto estructural liviano a base de nanoplacas y poliestireno expandido, y, además, los porcentajes de nanoplacas influirán de manera positiva en las propiedades mecánicas y físicas del concreto liviano estructural.

El propósito fundamental de este estudio es: Elaborar un concreto liviano estructural mediante el uso de nanoplacas y poliestireno al 40% como reemplazo del agregado fino. Con el fin de lograr el propósito general establecido, se formularon los siguientes objetivos específicos: Identificar las propiedades de los agregados y el aglomerante usados en el concreto liviano; determinar el diseño de mezcla del concreto liviano estructural con una resistencia de 210 kg/cm², para la obtención de las cantidades adecuadas de los materiales que lo conforman; determinar los ensayos en el estado fresco y endurecido del concreto liviano, bajo la adición de los nanoplacas en porcentajes de 0.05%, 0.1%, 0.15% con respecto al peso del cemento y poliestireno expandido en porcentaje del 40% reemplazando el agregado fino; determinar el porcentaje óptimo de nanoplacas en la mezcla de concreto liviano; determinar el costo de producción del concreto liviano estructural con adición de nanoplacas; comparar las propiedades de la muestra patrón del concreto liviano, frente al concreto liviano con adición de

los nanoplacas y finalmente, proponer el proceso de fabricación más adecuado para el concreto liviano.

Este estudio se concentra en una investigación experimental acerca del concreto ligero, con la intención de optimizar sus características físicas y mecánicas a través de ensayos llevados a cabo en un laboratorio. Las propiedades evaluadas incluyen la resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, tracción indirecta, módulo de elasticidad, relación de poisson, densidades, así como el asentamiento y peso unitario en el estado fresco. La variable independiente principal en este estudio son las nanoplacas. El objetivo central fue desarrollar un concreto liviano estructural con una resistencia a la compresión mínima de 210 kg/cm². Para lograrlo, se reemplazó el 40% del volumen de agregado fino por perlas de poliestireno, y se agregaron nanoplacas de grafeno en diferentes porcentajes (0.05%, 0.1% y 0.15% del peso del cemento).

A continuación, llevaremos a cabo una evaluación detallada de cada uno de los aspectos que respaldan el desarrollo de esta investigación.

Evaluándolo desde el punto de vista técnico, ya que se plantean dos materiales de diferentes características para formar parte de la elaboración de un concreto liviano estructural, que puede llegar a ser usado dentro del sector de la construcción. Por un lado, tenemos a las nanoplacas que es un material que puede aportar propiedades beneficiosas a la mezcla. Cuenta con propiedades importantes de resistencia mecánica, flexibilidad, conductividad, estabilidad térmica y su baja densidad que se adecuan con las necesidades establecidas para el uso del concreto liviano. Y por otro lado tenemos al poliestireno expandido que, al ser un material de muy baja densidad, ayudará a mejorar el peso unitario y la densidad que caracteriza a una mezcla de concreto liviano, pero sin afectar a su trabajabilidad y poco a su resistencia.

Desde el punto de vista social, debido a que el concreto liviano estructural con mejores propiedades, podrá ser usado en viviendas, edificios, puentes, centros comerciales, aeropuertos, entre otros; y de esta manera brindar mayor seguridad y confianza a la población que utilizarán estas construcciones.

Desde el punto de vista académico, por el hecho de que la investigación realizada servirá como referencia para futuras investigaciones dentro y fuera del Perú. Los datos de resistencia, las dosificaciones empleadas, los ensayos realizados y otros pueden ser utilizados para fines investigativos teniendo la certeza de que es una información real y confiable. Además, servirá como una alternativa de solución a los casos dentro de la industria de la construcción debido a que siempre surgen nuevos retos en la vida profesional.

Desde el punto de vista ambiental, ya que, al reemplazar el agregado fino, por poliestireno expandido, se está reduciendo el impacto al suelo que se generan dentro de las canteras para extraer este material; y, por ende, la reducción de las maquinarias que emiten CO₂ a la atmosfera.

Considerando las justificaciones ya mencionadas con anterioridad, podemos decir que la fabricación del concreto liviano estructural es una buena alternativa para su uso en las obras civiles, gracias a la mejora del comportamiento sísmico y de cuando se trata de aligerar las cargas de gravedad de una edificación.

Revisión de la literatura

Antecedentes

Internacional

Suman Kumar Adhikary y Deepankar Kumar Ashish (2022), en su artículo de investigación: “Turning waste expanded polystyrene into lightweight aggregate: Towards sustainable construction industry” realizaron una revisión literaria enfocada en el concreto liviano elaborado con perlas de poliestireno expandido reciclado para llegar hacia una industria de la construcción sustentable para identificar el efecto que tienen frente a sus propiedades del concreto liviano.

El objetivo principal de dicha revisión es demostrar la viabilidad del uso del poliestireno expandido como agregado al concreto a través de una revisión literaria de diferentes autores. Finalmente menciona que el poliestireno expandido se comporta mejor en las mezclas de concretos livianos, debido a la alta funcionalidad que este material brinda, pero que además la resistencia es un factor que se debe garantizar para que este concreto pueda ser utilizado [11].

Shahram Jalali Mosallam, Hamid Pesaran Behbahani, Mehran Shahpari y Reza Abaeian (2022) en su artículo de investigación: “The effect of carbon nanotubes on mechanical properties of structural lightweight concrete using LECA aggregates”, realizaron una investigación enfocada en el concreto liviano elaborado con agregados LECA (agregados leves, de baja densidad) adicionándole nanotubos de carbono para identificar el efecto que tienen frente a sus propiedades mecánicas.

Para alcanzar los objetivos se realizaron ensayos relacionados a la identificación de las propiedades mecánicas del concreto ligero, en donde se usaron proporciones de nanotubos de 0.02%, 0.1% y 0.3% en relación al peso del cemento. Los resultados indican que la presencia de 0,02 % del peso de cemento de nanotubos de carbono aumentó la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción y la resistencia a la flexión del concreto liviano. Además, redujo la absorción de agua del hormigón ligero en un 28,3% [12].

Nacional

Bartra Chujutally (2018), realizó la investigación: “Evaluación de la influencia del grafeno como aditivo nanotecnológico para mejorar la resistencia del concreto $f'c$ 210 kg/cm², Tarapoto” en la universidad Cesar Vallejo, en esta presente investigación se realizaron estudios y ensayos al concreto convencional con la adición del grafeno en partículas nanotecnológicas con el objetivo principal de evaluar su influencia dentro de la mezcla para así identificar el comportamiento de sus propiedades en el estado endurecido de un concreto de $f'c = 210$ kg/cm².

Para cumplir con los objetivos de dicha investigación, se realizaron cuatro diseños de mezcla: la primera sin adiciones de las partículas de grafeno (muestra patrón) y las demás con porcentajes del 1%, 1.5% y 2% de grafeno en relación al peso del cemento. Con las proporciones anteriormente mencionadas se obtuvo que el porcentaje del 2% aporta un 17.35% más de la resistencia del concreto en comparación de la mezcla patrón, proporcionando un resultado favorable para las investigaciones con este material adicionado [13].

Chuquilin Garcia (2018) realizó un estudio en la Universidad Privada del Norte, titulado "Influencia del porcentaje de perlas de poliestireno sobre peso unitario, resistencia a compresión y asentamiento en un concreto liviano estructural para losas aligeradas, Trujillo". El objetivo de esta investigación fue determinar el impacto del porcentaje de perlas de poliestireno en un concreto liviano estructural destinado a las losas aligeradas. Se llevaron a cabo ensayos en el concreto fresco y endurecido, y se encontró que el reemplazo óptimo fue del 40% de perlas de poliestireno, con resultados favorables en términos de asentamiento (100 mm), peso unitario (2157 kg/m³) y resistencia a la compresión (242 kg/cm²). [7].

V. Apaza y K. Quispe (2018), realizaron la investigación: “Mejoramiento de propiedades mecánicas del concreto con adición de nanotubos de carbono” en la universidad de San Agustín de Arequipa, en esta presente investigación se realizaron estudios sobre diferentes tipos de cementos provenientes de la ciudad de Arequipa adicionando nanotubos de carbono en porcentajes de 0.05%, 0.1% y 0.15% en relación al peso del cemento, para determinar si existe el mejoramiento en las propiedades mecánicas del concreto.

El estudio fue mediante ensayos de laboratorio y para medir el porcentaje adecuado de nanotubos de carbono se utilizó el método de dispersión por sonicación con a la finalidad de homogeneizar las mezclas de concreto, además hallaron una relación de nanotubos, agua y plastificante adecuado para cada diseño de mezcla. Finalmente, los resultados fueron favorables con respecto al porcentaje del 0.1% de nanotubos en la mezcla con cemento Tipo IP - Yura;

obteniendo un aumento en la Resistencia a la compresión del 13.39%, Resistencia a la tracción 13.38%, Resistencia a la flexión de 9.83 % y además un asentamiento de 6.2 pulg [14].

Local

Mondragón Oblitas (2020), en la Universidad Señor de Sipán de Lambayeque, realizó una investigación titulada "Influencia de la fibra de poliestireno en las propiedades físicas y mecánicas del concreto para una resistencia de 210 y 280 kg/cm²". El objetivo principal de este estudio fue evaluar los efectos de la adición de fibras de poliestireno en el concreto liviano. Para lograrlo, se utilizaron porcentajes de 5%, 10% y 15% de fibras de poliestireno en relación al volumen del agregado grueso. Mediante ensayos de laboratorio, se analizaron las propiedades físicas y mecánicas del concreto para determinar si existía una mejora. Los resultados demostraron que la adición del 5% de fibras de poliestireno fue la más favorable en términos de las propiedades mecánicas y físicas del concreto. [15].

Bases teóricas

Concreto

Definición

Es un material considerado por muchos como aquel que se compone por dos partes: una constituida por un producto pastoso, que brinda la propiedad de endurecimiento de la mezcla conforme pasa el tiempo, y la otra por insumos pétreos en trozos, que son aglomerados por la pasta. A su vez, su composición de dicha pasta es conformada por agua y cemento que es un producto aglomerante o conglomerante [16].

Componentes

Agregados

Agregado fino

Hace referencia al agregado cuyas partículas tienen la capacidad de pasar por el tamiz de 9.5 mm (3/8") y quedar retenidas en el tamiz N° 200. También puede ser de origen natural o artificial, siendo su origen natural la resultante de la descomposición de rocas, como sucede con la arena. [17].

Agregado grueso

Es el componente cuyas partículas, por su tamaño de granulometría, no logran pasar el tamiz de 4.75 mm (N°4) y quedan retenidas en él. Estas partículas suelen ser resultado de la descomposición natural de materiales pétreos, que se encuentran tanto en canteras como en lechos de ríos, donde se depositan de manera natural. [17].

Un ejemplo es la piedra chancada, que es un tipo de agregado grueso, la cual tiene proveniencia de rocas o gravas trituradas de forma artificial o mecánica.

Agregado liviano

En la fabricación de concretos, se han seleccionado cuidadosamente los agregados livianos, teniendo en cuenta su estructura celular. Estos agregados ofrecen una ventaja clave: una baja densidad que proporciona aislamiento térmico y propiedades acústicas al absorber vibraciones. Según la Norma ASTM C 330 (2005), existen generalmente dos tipos de agregados livianos: aquellos fabricados mediante expansión, como perlas de poliestireno o productos obtenidos por sinterización; y los agregados obtenidos mediante la transformación de materiales de origen natural [18].

Perlas de poliestireno expandido

Este es un polímero derivado del estireno, un compuesto líquido donde sus moléculas se unen mediante polimerización para crear las macromoléculas de poliestireno. Al combinar agua con un agente expansivo, como el hidrocarburo pentano C₅H₁₂, se logra obtener el estireno. Este proceso da como resultado el poliestireno expansible, que luego se expande según las necesidades específicas de su uso comercial. [18].

Tiene un origen artificial, debido a que es un material que no se encuentra en la naturaleza y para su producción se deben recurrir a procesos de sinterización. Para la obtención de las perlas de poliestireno se tiene que calentar el poliestireno expansible en olla con temperaturas de 90°C a 105°C, esto causa que el agente expansivo haga que aumente el volumen hasta en 50 veces más. Posteriormente, se dejan en reposo para que el aire pueda secar y de esta manera estabilizar su volumen [18].

Características del poliestireno expansivo

- Porosidad: Se considera un material muy poroso debido a que en 1cm³ de poliestireno encontramos de 3 a 6 millones de celdillas llenas de aire que están centradas y no conectadas.
- Dureza: Es un material blando y de buena elasticidad debido a su alta cantidad de poros, logrando que este material sea deformable mediante la aplicación de presión manual.
- Densidad: 10 kg/m³
- Forma: Esférica
- Color: Blanco
- Absorción: Este material se caracteriza por tener una capacidad de absorción reducida, ya que está compuesto por celdas de aire cerradas e independientes entre sí.
- Tamaños comerciales: Granulometría entre 2mm y 8mm

Propiedades Químicas

El poliestireno puede ser afectado por la radiación ultravioleta, lo cual puede causar daños en el material, de la misma manera que los otros productos a base de polímeros, en este caso se torna de un color amarillo que es la prueba visible de que el polímero se está degradando. Sin embargo, en esta investigación lo usaremos dentro de una mezcla de concreto, en donde el poliestireno ya no estará expuesto a la radiación solar [19].

Propiedades Físicas

- Densidad

La densidad es una de las principales propiedades de las perlas de poliestireno, debido a que en esta presente investigación serán usadas para alivianar el concreto. Su baja densidad se debe a que está compuesta por 95% de aire y lo restante es el poliestireno.

- **Tamaño**

La magnitud del poliestireno está directamente relacionada con la etapa de expansión que ocurre durante su proceso de fabricación. En este caso se puede decir que mientras más grado de expansión existe mayor tamaño [20].

Cemento Portland

Es un material de unión con propiedades de cohesión y adherencia, que permite la consolidación de los minerales para formar una estructura compacta con resistencia y durabilidad. En el proceso de fabricación de concreto para estructuras, cuando se menciona el cemento, se hace referencia principalmente al cemento Portland, el cual presenta propiedades químicas que, al mezclarse con agua, desencadenan el proceso de endurecimiento de la mezcla, por lo tanto, se le llama cemento hidráulico. [21].

Concreto liviano estructural

De acuerdo con la norma ACI 211.2-98, se considera concreto liviano estructural a aquel que, siguiendo los métodos establecidos en ASTM C330, muestra una resistencia a la compresión mínima de 2500 psi (176 Kg/cm²) a los 28 días. Además, debe presentar una densidad de equilibrio no mayor a 115 lb/ft³ (1842 kg/m³), según lo especificado en la norma ASTM C567. Este tipo de concreto especial se compone completamente de agregados ligeros o de una combinación de agregados ligeros y agregados de densidad normal [22].

Lo establecido anteriormente no es un requisito establecido como tal, debido a que los requerimientos de los diferentes proyectos varían. Es por eso que en la mayoría de los casos la densidad de equilibrio alcanzada de concreto liviano es de 1600 kg/m³ a 1950 kg/m³.

Usos o aplicaciones

- Cubierta de puentes
- Pilares o columnas
- Vigas
- Losas
- Elementos de muros en estructuras de acero
- Estructuras para parqueo
- Losas de cubierta

- Losas compuestas en cubiertas metálicas

Ventajas

- En contraste con las mezclas de concreto convencionales, su colocación resulta más fácil.
- Se disminuye la cantidad de personal necesario para llevar a cabo la colocación del concreto.
- Capacidad de ser bombeado
- Capacidad de fluir sin segregación de los agregados, al eliminar la necesidad de vibración durante su vaciado.

Desventajas

- Baja resistencia a la abrasión
- Menores resistencias mecánicas debido a su baja densidad
- Precios mayores de fabricación en comparación al concreto convencional (30% a 50%), cuando se emplean agregados naturales que son de baja densidad, ya que son difíciles de conseguir y consecuentemente costosos.

Concreto con agregado de poliestireno expandido (CAP)

Es un hormigón ligero con buena susceptibilidad a la deformación, y su aplicación suele limitarse a usos no estructurales debido a sus propiedades de baja resistencia. Pero gracias a ser un material con muy buen nivel de deformación, se ha empleado en la realización de muchos elementos estructurales, como son: muros no estructurales, bloques de hormigón para muros, tableros de carreteras y estructuras marinas, entre otras. En general, podemos decir que el CAP se compone de gránulos de cemento, arena y poliestireno expandido (perla), cuyo diámetro varía de 1 a 6 mm; Se consigue con materiales de densidad superior a 600 kg/m³ [23].

Nanotecnología en la ingeniería civil

La nanotecnología es una tecnología que permite manipular, controlar y modificar a la materia en un nivel atómico, en un rango de 0.1 a 100 nanómetros.

El uso de la nanotecnología dentro del ámbito de la construcción, ya se viene dando en la actualidad. Su tan alto consumo se debe a que aporta diferentes beneficios a las propiedades del elemento al que se le adiciona, brindando mejores comportamientos ante diferentes problemas o dificultades que pueden ocurrir en el planteamiento de un proyecto [24].

Nano partículas adicionadas al concreto

Debido a la necesidad de mejorar el comportamiento de las propiedades del concreto, se han utilizado diferentes nanopartículas, ya que, está comprobado que modificar el material a nivel

micro es mucho más beneficioso que a nivel macro. Tras la investigación de las diferentes adiciones de nanopartículas, podemos asegurar que en su mayoría mejoran al concreto en sus propiedades mecánicas (resistencia) y, en algunos casos, también físicas (trabajabilidad, porosidad, retracción).

El buen comportamiento de las nanopartículas dentro del concreto se da ya que estas se adecuan a la mezcla rellenando los espacios existentes entre los granos de cemento y los áridos, causando así el aumento de la hidratación del cemento.

A continuación, se mostrará un listado de las nanopartículas usadas en las mezclas de concreto, mostrando como afectaron en las propiedades del mismo [25].

Óxido de silicio (SiO₂)

- Aumento en la resistencia a la compresión en 26% a los 28 días.
- Aumento en la resistencia a la flexión
- Aumento en la velocidad de fraguado
- Mejora en la trabajabilidad usando un plastificante
- Mezcla más impermeable

Óxido de titanio (TiO₂)

- Aumento de la hidratación a edad temprana en el cemento
- Aumento en la resistencia a la compresión
- Aumento en la resistencia a la abrasión

Óxido de hierro (Fe₂O₃)

- Crea estructuras inteligentes que pueden controlar en tiempo real el estado de tensión sin usar sensores.

Óxido de aluminio (Al₂O₃)

- Aumento en el módulo de elasticidad hasta en un 140% con la adición del 5% de óxido de aluminio.

Grafeno

El carbono exhibe la propiedad de alotropía, lo cual significa que puede existir en diferentes formas en el mismo estado físico. Estas distintas formas tienen propiedades físicas y químicas diversas debido a la variación en la disposición de los átomos que conforman sus moléculas.

Una de estas formas alotrópicas del carbono es el grafeno. El grafeno es un material que se presenta en una estructura molecular cristalina bidimensional, organizada en una configuración hexagonal similar a la de un panal de abejas, y con un grosor de un solo átomo. Está compuesto elementos de carbono que forman enlaces de tipo covalentes a través de la combinación de híbridos sp^2 por medio de la superposición.

Maco normativo:

Ensayo de Granulometría de los agregados

Definición:

La prueba de granulometría se emplea para determinar el tamaño de los granos o la finura de los agregados en una mezcla, con el objetivo de clasificarlos adecuadamente. Esta prueba resulta fundamental, ya que nos permite evaluar si un agregado es adecuado o no para formar parte de una mezcla de concreto u otros proyectos de ingeniería. Su importancia radica en la capacidad de brindar información precisa sobre la idoneidad de los agregados para cumplir con los requisitos técnicos y de desempeño establecidos.

Normativa:

ASTM C136

Instrumentos y equipos:

- Juego de tamices para agregado fino: #3/8", #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200 y fondo
- Juego de tamices para agregado grueso: #1", #3/4", #1/2", #3/8", #4, #8, #16 y fondo
- Balanza con precisión de 0.01 gr.
- Horno de secado que mantenga temperaturas hasta de $110 \pm 5 \text{ C}^\circ$
- Cucharón
- Escobilla
- Envases de aluminio
- Brocha

Procedimiento

En el comienzo de la prueba se ejecuta el procedimiento conocido como cuarteo, el cual implica verter una porción del material en forma de cono sobre una superficie determinada, teniendo en cuenta que debe ser repartido en cuatro partes aparentemente iguales y que sea

lo más homogéneo posible. Luego se selecciona el peso del material que se utilizará para el tamizado, el cual está en función al tamaño máximo nominal.

La muestra que se selecciona, que tiene que ser la más representativa del material, se coloca en el horno del laboratorio a una temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ para luego ser pasado por sus respectivos tamices dependiendo al tipo de agregado. Los tamices utilizados para el agregado fino son #3/8", #4, #8, #16, #30, #50, #100 y #200 y para el agregado grueso los tamices #1", #3/4", #1/2", #3/8", #4, #8, #16; una de las exigencias del ensayo es que ningún material debe ser forzado a pasar por alguno de los diferentes tamices de ensayo, por ende, solo pueden ser pasado mediante la agitación reiterada según el procedimiento del ensayo.

Finalmente, cada material retenido en los diferentes tamices, son recolectados en recipientes para ser pesados en una balanza de precisión de 0.01 gr, obteniendo el peso retenido que nos servirá para elaborar la tabla de laboratorio respectiva y así obtener la curva granulométrica.

Ensayo de Peso específico de los agregados

Definición:

El peso específico, se define como la relación entre el peso de un material en su estado natural y el peso de un volumen absoluto equivalente de agua.

Normativa:

ASTM C127 y ASTM 128

Instrumentos y equipos:

- Balanza con precisión de 0,01 gr
- Un horno con la capacidad de mantener de forma uniforme la temperatura de $110 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Canastilla de 3.35 mm (N° 6) o malla más fina
- Tanque de agua
- Taras
- Franela

Procedimientos

Para agregado grueso

- Limpiar y sumergir la muestra por un tiempo de 24h
- Extraer la muestra y secarla de forma superficial con algún paño
- Colocar dicha muestra dentro de la cesta de alambre y sumergirla en agua con una temperatura de 21 °C a 25 °C, para determinar de esa manera la masa sumergida de la muestra.
- Extraer el espécimen y colocarla dentro del horno a una temperatura de 105 °C durante un lapso de 24 horas
- Pesar la mezcla extraída del horno y aplicar la fórmula para obtener la densidad relativa de la piedra.

Para agregado fino

- Seleccionar una muestra de 500g que haya pasado por el tamiz #4
- Verter el material dentro de un recipiente, teniendo en cuenta el peso del recipiente
- Adicionarle agua (ya pesada) dentro del recipiente
- Mediante agitación eliminar las burbujas producidas por los vacíos
- Pesar el recipiente con el agua y la mezcla completamente saturada
- Extraer todo el contenido y colocarla dentro del horno a una temperatura de 105 °C durante un lapso de 24 horas.
- Pesar la muestra seca y aplicar las fórmulas para determinar le peso específico

Ensayo de Grado de absorción

Definición:

Este análisis permite calcular el incremento porcentual en el peso de los agregados generado por la saturación de humedad de sus partículas manteniéndose superficialmente secas. Su relevancia se encuentra en proporcionar los datos sobre la capacidad de absorción de agua por parte del agregado en la mezcla, lo cual contribuye a la mejora de los diseños de mezcla.

Normativa:

ASTM C127 y ASTM 128

Instrumentos y equipos:

- Balanza con precisión de 0,01 gr
- Un horno con la capacidad de mantener de forma uniforme la temperatura de $110 \pm 5 \text{ C}^\circ$
- Taras
- Recipientes de aluminio

Procedimientos

Para agregado fino:

- Seleccionar 500g de agregado fino
- Añadirla dentro de una fiola de 500 ml
- Rellenar con agua hasta el límite de la fiola
- Pesar la muestra
- Colocar en el horno dentro de un recipiente de aluminio
- Pesar la muestra después de las 24 horas

$$\% \text{absorción} = \frac{M_{ss} - M_s}{M_s} \times 100$$

Siendo para el agregado fino:

M_s = Peso muestra seca en horno

M_{ss} = Peso muestra saturada superficialmente seca

Para agregado grueso:

- Se sumerge durante 24 horas una muestra de agregado grueso de 3 kg aprox.
- Se extrae la muestra para dejarla secar superficialmente
- Pesar la muestra saturada superficialmente seca
- Colocar la muestra al horno por 24 h.
- Pesar nuevamente para proceder con los cálculos

$$\% \text{absorción} = \frac{P_{ss} - P}{P} \times 100$$

Siendo para el agregado grueso:

P_{ss} = Peso muestra saturada superficialmente seca

P = Peso muestra seca en horno

Ensayo de Peso unitario suelto

Definición:

Este ensayo tiene como objetivo calcular la densidad global del agregado, considerando la relación entre la masa del agregado en su estado seco y sin compactar, y el volumen total que ocupa, teniendo en cuenta los espacios vacíos entre las partículas.

Normativa:

ASTM C29

Instrumentos y equipos:

- Balanza con precisión de 0,01 gr
- Moldes de 4" o 6" de diámetro
- Recipientes de aluminio
- Brocha

Procedimiento

Identificar el recipiente utilizado para llevar a cabo la prueba, y obtener los datos del peso y volumen del molde.

Proceder con el llenado del molde con el agregado ensayado hasta llegar al borde, para posteriormente ser nivelado con una varilla para que la superficie superior quede plana.

Repetir el procedimiento tres veces más para calcular el peso promedio de los moldes con el agregado suelto.

Finalmente, realizar los cálculos mediante las fórmulas para obtener el peso unitario suelto.

$$PUSS = \frac{Psuelto - Pmolde}{Vmolde}$$

Siendo:

Psuelto = Peso del agregado suelto

Pmolde = Peso del molde

Vmolde = Volumen del molde

Ensayo de Peso unitario compactado

Definición:

Este ensayo determina la densidad total del agregado mediante la relación de la masa del agregado en estado seco compactado en tres partes por una varilla de 5/8" y el volumen que este llega a ocupar.

Normativa:

ASTM C29

Instrumentos y equipos:

- Balanza con precisión de 0,01 gr
- Moldes de 4" o 6" de diámetro
- Recipientes de aluminio
- Varilla de 5/8" con punta redondeada

Procedimiento

- Identificar el recipiente utilizado para llevar a cabo la prueba, y obtener los datos del peso y volumen del molde.
- Proceder con el llenado del recipiente con el agregado ensayado en tres capas del mismo espesor hasta llegar al borde, es necesario aplicar presión con la varilla en cada capa para asegurar la compactación mediante 25 golpes, pero sin llegar a alterar la capa inferior.
- Repetir el procedimiento tres veces más para calcular el peso promedio de los moldes con el agregado compactado.
- Finalmente, realizar los cálculos mediante las fórmulas para obtener el peso unitario compactado.

$$PUCS = \frac{P_{compactado} - P_{molde}}{V_{molde}}$$

Siendo:

$P_{compactado}$ = Peso del agregado compactado

P_{molde} = Peso del molde

V_{molde} = Volumen del molde

Ensayo de Contenido de humedad

Definición:

Mediante este ensayo se puede calcular el contenido de humedad de un material expuesto a las condiciones climáticas habituales. Esto se logra al comparar la masa del material con su masa libre de humedad.

Normativa:

ASTM C566

Instrumentos y equipos:

- Balanza con precisión de 0,01 gr
- Un horno con la capacidad de mantener de forma uniforme la temperatura de $110 \pm 5 \text{ C}^\circ$
- Recipientes de aluminio

Procedimiento

Para agregado grueso:

- Seleccionar una muestra de 5000 gr de piedra en condiciones normales y colocarlos dentro de en un recipiente.
- Colocarla dentro del horno a una temperatura de $105 \text{ }^\circ\text{C}$ durante un lapso de 24 horas.
- Extraer y pesar el espécimen para aplicar las fórmulas para calcular la humedad del agregado grueso.

Para agregado fino:

- Seleccionar una muestra de 1 kg de arena en condiciones normales y colocarlos dentro de en un recipiente
- Colocarla dentro del horno a una temperatura de $105 \text{ }^\circ\text{C}$ durante un lapso de 24 horas
- Extraer y pesar la muestra para aplicar las fórmulas para calcular la humedad del agregado fino.

$$\%humedad = \frac{P_{natural} - P_{horno}}{P_{horno}} \times 100$$

Siendo para el agregado grueso:

$P_{\text{natural}} = \text{Peso de agregado en estado natural}$

$P_{\text{horno}} = \text{Peso de agregado seco al horno}$

Elaboración del diseño de mezcla ACI-211

Selección de la resistencia requerida

ado que se trata de un concreto liviano destinado a aplicaciones estructurales, el diseño de la mezcla debe cumplir con una resistencia mínima exigida de 210 Kg/cm². Una vez establecida la resistencia de diseño deseada para la mezcla, se procede a elegir el coeficiente de seguridad correspondiente de acuerdo con la información proporcionada en la tabla.

Tabla 1. $f'c$ requerido de diseño

Resistencia de diseño ($f'c$), kg/cm²)	Resistencia de diseño requerida ($f'cr$), kg/cm²)
< 210	$f'c + 70$
210 – 350	$f'c + 84$
> 350	$f'c + 98$

Fuente: ACI 211

Contenido de aire encapsulado

La siguiente etapa consiste en calcular el porcentaje de aire contenido, el cual se encuentra relacionado con la dimensión máxima nominal del agregado grueso.

Tabla 2. Tamaño máximo del agregado grueso

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

Fuente ACI 211

Cantidad de agua

En el siguiente paso, es necesario establecer el grado de compactación deseado para nuestra mezcla, y a partir del tamaño máximo nominal del agregado grueso, podremos obtener la cantidad adecuada de agua utilizando la tabla correspondiente. En este caso, el cálculo del contenido de agua se realizará excluyendo la presencia de aire incorporado.

Tabla 3. Cantidad de agua según el TMN

Asentamiento	Tamaño máximo nominal del agregado grueso							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	
% Aire atrapado	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	
% Aire incorporado en función del grado de exposición								
Normal	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
Moderada	8.0	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3
Extrema	7.5	7	6	6	5.5	5	4.5	4

Fuente: ACI 211

Relación agua – cemento (a/c)

Para el siguiente paso se debe tener el dato de la resistencia requerida de diseño elegida anteriormente, y mediante la siguiente tabla obtener la relación a/c. Cabe recalcar que si dentro de la tabla no se encuentra la resistencia que obtuvimos, se debe interpolar los valores de a/c. De igual manera la interpretación de los datos será sin aire incorporado.

Tabla 4. Relación a/c

F'c (kg/cm ²)	Relación agua/cemento	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
210	0.68	0.59
250	0.62	0.53
280	0.57	0.48
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	
420	0.41	
450	0.38	

Fuente: ACI 211

Cantidad de cemento

Para calcular la cantidad de cemento necesaria, es necesario dividir el volumen de agua obtenido previamente por la relación agua-cemento (a/c).

$$\text{Cantidad de cemento} = \frac{\text{Volumen de agua (l)}}{\text{relación a/c}}$$

Peso de agregado grueso

Para calcular el peso del agregado grueso, se requiere obtener los datos correspondientes al tamaño máximo nominal del agregado grueso y el factor de finura del agregado fino. Estos datos se utilizan en una tabla correspondiente para determinar el volumen del agregado grueso en la muestra. En caso de que los datos del índice de fineza no estén disponibles, se debe realizar una interpolación similar a los casos anteriores. Por último, el volumen del agregado grueso se multiplica por su densidad suelta y seca para obtener el peso correspondiente.

Tabla 5. Volumen de agregado grueso

Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso	Volumen de agregado grueso compactado en seco para diversos módulos de fineza de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.75	0.73	0.71	0.69
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.82	0.79	0.78	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: ACI 211

Volumen absoluto

En primer lugar, se deben obtener los volúmenes de los materiales de la mezcla, dividiendo su cantidad por sus respectivos pesos específicos. En el caso del aire atrapado se dividirá entre 100 ya que se encuentra anteriormente en porcentaje. Una vez concluido, se hallará el volumen remanente del agregado fino restando la suma de los volúmenes de los demás materiales a un metro cúbico.

$$V. material = \frac{Cantidad\ de\ material}{Peso\ específico\ del\ material}$$

$$V. aire = \frac{\% Aire\ atrapado}{100}$$

Peso agregado fino

La cantidad asignada al agregado fino se determina multiplicando el volumen de dicho agregado por su densidad.

$$Cantidad\ de\ agregado\ fino = V_{AF} \times Pe_{AF}$$

Ajuste debido a la humedad de los agregados

Se tiene que determinar la cantidad de agregado final teniendo en cuenta la humedad de cada uno de ellos mediante la siguiente formula.

$$\text{Cantidad final de agregado} = \text{cant. estado seco} \left(1 + \frac{\%W}{100}\right)$$

Aporte de agua a la mezcla

En el paso subsiguiente, es necesario calcular el volumen de agua presente en los agregados de tamaño fino y grueso. Esta operación se realiza multiplicando la cantidad de agregado en su condición seca por la disparidad entre el contenido de humedad y la absorción, ambas cifras divididas entre 100 dado que se expresan en porcentajes.

$$\text{Contribución del agua del AG} = \left(\frac{\%W_{ag} - \%A_{ag}}{100}\right) \times AG_{seco}$$

$$\text{Contribución del agua del AF} = \left(\frac{\%W_{af} - \%A_{af}}{100}\right) \times AF_{seco}$$

Agua efectiva

El agua requerida es el volumen de agua real deseado para la mezcla, teniendo en cuenta las contribuciones de agua de los materiales. Se determina restando el agua de diseño a la suma de los aportes de agua de los agregados.

$$\text{Agua efectiva} = A_{diseño} - (A_{ag} + A_{af})$$

Incorporación del poliestireno

En este paso se procede a incorporar al poliestireno expandido a la mezcla de concreto, que para este caso será en reemplazo del 40% del volumen del agregado fino.

Proporciones de diseño

En este paso se recolectan los datos hallados de las cantidades de materiales durante todo el diseño de mezcla de concreto.

Ensayo de Asentamiento

Definición:

Este análisis evalúa la cohesión o fluidez de la combinación de concreto en su estado reciente. Es una prueba significativa ya que contribuye a las características físicas del concreto y desempeña un papel crucial en el control de calidad de las mezclas.

Normativa:

ASTM C1611

Instrumentos y equipos:

- Cono de Abrams
- Wincha o regla metálica
- Martillo cabeza de goma
- Varilla lisa compactadora de diámetro de 16mm aprox.
- Bandeja

Procedimiento

- Se humedece la varilla y el cono que se usarán para el ensayo.
- Colocar el cono de Abrams dentro de un molde que sirva de base con una superficie plana y humedecida.
- Procedemos a verter la mezcla de concreto con una cochara hacia el cono de Abrams en tres capas de igual volumen; compactando cada una de ellas con 25 golpes con la varilla metálica de punta redondeada. Enrasamos la última capa para dejar lisa la superficie de hormigón.
- Elevar el recipiente y, utilizando una cinta métrica o una regla, se registra la separación entre la altura del cono invertido y la superficie superior de la mezcla de concreto.
- Recolectar los datos de los asentamientos que presentan todas las mezclas de concreto liviano.

Peso unitario del concreto

Definición:

Es la cantidad de masa del concreto que representa una determinada área. Se da en medidas de Kg/m³

Normativa:

ASTM C-138

Instrumentos y equipos:

- Martillo cabeza de goma
- Varilla lisa compactadora de diámetro de 16mm aprox.
- Molde cilíndrico

Procedimiento

- Identificar el molde que se utilizará para el ensayo, y obtener los datos del peso y volumen del molde.
- Proceder con el llenado del molde con el concreto y para el peso unitario compactado se realizó mediante tres capas del mismo espesor hasta llegar al borde, cada capa debe ser compactada con la varilla 25 veces y con un martillo de goma mediante 25 golpes, pero sin llegar a alterar la capa anterior.
- Finalmente, realizar los cálculos mediante las fórmulas para determinar el peso unitario compactado.

$$P.U. = \frac{P_t - P_r}{V_r}$$

Siendo:

P_t = Peso del concreto fresco + molde

P_r = Peso del molde

V_r = Volumen del molde

Módulo de Elasticidad y relación de Poisson

Definición:

Este ensayo evalúa la correspondencia entre la fuerza aplicada y la deformación resultante, así como la relación entre la deformación lateral y la deformación longitudinal del concreto.

Normativa:

ASTM C-469

Instrumentos y equipos:

- Compresómetro
- Extensómetro
- Prensa hidráulica
- Regla metálica

Procedimiento

- Colocar el extensómetro en la probeta cilíndrica que se tiene de muestra
- Colocarla en la prensa correctamente a lineada
- Encender la maquina y tomar los datos de la carga y las deformaciones
- Realizar los cálculos correspondientes con las siguientes ecuaciones

Para módulo de elasticidad

$$E = (S2 - S1)/(E2 - 0.000050)$$

Siendo:

E = Módulo de elasticidad

S2 = Esfuerzo correspondiente al 40% de la carga ultima

S1 = Esfuerzo correspondiente a la deformación longitudinal

E2 = deformación longitudinal producida por el esfuerzo S2

Para Poisson

$$U = (Et2 - Et1)/(E2 - 0.000050)$$

Siendo:

E = Relación de Poisson

Et2 = deformación transversal a media altura del espécimen producida por el esfuerzo S2

Et1 = Esfuerzo correspondiente a la deformación longitudinal

E2 = deformación longitudinal producida por el esfuerzo S2

Ensayo de Compresión

Definición:

Es un tipo de ensayo mecánico que es usado para determinar el comportamiento de un material sometido a cargas de aplastamiento aplicadas a un espécimen de prueba. Gracias al ensayo de compresión se pueden calcular varias propiedades de un material que se pueden registrar median el diagrama de esfuerzo – deformación que a su vez es usado determinar cualidades como límite elástico, proporcional, resistencia a la deformación y resistencia a la compresión.

Normativa:

ASTM C39

Instrumentos y equipos:

- Prensa hidráulica
- Regla metálica
- Especímenes cilíndricos de concreto

Procedimiento

- Este ensayo se realiza a los 7, 14 y 28 días después de realizar los especímenes de ensayo, y para todos ellos el procedimiento es el mismo.
- Se inicia retirando las probetas del agua donde se realizaba el curado y se deja secar superficialmente por mínimo 6 horas en el caso de los 28 días.
- Seguidamente se miden las probetas con el micrómetro, para de esta forma determinar el área.
- Finalmente, se determina la resistencia a la compresión usando la siguiente formula.

$$F'c = \frac{P(Kg)}{A(cm^2)}$$

Ensayo de Flexión

Definición:

Es un tipo de ensayo mecánico que es usado para determinar el comportamiento de un material relacionado con esfuerzos y flechas (deformaciones) aplicadas a vigas de concreto no reforzadas. Se esperan resultados del módulo de rotura entre el 10% al 20% del $f'c$.

Normativa:

ASTM C78

Instrumentos y equipos:

- Prensa hidráulica para ensayo de flexión
- Regla metálica
- Especímenes tipo vigas de concreto

Procedimiento

- Este ensayo se realizará a los especímenes en forma de viga; el presente ensayo debe ser realizado tan pronto sea posible después de extraer la muestra del ambiente de curado. Secar los especímenes da como resultado una disminución en la resistencia a la flexión.
- Las muestras serán giradas con respecto a su posición de moldeo y centrado en los bloques de soporte de la máquina de ensayo. De tal manera que el apoyo se encuentre a un tercio del punto de aplicación de la fuerza.
- La fuerza inicial debe estar en el rango del 3% y 6% de la carga última estimada.

Si la fractura se encuentra en el tercio medio, se usa la siguiente fórmula para calcular el módulo de rotura.

$$R = (PxL)/bxd^2$$

Si la fractura se encuentra fuera del tercio medio y no en más del 5% de su longitud, se usa la siguiente fórmula para calcular el módulo de rotura

$$R = (3Pa)/bxd^2$$

Si la fractura se encuentra fuera del tercio medio y en más del 5% de su longitud, se rechaza el resultado del ensayo.

Ensayo de Tracción indirecta

Definición:

El ensayo de compresión diametral en probetas cilíndricas de dimensiones 15x30 cm implica aplicar una carga en dirección opuesta a lo largo de dos generatrices, con el objetivo de evaluar la resistencia a la tracción indirecta del material.

Normativa:

ASTM C749

Instrumentos y equipos:

- Prensa hidráulica para ensayo de tracción indirecta
- Regla metálica
- Especímenes cilíndricos de concreto

Procedimiento

- Obtenemos mediante el calibrador las medidas del diámetro del espécimen
- Dibujar una línea diametral a lo largo del cilindro, para asegurarnos que este se encuentre en el mismo plano axial en todo momento.
- Colocar la tira de rodamiento auxiliar dentro del soporte,
- Colocar el cilindro de ensayo correctamente centrado.
- Colocar la siguiente tira de rodamiento auxiliar para después aplicar la tapa del soporte.
- Se comprueba que todo esté completamente alineado para que de esta manera la fuerza de tracción se genere a lo largo de todo cilindro.
- Aplicar la carga de forma continua y sin impacto
- Recolectar los datos de la máxima carga aplicada y el tipo de falla que se presentó.
- Calcular la resistencia máxima a ruptura.

Ensayo de densidad equilibrada y seca

Definición:

La densidad equilibrada es un ensayo que permite medir si el concreto liviano logró alcanzar la densidad adecuada según los requerimientos.

Normativa:

ASTM C567

Instrumentos y equipos:

- Un horno con la capacidad de mantener de forma uniforme la temperatura de $110 \pm 5 \text{ C}^\circ$
- Varilla compactadora
- Mazo
- Balanza
- Moldes
- Cerramiento controlado de humedad relativa de 50 ± 5 y $23 \pm 2 \text{ C}^\circ$

ProcedimientoPara densidad equilibrada

- Retirar los cilindros de su estado de curado después de siete días desde su moldeo y sumergirlos en agua a una temperatura de $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ durante un período de 24 horas.
- Medir la masa del cilindro mientras esté completamente sumergido y colocarlo como dato de la variable C.
- Sacarlo del agua y dejar drenar por 1 minuto y mediar la masa nuevamente para tenerlo como dato de la variable B.
- Extraer las muestras y colocarlas en un ambiente humedecido hasta que estos presenten variación del peso no más de 0.5%.
- Determinar la masa de los cilindros secos y registrar como valor de la variable A.
- Aplicar la fórmula de densidad equilibrada.

$$De = (Ax997)/(B - C)$$

Donde:

- De = Densidad equilibrada (Kg/m³)
- A = Masa del cilindro seco (Kg)
- B = Masa del cilindro saturado superficialmente seco (Kg)
- C = Masa aparente del cilindro suspendido sumergido (Kg)

Para densidad seca al horno

- Extraer los cilindros del molde pasado las 24 horas
- Medir la densidad aparente del espécimen mientras esté sumergido en agua usándolo como valor de la variable G.
- Sacarlo del agua y dejar drenar por 1 minuto y mediar la masa nuevamente para tenerlo como dato de la variable F.
- Colocar el cilindro al horno con temperatura de 110 ± 5 °C durante 72 horas
- Sacar el cilindro del horno y esperar 30 minutos para realizar el peso que será el valor de la variable D
- Aplicar la fórmula de densidad seca.

$$D_s = (D \times 997) / (F - G)$$

Donde:

- D_s = Densidad seca (Kg/m³)
- D = Masa del cilindro seco al horno (Kg)
- F = Masa del cilindro saturado superficialmente seco (Kg)
- G = Masa aparente del cilindro suspendido sumergido (Kg)

Materiales y métodos

Tipo y nivel de investigación

De acuerdo al fin que se persigue

Esta investigación es de tipo aplicada, debido a que aporta nuevos conocimientos que satisfacen la problemática centrada a la mejora de las propiedades del concreto liviano, para lograr mejores resultados sobre sus propiedades físicas y mecánicas. Además, se pretende tener un aporte económico en las construcciones debido a la disminución del costo de las cimentaciones.

De acuerdo a los datos analizados

Esta investigación es cuantitativa, debido a que se usaran los ensayos anteriormente propuestos para la recolección y el posterior análisis de los datos, y así llegar a los resultados finales.

Diseño de investigación

Esta tesis tendrá un diseño de tipo experimental, ya que se efectuarán ensayos en el laboratorio para analizar las mezclas de concreto liviano manipulando la variable independiente y observando los resultados de la variable dependiente, para que de esta forma se pueda comprobar la hipótesis de forma favorable. Los ensayos que se realizarán se darán en el siguiente orden: Ensayos para la caracterización de los insumos o agregados de la mezcla (granulometría, humedad, absorción, peso unitario, etc.), Recolección de datos de las características de los materiales adicionados (nanoplacas: densidad, diámetros, longitud, pureza y para el poliestireno expandido: densidad); ensayos del concreto fresco (peso unitario y asentamiento), ensayos del concreto endurecido (resistencia a la compresión, flexión, densidades, resistencia a la tracción indirecta, poisson y módulo de elasticidad). Se elaborará una mezcla de concreto utilizando poliestireno expandido en un 40% reemplazando al agregado fino como muestra patrón, y otras de la misma manera, pero adicionándole porcentajes de 0.05%, 0.1% y 0.15% de nanoplacas en relación al peso del cemento.

Población, muestra y muestreo

Población

La población va enfocada a los especímenes de las mezclas del concreto liviano estructural.

Muestra

Se realizarán probetas cilíndricas y prismáticas de concreto utilizando los insumos de la ciudad de Chiclayo y las nanoplacas provenientes de China. Aquellos materiales formarán parte de las mezclas de concreto para así poder determinar su influencia en las propiedades físicas y mecánicas mediante los ensayos establecidos. El porcentaje de poliestireno expandido será del 40% del volumen del agregado fino, tanto en la muestra patrón como en las demás muestras ensayadas; esta consideración resulta de los datos de antecedentes de investigaciones con este material que afirman el buen comportamiento del concreto liviano con dichos porcentajes de aumento. Además, las adiciones de los nanotubos de grafeno serán en porcentajes de 0.05%, 0.1% y 0.15% del peso del cemento, los cuales son considerados debido a la existencia de estudios internacionales de esta adición, asegurando la mejora de las propiedades mecánicas de la mezcla ya presentada. El diseño de las mezclas de concreto liviano tendrá una resistencia a la compresión de 210 kg/cm² debido a su uso estructural. De esta manera se pretende llegar a obtener una muestra óptima de la mezcla de ambos porcentajes de aditivos y así cumplir con los resultados ya propuestos en la hipótesis del estudio.

Tabla 6. Cantidad de muestras de ensayo

CONCRETO ELABORADO CON	40 % DE POLIESTIRENO EXPANDIDO CON ADICION DE NANOTUBOS DE GRAFENO												SUB TOTAL	
	7				14				28					
DIAS	0%	0.05%	0.10%	0.15%	0%	0.05%	0.10%	0.15%	0%	0.05%	0.10%	0.15%		
ADICION DE NANOTUBOS	0%	0.05%	0.10%	0.15%	0%	0.05%	0.10%	0.15%	0%	0.05%	0.10%	0.15%		
ENSAYOS														
RESISTENCIA A LA COMPRESION	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24
DENSIDAD DE EQUILIBRIO Y SECA	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4	4	4	4	16
TRACCION INDIRECTA	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	2	2	2	8
FLEXION (VIGAS DE CONCRETO)					-	-	-	-	2	2	2	2	2	8
TOTAL MUESTRAS														56
PROBETAS CILINDRICAS														48
VIGAS														8

Fuente: Elaboración propia

El número total de muestras es de 56, de las cuales 48 son cilindros de 15x30 cm de medida, ensayadas a los 7, 14 y 28 días y 8 son probetas prismáticas de 15x15x55 cm de medida, ensayadas a los 28 días.

Muestreo

El muestreo será de tipo no probabilístico, debido a que se seleccionaran las muestras correspondientes a cada ensayo de forma crítica teniendo en cuenta el planteamiento de las dosificaciones de los materiales.

Criterios de selección

Para el ensayo de compresión

El criterio de selección para la cantidad de probetas cilíndricas está basado en la norma ASTM C39 donde indica que la **cantidad mínima de ensayo es de 2 cilindros cuando se tratan de diámetros de 150 mm**. En esta investigación se ha considerado la cantidad de 2 para el cumplimiento de la norma para así obtener los resultados requeridos.

Para el ensayo flexión

El criterio de selección para la cantidad de vigas está basado en la norma ASTM C78 donde indica que los requisitos de la muestra deben cumplir con el método de ensayo C42 **cantidad mínima de ensayo es de 2 vigas**. En esta investigación se ha considerado la cantidad de 2 necesaria para el cumplimiento de la norma para así obtener los resultados requeridos.

Para el ensayo de densidad equilibrada y seca

El criterio de selección para la cantidad de probetas está basado en la norma ASTM C567-05 donde indica que la **cantidad mínima de ensayo es de 2 probetas cilíndricas para densidad de equilibrio y 2 para densidad seca**. En esta investigación se ha considerado la cantidad mínima necesaria para el cumplimiento de la norma para así obtener los resultados requeridos.

Para el ensayo de tracción indirecta

El criterio de selección para la cantidad de probetas está basado en la norma ASTM C496 donde indica que los requisitos de la muestra deben cumplir con el método de ensayo C42 **cantidad mínima de ensayo es de 2 probetas cilíndricas**. En esta investigación se ha considerado la cantidad de 2 para el cumplimiento de la norma para así obtener los resultados requeridos.

Operacionalización de variables

Tabla 7. Operacionalización de variables

Variable		Dimensión	Indicadores	Medición	Método de medición
Tipo	Descripción				
<u>V. Independiente</u>	Nanoplacas de grafeno	Dosificación	0.05%, 0.1% y 0.15% respecto al peso del cemento	Kg	Balanza de aproximación 0.01g
<u>V. Dependiente</u>	Propiedades del concreto	Propiedades físicas	Peso Unitario	kg/m ³	Método de Ensayo Estándar para Densidad (Peso Unitario) en una Mezcla de Concreto
			Asentamiento	pulg	Método de ensayo para determinación del flujo de asentamiento del concreto.
		Propiedades mecánicas	Resistencia a compresión	kg/cm ²	Ensayo de resistencia a la compresión
			Resistencia a la tracción indirecta	kg/cm ²	Resistencia a la tracción por división de probetas cilíndricas de hormigón
			Resistencia a la flexión	kg/cm ²	Método de ensayo normalizado para determinar la resistencia a la flexión del hormigón
			Módulo de elasticidad y coeficiente de Poison	Kgf/cm ²	Método estándar de ensayo para módulo de elasticidad estático y relación de poisson del concreto en compresión

			Densidad equilibrada	kg/m ³	Método de ensayo para la determinación de la densidad equilibrada del concreto estructural liviano.
			Densidad seca	kg/m ³	Método de ensayo para la determinación de la densidad seca del concreto estructural liviano.
<u>V. Interviniente</u>	Poliestireno expandido	Características	Peso específico	gr/cm ³	Ficha técnica
			Diámetro	6 mm	Ficha técnica
		Dosificación	40% en remplazo del agregado fino	Kg	Balanza de aproximación 0.1g
	Cemento Portland tipo I	Propiedades	Relación agua/cemento	-	-
	Agregado fino y grueso	Propiedades	Granulometría	gr	Método de ensayo para el análisis granulométrico
			Peso específico	kg/cm ³	Método de ensayo normalizado para determinar el peso específico del agregado
			Grado de absorción	%	Método de ensayo normalizado para determinar la absorción del agregado
			Contenido de humedad	%	Método de ensayo normalizado para determinar la humedad del agregado
			Peso unitario	kg/cm ³	Método estándar de ensayo para densidad total (peso unitario) en los agregados.

Fuente: elaboración propia

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnica

Análisis documental

Al recolectar datos e investigar diversas fuentes y referencias, seremos capaces de desarrollar y construir nuestro tema de estudio basándonos en la información recopilada.

Observación experimental

Al llevar a cabo la modificación de las variables independientes y dependientes en los diferentes experimentos, se podrá comprobar o descartar lo establecido previamente en nuestra hipótesis.

Fuentes

- Norma Técnica Peruana (NTP)
- American Society for Testing and Materials (ASTM)
- American Concrete Institute (ACI)

Instrumentos de recolección de datos

Programas de cómputo

- Microsoft Office Word
- Microsoft Office Excel

Procedimientos

Elección de agregados

Con el fin de obtener resultados favorables en la elaboración del concreto liviano se utilizó el estudio de cantera realizada por Chavarry 2018, donde nos muestra las características de los agregados provenientes de las canteras Talambo, Tres tomas y La Victoria. Posteriormente, con la investigación previa se llega a la conclusión que la cantera donde se extraerá el agregado fino será de La Victoria y el agregado grueso de tres Tomas, debido a que son los materiales que presentan un peso específico menor a comparación de los demás, para ser usado en un concreto liviano.

Tabla 8. Comparación de ensayos de agregado fino

Ensayos normalizados	CANTERAS		
	TALAMBO	TRES TOMAS	LA VICTORIA
Módulo de Fineza	2.199	2.873	2.929
Peso Específico	2.682	2.588	2.509
Absorción	1.8	2.19	2.14
Porosidad	4.83	5.66	5.38
Sales totales	0.01	0.01	0.01
Humedad natural	0.68	1.19	0.50
Peso unit. Compactado	1907	1763	1640
Peso unit. Suelto	1684	1577	1419
Material pasante malla n° 200	9.9	5.8	3.4

Fuente: Chavarry 2018

Tabla 9. Comparación de ensayos de agregado grueso

Ensayos normalizados	CANTERAS	
	TALAMBO	TRES TOMAS
Módulo de Fineza	6.62	7.71
Peso Específico	2.692	2.71
Absorción	1.92	1.05
Porosidad	3.3	2.84
Sales totales	0.01	0.01
Humedad natural	0.13	0.19
Peso unit. Compactado	1529	1521
Peso unit. Suelto	1420	1400
Material pasante malla n° 200	0.1	0.1
Abrasión Los Angeles	17.8	18.8

Fuente: Chavarry 2018

El cemento fue de tipo I, ya que es un cemento que no presenta ningún tipo de adición en su composición que pueda brindar mejoras al concreto; y las perlas de poliestireno fueron de la empresa “Distribuidora Iquitos” especializada en la venta del producto.

Ensayo de los agregados

Granulometría de los agregados

Procedimiento

Para la ejecución de este ensayo se recolectaron muestras de 1000 gr de agregado fino y 5000 gr de agregado grueso. Estas muestras fueron las más representativas del conjunto y fueron halladas mediante el método del cuarteo ya normado. El procedimiento del tamizado y el pesaje de las muestras fueron tomado de la norma ASTM C136, teniendo en cuenta todos los pasos para la obtención de los resultados esperados de las curvas granulométricas.

Imagen 1. Muestras de granulometría de piedra



Fuente: Propia

Imagen 2. Muestras de granulometría de arena



Fuente: Propia

Peso específico de los agregados

Procedimiento

Para agregado grueso

La muestra que se utilizó para el siguiente ensayo fue de 2.680 kg de piedra y los procedimientos para determinar el peso específico fueron los establecidos en la norma ASTM C127, ya mencionada en el marco normativo del informe de investigación.

Imagen 3. Determinación del peso sumergido de la piedra



Fuente: Propia

Para agregado fino

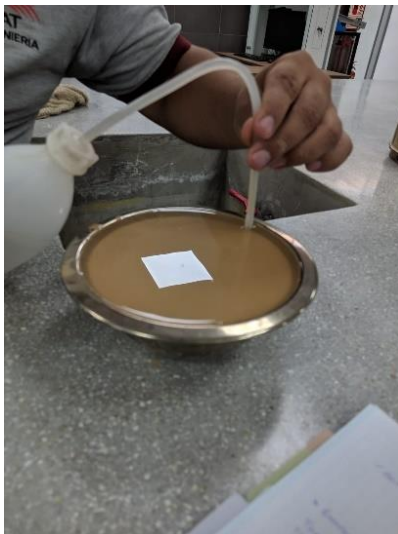
El espécimen que se empleó para el siguiente ensayo fue de 500g de arena y los procedimientos para determinar el peso específico fueron los establecidos en la norma ASTM C127, ya mencionada en el marco normativo del informe de investigación.

Imagen 4. Agitación de fiola para hallar el peso específico de la arena



Fuente: Propia

Imagen 5. Muestra retirada de fiola para peso específico



Fuente: Propia

Grado de absorción

Procedimiento

Para determinar el coeficiente de absorción de los agregados, se aplicó el método descrito en las normas ASTM 128, considerando los datos obtenidos en la prueba de densidad relativa y realizando ajustes en los cálculos correspondientes.

Imagen 6. Añadido de agua a fiola con arena



Fuente: Propia

Contenido de humedad

Procedimiento

Para calcular la humedad se utilizaron los datos de las muestras del ensayo de granulometría, en donde tenemos el peso de las muestras en condiciones normales y, además el peso seco al horno. La fórmula utilizada fue tomada de la norma ASTM C566 ya mencionada en el marco normativo.

Imagen 7. Muestra de arena para granulometría



Fuente: Propia

Imagen 8. Muestra de piedra para granulometría



Fuente: Propia

Peso unitario suelto de los agregados

Procedimiento

Para obtener el valor de la densidad aparente para el agregado fino y grueso, se aplicaron los métodos prescritos en la norma ASTM C29, mencionada dentro de los lineamientos reglamentarios del informe de investigación.

Imagen 9. Muestra de piedra para peso unitario suelto



Fuente: Propia

Peso unitario compactado de los agregados

Procedimiento

Con el fin de determinar el valor de la densidad compactada para el agregado fino y grueso, se aplicaron los métodos establecidos en la norma ASTM C29, la cual se encuentra mencionada dentro del contexto reglamentario del informe de investigación.

Imagen 10. Muestra de arena para peso unitario compactado



Fuente: Propia

Elaboración del diseño de mezcla

Procedimiento

Con el objetivo de establecer la proporción apropiada de los componentes en la mezcla de concreto liviano, se aplicaron los procedimientos descritos en la norma ACI-211. De esta manera, se obtuvieron las cantidades de materiales correspondientes a un concreto convencional y posteriormente se reemplazó el 40% del volumen del agregado fino por perlas de poliestireno. Para este cálculo fue necesario hallar el peso específico del material añadido mediante los siguientes pasos:

- Con una balanza de precisión de 0.01g, se determina el peso de una probeta cilíndrica de 1 lt de volumen.
- Se taró y llenó la probeta con las perlas de poliestireno hasta el límite indicado de 1 lt.
- Se determinó el peso específico haciendo la división de la masa entre el volumen convertido a m³, obteniendo un peso específico de 8.63 kg/m³, y se planteó para hallar la cantidad de material necesario para el diseño de mezcla.

Tabla 10. Dosificación para concreto convencional

	C	Af	Ag	Agua	
Proporción en peso :	1	2.13	2.57	21.41	Lts/bls
Proporción en volumen :	1	2.07	2.62	21.41	Lts/bls

Fuente: Propia

Tabla 11. Dosificación para concreto con poliestireno al 40%

	C	Af	Ag	Pol.	Agua	
Proporción en peso :	1	1.28	2.57	0.01	21.41	Lts/bls
Proporción en volumen :	1	1.24	2.62	0.83	21.41	Lts/bls

Fuente: Propia

Después de realizar el ensayo de asentamiento para el diseño de la mezcla piloto de concreto liviano, se observó que no cumplía con los requisitos necesarios para su uso en elementos estructurales. Por lo tanto, se llevó a cabo un ajuste adecuado del slump mediante mejoras en las proporciones de los agregados fino y grueso, con el fin de lograr un diseño más adecuado.

Del volumen total de agregados presentes en el concreto, el 56% correspondió al agregado fino, mientras que el 44% restante fue asignado al agregado grueso. Además, para cumplir con la baja densidad requerida para ser considerado concreto liviano, se reemplazó el 40% de la proporción de agregado fino por perlas de poliestireno.

Estas modificaciones permitieron obtener una mezcla de concreto que cumple con los estándares de densidad deseada, siendo apta para su consideración como concreto liviano en aplicaciones estructurales.

Tabla 12. Dosificación para concreto convencional reajustado

	C	Af	Ag	Agua	
Proporción en peso :	1	2.32	1.81	23.0	Lts/bls
Proporción en volumen :	1	2.26	1.84	23.0	Lts/bls

Fuente: Propia

Tabla 13. Dosificación para concreto con poliestireno al 40% reajustado

	C	Af	Ag	Pol.	Agua	
Proporción en peso :	1	1.39	1.81	0.01	22.98	Lts/bls
Proporción en volumen :	1	1.36	1.84	0.90	22.98	Lts/bls

Fuente: Propia

Determinación de los porcentajes de nanoplacas

Debido a los antecedentes plasmados inicialmente, en esta investigación tomaremos porcentajes de 0.05 %, 0.1% y 0.15% de nanoplacas en función al peso del cemento, ya que muestran un comportamiento favorable en concretos convencionales y se espera que los resultados sean igual de favorables en las mezclas de concreto liviano con poliestireno.

Diseño de mezcla del concreto con porcentajes de nanoplacas

En este paso se mostrarán una serie de tablas de los diseños de mezcla del concreto con nanoplacas de grafeno en porcentajes de 0.05%, 0.1 y 0.15 en relación al peso del cemento.

Tabla 14. Cantidad de materiales para concreto patrón con poliestireno

Cemento (Kg)	409.49
Agua (Lts/m3)	221.45
A. Fino (Kg)	570.62
A. Grueso (Kg)	739.46
Poliestireno (Kg)	2.04

Fuente: Propia

Tabla 15. Cantidad de materiales para concreto con poliestireno y 0.05% de nanoplacas

Cemento (Kg)	409.49
Agua (Lts/m3)	221.45
A. Fino (Kg)	570.62
A. Grueso (Kg)	739.46
Poliestireno Kg)	2.04
Nanoplacas (Kg)	0.205

Fuente: Propia

Tabla 16. Cantidad de materiales para concreto con poliestireno y 0.10% de nanoplacas

Cemento (Kg)	409.49
Agua (Lts/m3)	221.45
A. Fino (Kg)	570.62
A. Grueso (Kg)	739.46
Poliestireno Kg)	2.04
Nanoplacas (Kg)	0.409

Fuente: Propia

Tabla 17. Cantidad de materiales para concreto con poliestireno y 0.15% de nanoplacas

Cemento (Kg)	409.49
Agua (Lts/m3)	221.45
A. Fino (Kg)	570.62
A. Grueso (Kg)	739.46
Poliestireno Kg)	2.04
Nanoplacas (Kg)	0.614

Fuente: Propia

Fabricación de cilindros

- En primer lugar, se deben realizar el pesaje de los materiales (agua, cemento, agregado grueso, agregado grueso, poliestireno y nanoplacas) que se usará para la mezcla según el previo diseño.
- Se incorpora la cantidad necesaria de agua a la mezcladora y se permite que se expulse después de un minuto. Este procedimiento se realiza con el propósito de prevenir la absorción del agua utilizada en la mezcla por parte de la mezcladora.
- La piedra será el primer material que se colocará dentro de la mezcladora durante 30 segundos para que de esta manera se pueda homogeneizar la granulometría.
- La mitad del agua de diseño se colocará dentro de la mezcladora junto con el cemento en conjunto con las nanoplacas para que de esta forma tengan una mejor dispersión en toda la mezcla durante 30 segundos más.
- Para concluir, se incorporará la arena gruesa junto con el poliestireno, y se mezclará durante 4 minutos adicionales con la mitad restante del agua previamente calculada. Después de esto, la mezcla se verterá en los diferentes moldes de prueba.

Imagen 11. Mezclado de concreto liviano



Fuente: Propia

Ensayos al concreto

Ensayo de asentamiento

Procedimiento

Para obtener la información sobre la fluidez de la mezcla de concreto, se aplicaron los lineamientos definidos en la norma ASTM C1611, previamente mencionada en el contexto normativo del informe.

Imagen 12. Slump de mezcla de concreto patrón



Fuente: Propia

Peso unitario del concreto

Procedimiento

Para obtener el peso específico, se aplicaron los lineamientos descritos en la norma ASTM C-138, previamente mencionada en el marco normativo del informe.

Imagen 13. Peso unitario de concreto liviano patrón



Fuente: Propia

Resistencia a la compresión

Procedimiento

Este procedimiento experimental se realizó siguiendo las directrices establecidas en la norma ASTM C39, la cual detalla los pasos a seguir para la recolección de los datos necesarios.

Imagen 14. Resistencia a la compresión a los 7 días de concreto liviano con 0.15% de nanoplacas



Fuente: Propia

Módulo de Elasticidad y Modulo de Poisson

Procedimiento

Este ensayo se realizó bajo la normativa ASTM C-469, donde se explican los pasos para la toma de datos.

Imagen 15. Módulo de Elasticidad y Poisson a los 28 días de concreto liviano patrón.



Fuente: Propia

Ensayo de flexión

Procedimiento

Para obtener los datos necesarios en el ensayo de flexión, se aplicaron los parámetros establecidos en la norma ASTM C78, la cual ha sido previamente mencionada en el marco normativo del informe. Estos parámetros proporcionan las pautas y directrices necesarias para garantizar una correcta ejecución del ensayo y asegurar la precisión de los datos recopilados. De esta manera, se asegura la confiabilidad de los resultados obtenidos y se cumplen los estándares establecidos en la normativa correspondiente.

Imagen 16. Resistencia a la flexión a los 28 días de concreto con 0.15% de nanoplacas



Fuente: Propia

Ensayo de tracción indirecta

Procedimiento

El procedimiento de tracción indirecta fue llevado a cabo siguiendo las directrices establecidas en la norma ASTM C749, la cual ha sido previamente mencionada en el marco normativo del informe. Estos procedimientos detallan los pasos necesarios para realizar el ensayo de manera adecuada, asegurando la consistencia y veracidad de los datos obtenidos. Al adherirse a los estándares de la normativa, se garantiza que el ensayo se realice de manera precisa y se obtengan datos válidos y consistentes. Esto contribuye a una evaluación precisa de la resistencia a la tracción del material y a la validez de los resultados obtenidos en el contexto de la investigación realizada.

Imagen 17. Probeta ensayada a tracción diagonal



Fuente: Propia

Ensayo de densidad seca y equilibrada

Procedimiento

Para determinar la densidad seca y equilibrada se hizo uso del procedimiento establecido en la normativa ASTM C567, donde indican como obtener los pesos de una muestra cilíndrica sumergida, saturada superficialmente seca, húmeda y seca a horno. De esta manera utilizando las fórmulas se llegó a los resultados requeridos del ensayo.

Imagen 18. Acondicionando el ensayo de densidades



Fuente; Propia

Resultados y discusión:

Resultados

Estos análisis experimentales se llevaron a cabo siguiendo los protocolos previamente establecidos, y se registraron los siguientes valores para cada uno de los ensayos llevados a cabo:

Granulometría de los agregados

Tabla 18. Granulometría para agregado fino

Malla		Peso	(%)	(%) Acum.	(%) Acum.	Especificaciones:	
Pulg.	(mm.)	Ret.	Ret.	Ret.	Que Pasa		
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	0	0.0	0.0	100.0	100	100
Nº 04	4.750	46.61	4.8	4.8	95.2	95	100
Nº 08	2.360	145.35	14.9	19.7	80.3	80	100
Nº 16	1.180	232.21	23.9	43.6	56.4	50	85
Nº 30	0.600	256.31	26.4	70.0	30.0	25	60
Nº 50	0.300	203.36	20.9	90.9	9.1	10	30
Nº 100	0.150	81.6	8.4	99.2	0.8	2	10
Fondo		7.31	0.8	100.0	0.0		
Módulo de Fineza				3.282			
Abertura de malla de referencia				9.500			

Fuente: Propia

Tabla 19. Granulometría para agregado grueso

Cantera : Piedra Chancada - Tres Tomas P. Inicial H. 5000 % de Humedad = 0.28
 P. Inicial S. 4986

Malla		Peso	(%)	(%) Acum.	(%) Acum.	Especificaciones	
Pulg.	(mm.)	Ret.	Ret.	Ret.	Que Pasa	USO 56	
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	25.00	49.0	1.0	1.0	99.0	90.0	100.0
3/4"	19.00	885.0	17.7	18.7	81.3	40.0	85.0
1/2"	12.70	2801.0	56.2	74.9	25.1	10.0	40.0
3/8"	9.52	772.0	15.5	90.4	9.6	0.0	15.0
Nº 04	4.75	479.0	9.6	100.0	0.0	0.0	5.0
Nº 08	2.36	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
Nº 16	1.19	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
Fondo		0	0.0	100.0	0.0		
Tamaño Máximo			1"	38.00			
Tamaño Máximo Nominal			3/4"	25.00			

Fuente: Propia

Los resultados obtenidos:

El agregado grueso y el agregado grueso, obtenidos de las canteras La Victoria en Pátapo y Tres Tomas, respectivamente, cumplen con los estándares de granulometría establecidos en la norma ITINTEC 400.037. Se determinó que el tamaño máximo nominal del material de tamaño grande es de ¾ de pulgada, mientras que el módulo de finura del material de tamaño pequeño es de 3.282. Estos valores serán utilizados en el proceso de diseño de la mezcla.

Peso específico y absorción de los agregados

Tabla 20. Peso específico y absorción de agregado fino

A.- PESO ESPECIFICO DE LA ARENA.	$7/(8-4)$	g/cm ³	2.581	2.581	2.581
B.- PESO ESPECIFICO DE LA MASA S.S.S.	$7/(7-4)$	g/cm ³	2.597	2.597	2.597
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	$7/((8-4)-(8-7))$	g/cm ³	2.624	2.624	2.624
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN.	$((1-7)/7)*100$	%	0.64	0.64	0.64

Fuente: Propia

Tabla 21. *Peso específico y absorción de agregado grueso*

A.- PESO ESPECIFICO DE LA GRAVA.	$1/(2-5)$	g/cm ³	2.733	2.733	2.733
B.- PESO ESPECIFICO DE LA MASA S.S.S.	$2/(2-5)$	g/cm ³	2.750	2.750	2.750
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	$1/(1-5)$	g/cm ³	2.781	2.781	2.781
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN.	$((2-1)/1)*100$	%	0.63	0.63	0.63

Fuente: Propia

Los resultados obtenidos:

El agregado fino tuvo una densidad de 2.581 gr/cm³ y una capacidad de absorción de humedad del 0.64%, mientras que el material de tamaño grande tuvo una densidad de 2.733 gr/cm³ y una capacidad de absorción de humedad del 0.63%.

Peso unitario suelto seco de los agregadosTabla 22. *Peso unitario suelto seco del agregado fino*

- Peso de la muestra húmeda	8412	8402
- Volumen del molde		0.0053
- Peso unitario suelto húmedo		1586
- PESO UNIT. SUELTO SECO		1543

Fuente: Propia

Tabla 23. *Peso unitario suelto seco del agregado grueso*

- Peso de la muestra húmeda	7832	7822
- Volumen del molde		0.00530
- Peso unitario suelto húmedo		1476
- PESO UNIT. SUELTO SECO		1472

Fuente: Propia

Los resultados obtenidos:

El peso unitario suelto seco para el agregado fino es 1543 kg/m³ y para el agregado grueso es 1472 kg/m³.

Peso unitario compactado seco de los agregados

Tabla 24. *Peso unitario compactado seco del agregado fino*

- Peso de la muestra húmeda	9392	9402
- Volumen del molde		0.0053
- Peso unitario suelto húmedo		1773
- PESO UNIT. COMPACTADO SECO		1724

Fuente: Propia

Tabla 25. *Peso unitario compactado seco del agregado grueso*

- Peso de la muestra húmeda	8972	8972
- Volumen del molde		0.00530
- Peso unitario suelto húmedo		1692
- PESO UNIT. COMPACTADO SECO		1688

Fuente: Propia

Los resultados obtenidos:

El peso unitario compactado seco para el agregado fino es 1724 kg/m³ y para el agregado grueso 1688 kg/m³

Contenido de humedad de los agregados

Tabla 26. *Contenido de humedad de agregado fino*

1.- Peso de la muest. húmeda	1000	1000
2.- Peso de la muestra seca	972.7	972.7
3.- Cont. Humedad	2.81	2.81
4.- Promedio		2.81

Fuente: Propia

Tabla 27. *Contenido de humedad de agregado grueso*

1.- Peso de la muest. húmeda	5000	5000
2.- Peso de la muestra seca	4986	4986
3.- Cont. Humedad	0.28	0.28
4.- Promedio		0.28

Fuente: Propia

Los resultados obtenidos:

El porcentaje de humedad del agregado fino es 2.81% y para el agregado grueso 0.28%.

Diseño de mezcla ACI 211

Tabla 28. *Proporciones de diseño final de concreto liviano*

	C	Af	Ag	Pol.	Agua	
Proporción en peso :	1	1.39	1.81	0.01	22.98	Lts/bls
Proporción en volumen :	1	1.36	1.84	0.90	22.98	Lts/bls

Fuente: Propia

Tabla 29. *Cantidad de materiales final por m3*

Cemento (Kg)	409.49
Agua (Lts/m3)	221.45
A. Fino (Kg)	570.62
A. Grueso (Kg)	739.46
Poliestireno (Kg)	2.04

Fuente: Propia

Los resultados obtenidos:

La dosificación en peso del diseño es de 1:1.39:1.81:0.01/ 22.98 lts/bls.

La cantidad de materiales por m3 es:

- Cemento: 409.49 kg
- Agregado fino: 570.62 kg
- Agregado grueso: 739.46 kg
- Poliestireno: 2.04 kg
- Agua: 221.45 lts/m3

AsentamientoTabla 30. *Asentamiento del concreto liviano*

0.00%	0.05%	0.10%	0.15%
4"	4"	4"	4"

Fuente: Propia

Los resultados obtenidos:

El promedio de todos los asentamientos tomados para el diseño de mezcla fue de 4". Esto se puede entenderse porque las nanoplacas no van a afectar de forma considerable en el asentamiento de la mezcla, debido a que se colocan en bajas proporciones.

Peso unitario del concreto

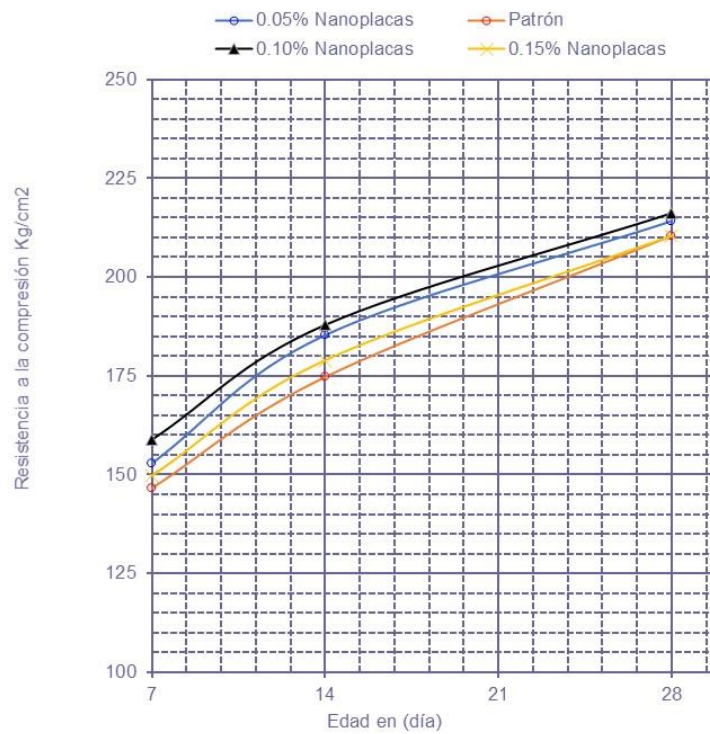
Tabla 31. *Peso unitario del concreto*

0.00%	0.05%	0.10%	0.15%
2104.33	2161.68	2112.63	2090.75
2120.56	2138.67	2130.74	2109.24
2148.10	2116.41	2142.06	2068.87

Fuente: Propia

Los resultados obtenidos:

El promedio del peso específico para la mezcla patrón y la que contiene la adición del 0.05%, 0.10% y 0.15%, fueron de 2124.3 kg/m³, 2138.9 kg/m³, 2128.5 kg/m³ y 2113.9 kg/m³ respectivamente.

Resistencia a la compresiónGráfico 1. *Curvas de resistencia a la compresión*

Fuente propia

Tabla 32. Resistencia a la compresión de la muestra patrón liviano

Muestra N°	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Dias	f _c kg/cm ²
01	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0% DE NANOPLACAS	18/10/2022	25/10/2022	7	144
02	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0% DE NANOPLACAS	18/10/2022	25/10/2022	7	149
03	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0% DE NANOPLACAS	18/10/2022	01/11/2022	14	170
04	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0% DE NANOPLACAS	18/10/2022	01/11/2022	14	179
05	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	210
06	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	210

Fuente: Propia

Tabla 33. Resistencia a la compresión de la muestra con adición de 0.05% de nanoplacas

Muestra N°	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Dias	f _c kg/cm ²
01	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.05% DE NANOPLACAS	18/10/2022	25/10/2022	7	162
02	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.05% DE NANOPLACAS	18/10/2022	25/10/2022	7	143
03	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.05% DE NANOPLACAS	18/10/2022	01/11/2022	14	174
04	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.05% DE NANOPLACAS	18/10/2022	01/11/2022	14	196
05	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.05% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	214
06	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.05% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	214

Fuente: Propia

Tabla 34. Resistencia a la compresión de la muestra con adición de 0.10% de nanoplacas

Muestra N°	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Dias	f _c kg/cm ²
01	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.10% DE NANOPLACAS	18/10/2022	25/10/2022	7	160
02	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.10% DE NANOPLACAS	18/10/2022	25/10/2022	7	158
03	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.10% DE NANOPLACAS	18/10/2022	01/11/2022	14	194
04	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.10% DE NANOPLACAS	18/10/2022	01/11/2022	14	182
05	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.10% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	219
06	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.10% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	214

Fuente: Propia

Tabla 35. Resistencia a la compresión de la muestra con adición de 0.15% de nanoplacas

Muestra N°	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Días	f _c kg/cm ²
01	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.15% DE NANOPLACAS	18/10/2022	25/10/2022	7	139
02	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.15% DE NANOPLACAS	18/10/2022	25/10/2022	7	161
03	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.15% DE NANOPLACAS	18/10/2022	01/11/2022	14	166
04	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.15% DE NANOPLACAS	18/10/2022	01/11/2022	14	191
05	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.15% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	209
06	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.15% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	212

Fuente: Propia

Los resultados obtenidos:

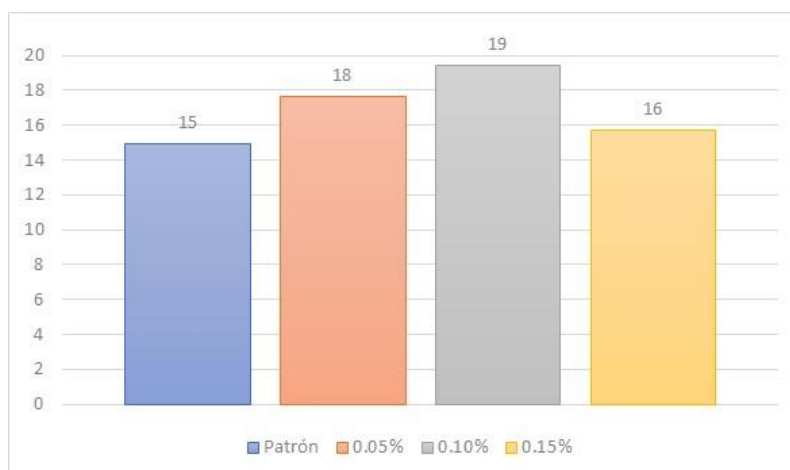
El promedio de las resistencias a la compresión a los 28 días del concreto liviano patrón y el de adiciones de 0.05%, 0.10% y 0.15%, fueron de 210 kg/cm², 214 kg/cm², 216 kg/cm² y 210 kg/cm² respectivamente.

Resistencia a la tracción indirecta**Tabla 36.** Resistencia a la tracción del concreto liviano

Muestra N°	Denominación de Espécimen	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Días	Diámetro (d) (cm)	Altura (h) (cm)	Carga (P) (Kg)	f _c (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)
01	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0%	18/10/2022	15/11/2022	28	14.90	30.1	10210	14	15
02	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0%	18/10/2022	15/11/2022	28	15.00	30	10810	15	
03	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.05%	18/10/2022	15/11/2022	28	14.90	30	12930	18	18
04	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.05%	18/10/2022	15/11/2022	28	14.90	30.1	11950	17	
05	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.10%	18/10/2022	15/11/2022	28	14.90	30.1	13350	19	19
06	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.10%	18/10/2022	15/11/2022	28	14.90	30.1	13950	20	
07	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.15%	18/10/2022	15/11/2022	28	14.90	30.1	11240	16	16
08	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.15%	18/10/2022	15/11/2022	28	14.90	30.1	10920	16	

Fuente: Propia

Gráfico 2. Resistencia a la tracción



Fuentes: Propia

Los resultados obtenidos:

El promedio de las resistencias a la tracción diagonal a los 28 días del concreto liviano patrón y el de adiciones de 0.05%, 0.10% y 0.15%, fueron de 15 kg/cm², 18 kg/cm², 19 kg/cm² y 16 kg/cm² respectivamente.

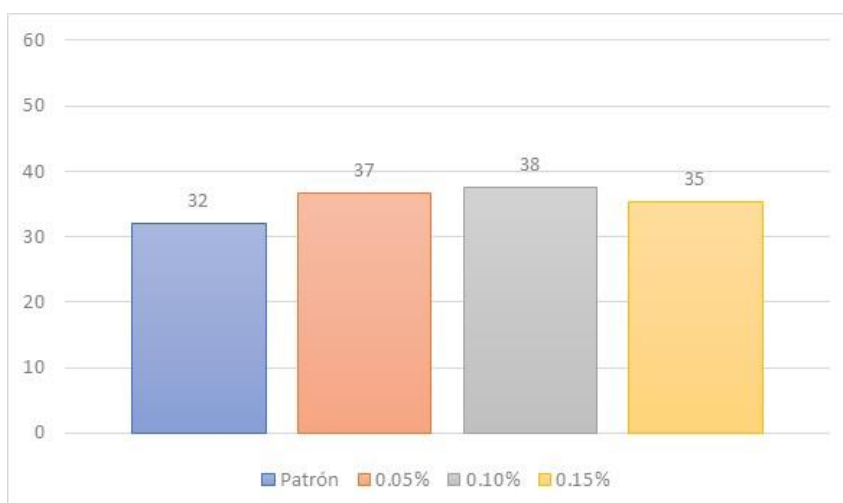
Resistencia a la flexión

Tabla 37. Resistencia a la flexión del concreto liviano

Muestra	Denominación de Espécimen	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Carga (Kgf)	Antigüedad del Espécimen	F'c Diseño (Kg/cm ²)	Módulo de Rotura (Kg/cm ²)	Módulo de Rotura (Kg/cm ²) Promedio
01	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0% DE	18/10/2022	15/11/2022	2290	28	210.0	34	32
02	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0% DE	18/10/2022	15/11/2022	2030	28	210.0	30	
03	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.05% DE	18/10/2022	15/11/2022	2460	28	210.0	36	37
04	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.05% DE	18/10/2022	15/11/2022	2490	28	210.0	37	
05	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.10% DE	18/10/2022	15/11/2022	2600	28	210.0	39	38
06	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.10% DE	18/10/2022	15/11/2022	2470	28	210.0	37	
07	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.15% DE	18/10/2022	15/11/2022	2480	28	210.0	37	35
08	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.15% DE	18/10/2022	15/11/2022	2290	28	210.0	34	

Fuente: Propia

Gráfico 3. Resistencia a la flexión



Fuente: Propia

Los resultados obtenidos:

El promedio del módulo de rotura del concreto liviano patrón y el de adiciones de 0.05%, 0.10% y 0.15%, fueron de 32 kg/cm², 37 kg/cm², 38 kg/cm² y 35 kg/cm² respectivamente.

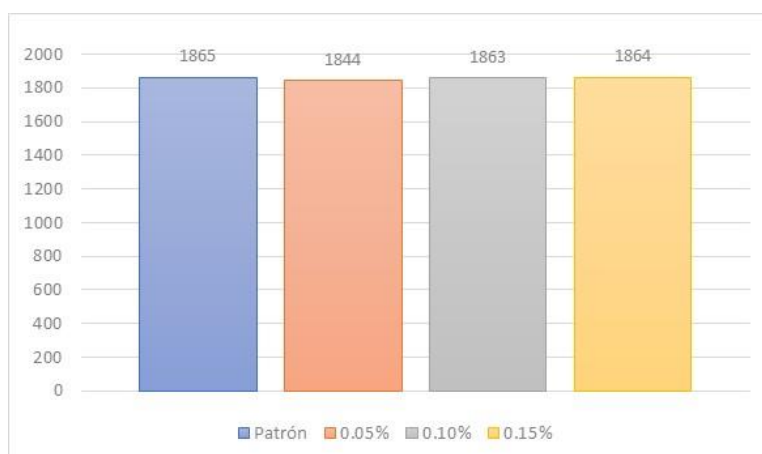
Densidad seca

Tabla 38. Densidad seca del concreto liviano estructural

Muestra N°	Denominación de Espécimen	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Días	Cilindro sumergido (Kg)	Cilindro saturado (Kg)	Cilindro seco a homo (Kg)	Densidad equilibrada (Kg/m ³)	Promedio (Kg/m ³)
01	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0%	18/10/2022	15/11/2022	28	5.69	11.15	10.27	1874	1865
02	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0%	18/10/2022	15/11/2022	28	5.59	11.06	10.18	1855	
03	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.05%	18/10/2022	15/11/2022	28	5.54	10.98	10.13	1857	1844
04	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.05%	18/10/2022	15/11/2022	28	5.45	10.91	10.03	1831	
05	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.10%	18/10/2022	15/11/2022	28	5.56	11.04	10.23	1861	1863
06	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.10%	18/10/2022	15/11/2022	28	5.62	11.07	10.19	1864	
07	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.15%	18/10/2022	15/11/2022	28	5.69	11.19	10.31	1869	1864
08	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.15%	18/10/2022	15/11/2022	28	5.55	11.01	10.18	1859	

Fuente: Propia

Gráfico 4. Densidad seca del concreto liviano



Fuente: Propia

Los resultados obtenidos:

El promedio de las densidades secas al horno los 28 días del concreto liviano patrón y el de adiciones de 0.05%, 0.10% y 0.15%, fueron de 1865 kg/m³, 1844 kg/m³, 1863 kg/m³ y 1864 kg/m³ respectivamente.

Densidad equilibrada

Tabla 39. Densidad equilibrada del concreto liviano estructural

Muestra N°	Denominación de Espécimen	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Días	Diámetro (d) (cm)	Cilindro sumergido (Kg)	Cilindro saturado (Kg)	Cilindro seco (Kg)	Densidad equilibrada (Kg/m ³)	Promedio (Kg/m ³)
01	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0%	18/10/2022	15/11/2022	28	14.90	5.69	11.15	10.53	1921	1916
02	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0%	18/10/2022	15/11/2022	28	15.00	5.59	11.06	10.48	1910	
03	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.05%	18/10/2022	15/11/2022	28	14.90	5.54	10.98	10.39	1904	1903
04	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.05%	18/10/2022	15/11/2022	28	14.90	5.45	10.91	10.41	1901	
05	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.10%	18/10/2022	15/11/2022	28	14.90	5.56	11.04	10.48	1907	1913
06	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.10%	18/10/2022	15/11/2022	28	14.90	5.62	11.07	10.49	1919	
07	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.15%	18/10/2022	15/11/2022	28	14.90	5.69	11.19	10.61	1923	1914
08	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.15%	18/10/2022	15/11/2022	28	14.90	5.55	11.01	10.43	1905	

Fuente: Propia

Gráfico 5. Densidad equilibrada del concreto liviano



Fuente: Propia

Los resultados obtenidos:

El promedio de las densidades equilibradas los 28 días del concreto liviano patrón y el de adiciones de 0.05%, 0.10% y 0.15%, fueron de 1916 kg/m³, 1903 kg/m³, 1913 kg/m³ y 1914 kg/m³ respectivamente.

Módulo de elasticidad

Tabla 40. Módulo de Elasticidad

MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	σ_u (Kg/cm ²)	Esfuerzo S2 (40% σ_u) Kg/cm ²	Esfuerzo S1 (0.000050) Kg/cm ²	ϵ unitaria Long ϵ_2 (S ₂)	ϵ Unitaria Transv	E_c Kg/cm ²	Promedio E_c Kg/cm ²
01	CONCRETO PATRON - f'c= 210 kg/cm ²	15/03/2023	12/04/2023	28	210.69	84	12.20310	0.000345	0.00001170	244062	242626
02	CONCRETO PATRON - f'c= 210 kg/cm ²	15/03/2023	12/04/2023	28	213.71	85	12.05947	0.000354	0.00001003	241189	
03	CAP 0.05%	15/03/2023	12/04/2023	28	215.21	86	12.38037	0.000348	0.00001170	247607	249794
04	CAP 0.05%	15/03/2023	12/04/2023	28	216.89	87	12.59906	0.000344	0.00000986	251981	
05	CAP 0.10%	15/03/2023	12/04/2023	28	218.67	87	12.87112	0.000340	0.00001220	257422	259088
06	CAP 0.10%	15/03/2023	12/04/2023	28	217.85	87	12.45259	0.000336	0.00001170	260753	
07	CAP 0.15%	15/03/2023	12/04/2023	28	210.30	84	12.02102	0.000350	0.00001170	240420	242242
08	CAP 0.15%	15/03/2023	12/04/2023	28	212.72	85	11.93020	0.000350	0.00001003	244063	

Fuente Propia.

Los resultados obtenidos:

El promedio de los módulos de elasticidad del concreto liviano patrón y el de adiciones de 0.05%, 0.10% y 0.15%, fueron de 242626 kg/cm², 249794 kg/cm², 259088 kg/cm² y 242242 kg/cm² respectivamente.

Relación de Poisson

Tabla 41. Relación de Poisson

MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	σ_u (Kg/cm ²)	Esfuerzo S2 (40% σ_u) Kg/cm ²	Esfuerzo S1 (0.000050) Kg/cm ²	ϵ unitaria Long ϵ_2 (S ₂)	ϵ Unitaria Transv	V	Promedio V
01	CONCRETO PATRON - f'c= 210 kg/cm2	15/03/2023	12/04/2023	28	210.69	84	12.20310	0.000345	0.00001170	0.0338744	0.031081493
02	CONCRETO PATRON - f'c= 210 kg/cm2	15/03/2023	12/04/2023	28	213.71	85	12.05947	0.000354	0.00001003	0.0282886	
03	CAP 0.05%	15/03/2023	12/04/2023	28	215.21	86	12.38037	0.000348	0.00001170	0.0336442	0.03113987
04	CAP 0.05%	15/03/2023	12/04/2023	28	216.89	87	12.59906	0.000344	0.00000986	0.0286355	
05	CAP 0.10%	15/03/2023	12/04/2023	28	218.67	87	12.87112	0.000340	0.00001220	0.0359018	0.03533522
06	CAP 0.10%	15/03/2023	12/04/2023	28	217.85	87	12.45259	0.000336	0.00001170	0.0347686	
07	CAP 0.15%	15/03/2023	12/04/2023	28	210.30	84	12.02102	0.000350	0.00001170	0.0334314	0.03104873
08	CAP 0.15%	15/03/2023	12/04/2023	28	212.72	85	11.93020	0.000350	0.00001003	0.0286661	

Fuente: Propia

Los resultados obtenidos:

El promedio de la relación de Poisson del concreto liviano patrón y el de adiciones de 0.05%, 0.10% y 0.15%, fueron de 0.03108, 0.03113, 0.03533 y 0.03104 respectivamente.

Análisis de costos

El análisis de costos se realizó con la finalidad de comparar la influencia de las nanoplacas de grafeno dentro del precio de fabricación de un elemento estructural. Para el cálculo, se tomó como ejemplo una zapata con un f'c =210 Kg/cm². Además, las especificaciones sobre el rendimiento, cuadrilla, herramientas y equipos; se están considerando del libro “Costos y presupuestos de edificación” de la Cámara peruana de la construcción. Para los precios unitarios, se colocaron los datos reales del precio de los materiales empleados; y para el personal, de un expediente del año del informe de investigación.

Análisis de costo de fabricación

Tabla 42. Precios unitarios para un concreto liviano con poliestireno al 40%

Rendimiento: m3/día	25			Total S/.	367.92
Mano de obra	Und.	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Operario	hh	2	0.640	S/ 24.23	S/ 15.51
Oficial	hh	2	0.640	S/ 19.13	S/ 12.24
Peón	hh	8	2.560	S/ 17.29	S/ 44.26
					S/ 72.01
Materiales					
Piedra 1/2"	m3		0.287	S/ 32.80	S/ 9.40
Agua	m3		0.221	S/ 6.00	S/ 1.33
Arena gruesa	m3		0.209	S/ 24.60	S/ 5.14
Cemento Portland Tipo 1 (42.5 Kg)	bls		9.635	S/ 22.96	S/ 221.22
Poliestireno	kg		2.040	S/ 20.50	S/ 41.82
					278.90
Equipos					
Herramientas manuales	%mo		3%	S/ 72.01	S/ 2.16
Vibrador de concreto	hm	1	0.32	S/ 18.95	S/ 6.06
Mezcladora de concreto	hm	1	0.32	S/ 27.42	S/ 8.77
					S/ 17.00

Fuente: Propia

Tabla 43. Precios unitarios para un concreto liviano con poliestireno al 40% y 0.10% de nanoplacas

Rendimiento: m3/día	25			Total S/.	847.21
Mano de obra	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Operario	hh	2	0.640	S/ 24.23	S/ 15.51
Oficial	hh	2	0.640	S/ 19.13	S/ 12.24
Peón	hh	8	2.560	S/ 17.29	S/ 44.26
					S/ 72.01
Materiales					
Piedra 1/2"	m3		0.287	S/ 32.80	S/ 9.40
Agua	m3		0.221	S/ 6.00	S/ 1.33
Arena gruesa	m3		0.209	S/ 24.60	S/ 5.14
Cemento Portland Tipo 1 (42.5 Kg)	bls		9.635	S/ 22.96	S/ 221.22
Poliestireno	m3		2.040	S/ 20.50	S/ 41.82
Nanoplacas	Kg		0.409	S/ 1,170.47	S/ 479.29
					S/ 758.20
Equipos					
Herramientas manuales	%mo		3%	S/ 72.01	S/ 2.16
Vibrador de concreto	hm	1	0.32	S/ 18.95	S/ 6.06
Mezcladora de concreto	hm	1	0.32	S/ 27.42	S/ 8.77
					S/ 17.00

Fuente: Propia

Los resultados obtenidos:

Podemos observar que a comparación del costo por m³ de concreto liviano con poliestireno, el costo del concreto con nanoplacas y poliestireno es del 130.27% más. Este resultado será analizado posteriormente, teniendo en cuenta el comportamiento del material frente a los ensayos de laboratorio.

Proceso constructivo para elaborar un m³ de concreto liviano estructural con el porcentaje óptimo de nanoplacas de grafeno.

Debido a que esta investigación se está realizando para ser utilizada como guía en la fabricación del concreto liviano estructural, la recolección de los materiales será independiente de la zona donde se desee realizar el concreto liviano; sin embargo, se deberá llevar a cabo todos los ensayos pertinentes de los agregados con el fin de determinar el diseño de la mezcla siguiendo el procedimiento establecido por ACI 211.

Para el caso de las perlas de poliestireno, se debe realizar el ensayo para determinar su peso específico y de esta manera calcular el reemplazo del 40 % del agregado fino.

Teniendo en cuenta los datos obtenidos del presente informe de investigación, podemos deducir que el porcentaje óptimo de nanoplacas de grafeno es del 0.10% del peso del cemento; esta cantidad será la adicionada para las mezclas de concreto liviano estructural.

Al tener los resultados del diseño, se procede a realizar la mezcla siguiendo los pasos siguientes:

- Primero se deben pesar los materiales (agua, cemento, agregado grueso, agregado fino, poliestireno y nanoplacas) que se usará para la mezcla según el previo diseño.
- Se humedece la mezcladora con una cantidad necesaria de agua, la misma que será expulsada al transcurrir un minuto. Este procedimiento se realiza con el objetivo de evitar la absorción de agua por parte de la mezcladora durante la preparación de la mezcla
- La piedra será el primer material que se colocará dentro de la mezcladora durante 30 segundos para que de esta manera se pueda homogeneizar la granulometría.
- La mitad del agua de diseño se colocará dentro de la mezcladora junto con el cemento en conjunto con las nanoplacas para que de esta forma tengan una mejor dispersión en toda la mezcla durante 30 segundos más.
- Finalmente se agregará la arena gruesa con el poliestireno y el agua restante, que se mezclará por 4 minutos

Al culminar el mezclado se realiza el ensayo de slump para evaluar la fluidez del concreto liviano, teniendo en cuenta que la mezcla debe presentar un slump de 4" según lo establecido

en los resultados del informe. Al realizar el procedimiento explicado, se puede garantizar que el concreto presentará una resistencia a la compresión a los 28 días de 210 Kg/cm² como mínimo, pero es recomendable realizar el ensayo de compresión a los 28 días para tener la certeza y la confianza del estudio.

Finalmente, el concreto puede ser vaciado a los elementos estructurales de igual manera que un concreto convencional, con las mismas herramientas y equipos necesarios para cada diferente elemento.

Discusión

Ensayos de los agregados

Los ensayos realizados para la formulación de la proporción de materiales en la mezcla de concreto liviano estructural, incluyeron la evaluación de la granulometría, contenido de humedad, porcentaje de absorción y pesos específicos de los agregados. Estos ensayos se llevaron a cabo siguiendo las normativas ACI y ASTM, que son ampliamente reconocidas en el ámbito de la ingeniería civil.

En cuanto al ensayo de granulometría del agregado fino, se obtuvo un valor de módulo de fineza de 3.28. Estos resultados pueden ser comparados con una investigación previa realizada por Chavarry en el año 2018, quien obtuvo un valor de 2.94 para el módulo de fineza del agregado fino proveniente de la cantera La Victoria. Es importante mencionar que existe una variación de 0.34 entre los resultados de nuestra investigación y la investigación previa, la cual puede atribuirse a factores externos naturales que afectan las propiedades del material.

Además, es relevante señalar que la normativa ACI 211.2-3 establece que un agregado liviano típico debe tener un módulo de fineza en peso de 3.03. Nuestro resultado de 3.28 se encuentra dentro de este rango, lo cual indica que el agregado fino utilizado en nuestra mezcla puede cumplir con los criterios de livianidad, pero debe ser comprobado con el cálculo de densidad de la mezcla de concreto.

En relación a la norma ASTM C33, esta define los límites para la elaboración de la curva granulométrica del agregado fino y grueso, la cual es una herramienta importante para evaluar la gradación adecuada del material. En nuestro caso, la curva granulométrica obtenida para el agregado fino se encuentra dentro de los márgenes establecidos por la norma lo que demuestra que el material cumple con los requisitos de gradación. Para el caso del agregado grueso, la curva granulométrica se adecúa dentro de los márgenes del HUSO 57 que especifica la normativa con un TMN $\frac{3}{4}$ ", dando validez a que el material está gradado de forma adecuada.

Finalmente, de los resultados de los ensayos, el agregado fino presentó una humedad de 2.81%, una absorción de 0.64% y un peso específico de 2.581 gr/cm³; y el agregado grueso una humedad de 0.28%, una absorción de 0.63% y un peso específico de 2.733 gr/cm³. Posteriormente, se elaboraron los diseños de mezclas para cumplir con los objetivos de la investigación.

Es importante mencionar que la norma también indica que, más allá de los resultados específicos obtenidos en los ensayos de los agregados, estos pueden ser utilizados en el diseño de la mezcla siempre y cuando satisfagan los estándares de calidad exigidos.

Tabla 44. Resultados de ensayos de agregados

Propiedad	Agregado	
	Fino	Grueso
Peso específico (gr/cm ³)	2.581	2.733
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1543	1472
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1724	1688
Absorción (%)	0.64	0.63
Módulo de fineza	3.282	-
Tamaño máximo (pulg.)	-	1"
Tamaño máximo nominal (pulg.)	-	3/4"

Fuente: Propia

Ensayos de concreto

La presente tesis propuso elaborar un concreto patrón liviano reemplazando el 40% del volumen de agregado fino, por perlas de poliestireno expandido y posteriormente se analizó el comportamiento de la mezcla al agregar nanoplacas de grafeno en porcentajes de 0.05%, 0.10% y 0.15%, con el fin de mejorar las propiedades del concreto liviano patrón. Se realizaron varios ensayos, incluyendo asentamiento, peso unitario, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, resistencia a la tracción indirecta, módulo de elasticidad y relación de Poisson, para evaluar el impacto de estas adiciones en las propiedades de la mezcla.

En la investigación realizada por Chuquilin Garcia en 2018, se llevó a cabo una comparación de diferentes porcentajes de adición de perlas de poliestireno con el objetivo de determinar las propiedades mecánicas de las mezclas y su viabilidad para su uso en concreto liviano estructural. Los resultados concluyeron que el reemplazo del 40% de agregado fino por poliestireno mostró un mejor comportamiento en comparación con otras adiciones, obteniendo resistencias a la compresión de hasta 246.18 kg/cm². En comparación, los resultados de la presente investigación para la mezcla patrón mostraron un valor promedio de resistencia de 210.30 kg/cm², lo cual representa una disminución de 35.82 kg/cm². Esta reducción en la resistencia se atribuye a las diferencias en las propiedades de los agregados utilizados en el diseño de la mezcla

En otro estudio realizado por V. Apaza y K. Quispe en 2018, se investigó la influencia de los nanotubos de carbono en las propiedades mecánicas del concreto convencional. Concluyeron que el mejor porcentaje de adición de nanotubos de carbono era del 0.10%, lo cual

resultó en un aumento del 13.39% en la resistencia a la compresión, del 13.38% de la resistencia a la tracción y del 9.83% de la resistencia a la flexión de la mezcla patrón.

En el caso de los especímenes con adiciones de 0.05%, 0.10% y 0.15% de nanoplacas en esta tesis, se obtuvieron resultados favorables para las adiciones de 0.05% y 0.10%, a diferencia del 0.15% que mantuvo su resistencia a la compresión con un valor promedio de 210.4 kg/cm² a los 28 días de curado. Las adiciones de 0.05% y 0.10% mostraron un comportamiento creciente en la resistencia, con valores promedios de 214 kg/cm² y 216 kg/cm² respectivamente, lo que representa aumentos del 2% y 3%. El porcentaje de 0.10% mostró el mejor comportamiento, al igual que en el estudio mencionado anteriormente. Sin embargo, las diferencias en los porcentajes de ganancia de resistencia a la compresión se deben a la forma en que se agregaron las nanopartículas a la mezcla. En el estudio de V. Apaza y K. Quispe, se utilizó el método de dispersión de nanotubos por ultrasonido antes de la mezcla de concreto, lo que permitió una mejor interacción molecular y enlaces más resistentes en la mezcla. En contraste, en la presente tesis no se realizó ese ensayo de dispersión, ya que se propuso que el concreto se mezcle in situ en obras civiles.

Es importante destacar que los resultados obtenidos tanto para la mezcla patrón del concreto liviano estructural y sus diferentes adiciones, cumplen con el requisito mínimo de resistencia a la compresión de 210 kg/cm² para su uso en elementos estructurales.

Tabla 45. Resistencias a la compresión promedio de mezcla patrón y adiciones

Edad	Resistencia a la compresión ($f_c = \text{kg/cm}^2$)			
	0.00%	0.05%	0.10%	0.15%
7	146.7	152.78	158.73	149.64
14	174.69	185.24	187.85	178.88
28	210.3	214.12	216.07	210.4

Fuente: Propia

En el caso del ensayo de resistencia a la flexión, se obtuvieron resultados favorables de igual manera, que cumplen con lo establecido en la norma ASTM C78, donde menciona que el módulo de rotura varía de 10% a 20% de la resistencia a la compresión con la que se diseña. La mezcla patrón de concreto liviano, presentó una resistencia a la flexión de 32 kg/cm² que representa el 15.2% de la resistencia a la compresión; y la mejor adición fue de igual manera el porcentaje de 0.10% de adición de nanoplacas, alcanzando una resistencia de 37.6 kg/cm² que representa el 17.9% de la resistencia a la compresión, que a su vez representa un aumento del

17.36% con respecto a la mezcla patrón. Ambos, son resultados favorables que se adecuan a los lineamientos de la normativa y respaldan la posibilidad de ser usados elementos estructurales.

En comparación de los hallazgos de la tesis realizada por V. Apaza y K. Quispe, se presentó una diferencia de resistencia a favor de 7.53%, para la mezcla con adición de nanoplacas adicionadas en 0.10% del peso del cemento.

Tabla 46. Porcentajes de los módulos de rotura para la mezcla de concreto liviano patrón y adiciones

Muestras	Módulo de rotura (kg/cm ²)	Relación MR/f _c (%)
0.00%	32	15.2
0.05%	36.7	17.5
0.10%	37.6	17.9
0.15%	35.3	16.8

Fuente: Propia

En el caso del ensayo de resistencia a la tracción indirecta, se obtuvieron resistencias de 14.92 kg/cm² para la mezcla de patrón liviana, y para el 0.10% de adición de nanoplacas una resistencia de 19.44 kg/cm². La mejor adición presenta un aumento del 30.30%, lo cual es un aumento considerable en la resistencia que valida el uso, tanto de la mezcla patrón como la mezcla con 0.10% de nanoplacas, en elementos estructurales. Por otro lado, en comparación de los resultados de la investigación de V. Apaza y K. Quispe, la tesis presentó una variación del 16.92% a favor, en el aumento de su resistencia a la tracción indirecta.

Para el caso de los ensayos de densidades equilibradas y secas al horno, fueron realizados debido a la que la normativa ASTM C567 recalca que son necesarios para medir la livianidad del concreto en estado endurecido, y de esta forma poder considerar un concreto como liviano. Los hallazgos obtenidos en la investigación, no se ven influenciados por las adiciones de los diferentes porcentajes de nanoplacas, ya que las bajas proporciones en las que se adicionan y su densidad no influye de forma considerable dentro de la mezcla de concreto liviano. La densidad equilibrada promedio obtenida de los ensayos es de 1911.35 kg/m³ y la densidad seca al horno fue de 1858.90 kg/m³; estos resultados se sitúan dentro de los parámetros establecidos por la National Ready Mixed Concrete Association, donde menciona que un concreto liviano estructural presenta como mínimo una densidad equilibrada de 1920 kg/m³ y una densidad de

equilibrio de 1870 kg/m³. Gracias a los resultados favorables de estos ensayos de densidades, se puede confirmar el nombre de “concreto liviano” de la presente investigación, que además por su comportamiento mecánico también se le alude como un “concreto liviano estructural”, ya que cumple con los dos requerimientos mínimos que son la baja densidad y las propiedades mecánicas de un concreto convencional.

Tabla 47. Densidades de equilibrio y secas de mezcla de concreto liviano patrón y adiciones

Muestra	Densidad equilibrada (kg/m³)	Densidad seca al horno (kg/m³)
0.00%	1916	1865
0.05%	1903	1844
0.10%	1913	1863
0.15%	1914	1864

Fuente: Propia

Según la interpretación y la comparativa de cada uno de los datos recopilados más relevantes en la tesis, se puede hacer referencia que el concreto elaborado con el 40% de poliestireno en sustitución del volumen de agregado fino y nanoplacas de grafeno cuenta con las propiedades necesarias para ser catalogado como un concreto liviano estructural.

Conclusiones

Los materiales utilizados en esta investigación fueron seleccionados eficientemente para garantizar la representatividad y calidad de los datos recopilados. Se obtuvieron de distintas fuentes especializadas:

El agregado fino utilizado en el estudio provino de la cantera La Victoria, una fuente reconocida por su calidad y características adecuadas para la elaboración de concretos. Por otro lado, el agregado grueso se obtuvo de la cantera Tres Tomas, la cual proporciona agregados de tamaño adecuado y resistencia necesaria para la mezcla.

Para la adición de poliestireno, se utilizaron perlas suministradas por la distribuidora Iquitos. Estas perlas de poliestireno son reconocidas por su baja densidad y su capacidad para potenciar la característica de ligereza del concreto.

En cuanto a las nanoplacas de grafeno, se obtuvieron de la empresa Jiangsu xfinano Materials Tech, reconocida por su experiencia en la producción de materiales nanoestructurados. Estas nanoplacas de grafeno tienen propiedades mecánicas y eléctricas excepcionales, y se exploró su potencial con el objetivo de potenciar las características estructurales del concreto de baja densidad.

Por último, el cemento utilizado fue de tipo I y de marca Qhuna, seleccionado por su calidad y conformidad con las normas técnicas vigentes. Este tipo de cemento es extensamente empleado en el sector de la edificación y obras civiles; por lo tanto, se considera adecuado para la elaboración de concreto estructural.

En conjunto, estos materiales representan una combinación apropiada para el desarrollo de la investigación, permitiendo analizar de manera precisa los efectos de las adiciones de poliestireno y nanoplacas de grafeno en las propiedades del concreto ligero.

La evaluación de las características de los materiales agregados se realizó de acuerdo con los protocolos establecidos por la norma ASTM, lo cual garantiza la confiabilidad y comparabilidad de los resultados obtenidos. Los resultados de las propiedades físicas de los agregados se ajustaron a los lineamientos normativos establecidos.

Para el agregado fino, se determinó un peso específico de 2.581 gr/cm³, un peso unitario suelto de 1543 kg/m³ y un peso unitario compactado de 1724 kg/m³. El módulo de fineza obtenido fue de 3.282, lo cual indica la distribución de tamaño de las partículas finas en el agregado. Además, se registró una humedad del 2.81% y una absorción del 0.64% para el agregado fino.

En cuanto al agregado grueso, se determinó un peso específico de 2.733 gr/cm³. El peso unitario suelto y compactado fue de 1472 kg/m³ y 1688 kg/m³ respectivamente. El tamaño máximo nominal del agregado grueso fue de ¾". La humedad registrada fue del 0.28% y la absorción del 0.63% para el agregado grueso.

Los resultados obtenidos evidencian que tanto el agregado fino como el agregado grueso satisfacen las propiedades físicas exigidas de acuerdo con la norma ASTM. Estos datos son fundamentales para asegurar una dosificación y diseño adecuados.

Se realizó una modificación en el diseño de mezcla inicial, el cual tenía una resistencia objetivo de 210 kg/cm², siguiendo los procedimientos establecidos en la normativa ACI. Debido a la falta de consistencia observada en los ensayos de asentamiento, se realizó un reajuste por slump que implicó modificar los porcentajes de los agregados. Como resultado, se obtuvo un nuevo diseño de mezcla con la siguiente dosificación en peso: 1:1.39:1.81:0.01/22.98lts y en términos de volumen, la dosificación fue la siguiente: 1:1.36:1.84:0.90/22.98lts.

Para un m³ de concreto elaborado utilizando la muestra patrón liviana, se calculó la cantidad de materiales necesarios: agregado fino 570.52 kg, agregado grueso 739.46 kg, cemento 409.49 kg, agua 221.45 kg, y poliestireno 2.04 kg.

En el caso de la mezcla con el mejor porcentaje de adición, que fue del 0.10%, se incorporó una cantidad de 0.41 kg para un m³ de concreto elaborado.

Estas modificaciones en el diseño de mezcla y las dosificaciones correspondientes permitieron obtener una mezcla de concreto liviano con propiedades adecuadas para su uso en elementos estructurales, cumpliendo con los requisitos establecidos en la investigación.

Se realizaron ensayos no destructivos como parte de la investigación, siguiendo las directrices establecidas en la normativa ASTM C1611. El ensayo de asentamiento arrojó un resultado favorable de 4", lo cual indica que la mezcla es adecuada para su uso en elementos estructurales.

Además, se llevó a cabo el ensayo de peso unitario siguiendo los lineamientos de la normativa ASTM C138. En este ensayo, se registró un valor promedio de 2124.3 kg/m³ para la mezcla de concreto liviano, en comparación con el rango típico de 2200 kg/m³ a 2400 kg/m³ para el concreto convencional. Estos resultados validan la consistencia y livianidad de la mezcla, asegurando que cumple con las normativas vigentes.

Los ensayos no destructivos realizados proporcionan evidencia sólida de que la mezcla de concreto liviano desarrollada en esta investigación satisface los criterios establecidos de asentamiento y peso unitario estipulados en las normativas, lo que respalda su idoneidad para ser utilizado en elementos estructurales.

Se llevaron a cabo ensayos destructivos siguiendo la normativa ASTM C39 para evaluar la resistencia a la compresión del concreto liviano con diferentes adiciones de nanoplacas de grafeno, incluyendo el concreto patrón. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: para el concreto patrón, se registró una resistencia a la compresión de 210.3 kg/cm², mientras que para las adiciones de 0.05%, 0.10% y 0.15% se obtuvieron valores de 214.12 kg/cm², 216.07 kg/cm² y 210.4 kg/cm², respectivamente. Estos resultados cumplen con los requisitos mínimos de resistencia para un concreto estructural.

En relación al ensayo de resistencia a la flexión, se siguieron los lineamientos de la normativa ASTM C78. Los valores obtenidos para el concreto patrón y las adiciones de nanoplacas de grafeno fueron los siguientes: 32 kg/cm², 36.67 kg/cm², 37.56 kg/cm² y 35.33 kg/cm², respectivamente. Estos valores se encuentran dentro del rango del 10% al 20% de la resistencia a la compresión especificada en la norma.

Además, se realizó el ensayo de resistencia a la tracción siguiendo la normativa ASTM C496. Los resultados obtenidos fueron de 14.92 kg/cm², 17.63 kg/cm², 19.44 kg/cm² y 15.7 kg/cm² para el concreto patrón y las adiciones de 0.05%, 0.10% y 0.15%, respectivamente.

Para los ensayos de densidad seca al horno y densidad equilibrada, se aplicaron los procedimientos de la normativa ASTM C567. Los resultados registrados para el concreto patrón y las adiciones de nanoplacas de grafeno fueron los siguientes: 1865.07 kg/m³, 1844.02 kg/m³, 1862.65 kg/m³ y 1863.90 kg/m³ para la densidad seca al horno, y 1916.13 kg/m³, 1902.54 kg/m³, 1912.83 kg/m³ y 1913.91 kg/m³ para la densidad equilibrada, respectivamente. Estos valores se encuentran por debajo de los límites establecidos por la National Ready Mixed Concrete Association.

En cuanto al ensayo de módulo de elasticidad, se siguieron las directrices de la normativa ASTM C469. Los resultados obtenidos para el concreto patrón y las adiciones de nanoplacas de grafeno fueron los siguientes: 242626 kg/cm², 249794 kg/cm², 259088 kg/cm² y 242242 kg/cm², respectivamente. Estos valores cumplen con el cálculo teórico del módulo de elasticidad para un concreto de 210 kg/cm², con un módulo de elasticidad de 217370 kg/cm² según la norma.

Finalmente, se realizó el ensayo de relación de Poisson siguiendo la normativa ASTM C469. Los resultados obtenidos fueron de 0.03108, 0.03113, 0.03533 y 0.03104 para el concreto patrón

En relación al costo de producción, se concluye que el concreto liviano con la adición óptima del 0.10% de nanoplacas presenta un incremento del 130.27% en comparación con la mezcla patrón, lo que lo hace inviable para obras civiles convencionales. El aumento en las propiedades no justifica el nuevo costo por metro cúbico de concreto liviano, lo que indica que la adición directa de nanoplacas de grafeno en la mezcla no presenta una relación costo-beneficio adecuada.

Por otro lado, el concreto liviano patrón cumple con todos los requisitos establecidos por las normativas para ser considerado un concreto liviano estructural, y su costo de fabricación por metro cúbico es más bajo. Basándonos en estos hallazgos, llegamos a la conclusión de que el concreto patrón sigue siendo la mejor alternativa para construcciones donde se requiera la utilización de estructuras livianas

El proceso de fabricación del concreto liviano se llevó a cabo siguiendo las recomendaciones de la normativa ASTM, adaptándola a la mezcla liviana con poliestireno y nanoplacas de grafeno, utilizando los siguientes pasos:

- Se realizaron las mediciones de los insumos que intervienen en la mezcla, según el diseño previo.
- Se humedeció la mezcladora con una cantidad adecuada de agua, la cual fue expulsada después de 1 minuto. Este procedimiento evita que la mezcladora absorba agua de la mezcla.
- Se añadió la piedra a la mezcladora durante 30 segundos para homogeneizar la granulometría.
- La mitad del agua de diseño se agregó junto con el cemento y las nanoplacas para lograr una mejor dispersión en toda la mezcla durante 30 segundos adicionales.
- Finalmente, se incorporó la arena gruesa junto con el poliestireno, y se mezcló con la mitad restante del agua de diseño durante 4 minutos.

Una vez finalizado el proceso de mezclado, se realizó el ensayo para verificar la consistencia del concreto liviano, asegurando que presentara un slump de 4" como se estableció en los resultados del informe.

Por último, el concreto liviano puede ser vertido en los elementos estructurales de la misma manera que el concreto convencional, utilizando los instrumentos adecuados para cada tipo de elemento.

En resumen, los resultados de los ensayos de laboratorio realizados en el marco de esta investigación indican que se logró desarrollar un concreto liviano estructural al sustituir el 40% del volumen de agregado fino por poliestireno expandido y agregar nanoplacas de grafeno en un 0.10%. Esta combinación resultó en un aumento significativo de las propiedades del concreto.

Sin embargo, al considerar el costo de fabricación, se concluye que el concreto liviano patrón es más adecuado para las necesidades actuales de las obras civiles. Aunque la mezcla con adiciones mostró mejoras en las propiedades, el incremento en el costo de producción no justifica su utilización en obras convencionales.

En general, esta investigación ha demostrado la viabilidad de producir un concreto liviano estructural con características mejoradas mediante la adición de perlas de poliestireno y nanoplacas de grafeno. Estos hallazgos contribuyen al conocimiento En el ámbito de la tecnología del hormigón y pueden ser útiles para futuros estudios.

Recomendaciones

Se sugiere realizar una evaluación de las alteraciones en las características de la mezcla de concreto liviano, utilizando un método de dispersión antes de añadir las nanoplacas de grafeno hacia la mezcla.

Se sugiere emplear el concreto estructural liviano, el cual implica la sustitución del 40% del volumen del agregado fino por poliestireno. Esta mezcla cumple con los criterios establecidos en las normas mencionadas previamente en el estudio y resulta más costeable en comparación con el concreto que incluye nanoplacas de grafeno como adición.

Se sugiere realizar el concreto liviano estructural con poliestireno reciclado proveniente de construcciones, para impactar positivamente en la reducción de los RSCD de las obras civiles y no generar mayor impacto ambiental.

Se recomienda realizar ensayos que puedan aportar más antecedente beneficiosos a la investigación sobre este tipo de concreto con poliestireno, que ayuden a medir la permeabilidad, resistencia al fuego, resistencia a agentes externos (sales, sulfatos, etc.), aislamiento acústico, entre otros.

Se recomienda continuar con las investigaciones sobre los materiales que puedan aportar mejores propiedades a las mezclas de concretos livianos, que no sean costosos para de esa forma puedan ser considerados para una futura utilización dentro de los campos ingenieriles.

Referencias

- [1] V. Yepes Piqueras. “¿Qué aportó el antiguo Egipto a la ingeniería?”. PoliBlogs. <https://victoryepes.blogs.upv.es/2014/07/02/aportacion-antiguo-egipto-ingenieria/> (acceso 16 de mayo 2022).
- [2] D. Osorio. “Historia del concreto y del cemento”. Argos. <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/historia-del-concreto-y-del-cemento> (acceso 16 de mayo 2022).
- [3] J. Ramírez Morales, “Concreto liviano de alta resistencia empleando nanosílice y puzolana natural en el Perú”, Tesis de pregrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Federico Villareal, Lima, Perú, 2018. [En Línea]. Disponible en: <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/2618>
- [4] T. Bremmer. “Concreto liviano mejora la sismorresistencia”. El Comercio. <https://www.elcomercio.com/tendencias/construir/concreto-liviano-mejora-sismorresistencia.html#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%2C%20en%20esencia%2C,pero%20va%20a%20ser%20liviano>. (acceso 16 de mayo 2022).
- [5] L. Valdez y G. Suarez, “Hormigones livianos”, Tesis de pregrado, Facultad de Ingeniería y ciencias de la tierra, Escuela superior de Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador, 2010. [En Línea]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10620/1/Hormigones%20livianos%20%28%20Luis%20Valdez-Gabriel%20Suarez%29.pdf>
- [6] A. Veliz y J. Vásquez, “Obtención de concreto ligero estructural mediante el uso de aditivos”, Tesis de pregrado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú, 2018. [En Línea]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5719>
- [7] J. Chuquilin, “Influencia del porcentaje de perlas de poliestireno sobre peso unitario, resistencia a la compresión y asentamiento en un concreto liviano estructural para losas aligeradas, Trujillo 2018”, Tesis de pregrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú, 2018. [En Línea]. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14821>
- [8] E. Grinder. “Nanotecnología, la nueva tendencia del concreto”. Grinder Pisos Industriales. <https://grinder.cl/grinder-nanotecnologia/#:~:text=El%20concreto%20puede%20ser%20nano,aditivos%20para%20aportar%20nuevas%20funcionalidades>. (acceso 17 mayo 2022).

[9] Ocsial. “Los ámbitos de aplicación potenciales de TUBALL abarcan hasta el 50% del mercado global de materiales”. <https://ocsial.com/es/nanotubes/> (acceso 17 mayo 2022).

[10] S. Kumar, Z. Rudzionis et all. “Effects of carbon nanotubes on expanded glass and silica aerogel based lightweight concrete”. Scientific Reports. <https://www.nature.com/articles/s41598-021-81665-y.pdf?origin=ppub>

[11] S. Kumar Adhikary y D. Kumar Ashish, “Turning waste expanded polystyrene into lightweight aggregate: Towards sustainable construction industry”, Tesis de pregrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica de Kaunas, Elsevier Science, Kaunas, 2022. [En Línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3amR9Xu>

[12] S. Jalali, H. Pesaran, M. Shahpari y R. Abacian, “The effect of carbon nanotubes on mechanical properties of structural lightweight concrete using LECA aggregates”, en *Structures*, Volumen 35. Estados Unidos: Elsevier Science, 2022, 1204-1218. [En Línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3bPC8Od>

[13] B. Chujutally, “Evaluación de la influencia del grafeno como aditivo nanotecnológico para mejorar la resistencia del concreto f'c 210 kg/cm², Tarapoto”, Tesis de pregrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Cesar Vallejo, Tarapoto, Perú, 2018. [En Línea]. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/39521/Bartra_CDE.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[14] V. Apaza y K. Quispe, “Mejoramiento de propiedades mecánicas del concreto con adición de nanotubos de carbono”, Tesis de pregrado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú, 2018. [En Línea]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4772>

[15] M. Oblitas, “Influencia de la fibra de poliestireno en las propiedades físicas y mecánicas del concreto para una resistencia de 210 y 280 kg/cm²”, Tesis de pregrado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Señor de Sipán, Lambayeque, Perú, 2020. [En Línea]. Disponible en: <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/8883>

[16] J. Porrero, J. Grases, C. Ramos y G. Velazco, “*Manual del concreto estructural*”, 1era ed. Caracas (Venezuela): Miguel Angel, 2014.

[17] Norma Técnica peruana 400.37 (NTP), “*Especificaciones normalizadas para agregados de concreto*”, Indecopi, Lima, 2014.

[18] G. Aramayo, V. Bunguga, M. Cahuapé, F. Forgione y A. Navarrete, “Hormigón con agregados livianos”, Informe Técnico, Dpto. de mecánica aplicada y estructuras, Universidad Nacional de Rosario, Guayaquil, Ecuador, 2003. [En Línea]. Disponible en:

<https://www.fceia.unr.edu.ar/materialescivil/Monografias/03.01.03-Hormigones%20con%20Agregados%20Livianos.PDF>

[19] M. Liyuma y B. Zhunio, “Influencia de las perlas de poliestireno expandido (EPS) en el peso y en la resistencia a compresión del hormigón”, Tesis de pregrado, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2015. [En Línea]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23112>

[20] G. Naiza, “Aplicación del poliestireno expandido en la fabricación de unidades de concreto liviano para muros de tabiquería en la ciudad de Arequipa”, Tesis de pregrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú, 2017. [En Línea]. Disponible en: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCSM_42ac9f1e6092f925623b380ad814f78d

[21] D. Sánchez, “*Tecnología del concreto y del mortero*”, 5ta ed. Bogotá (Colombia): Bhandar Editores, 2001.

[22] G. Rivera, “Tecnología Concreto y Mortero”, Informe técnico, Facultad de Ingeniería, Universidad del Cauca, Cauca, Colombia, 2010. [En Línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/25800481/Tecnologia_Concreto_y_Mortero_Rivera

[23] Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. “Poliestireno en la fabricación de concreto”. Construcción y Tecnología en concreto. <http://www.revistacyt.com.mx/pdf/diciembre2013/posibilidades.pdf> (acceso 20 mayo 2022).

[24] J. Duchitanga. “Nanotecnología en la construcción”. Monografías. [Nanotecnología en la Construcción \(monografias.com\)](http://www.monografias.com) (acceso 22 mayo 2022)

[25] L. Cornejo. “Aplicaciones de la nanotecnología a la industria de la construcción”. Nuevas Tecnologías y Materiales. [Aplicaciones de la nanotecnología a la industria de la construcción - Nuevas Tecnologías y Materiales \(nuevastecnologiasymateriales.com\)](http://www.nuevastecnologiasymateriales.com) (acceso 22 mayo 2022).

Anexos

Gráfico 6. Declaración jurada de duplicidad


DECLARACIÓN JURADA

Yo, **BURGA LÓPEZ WALTER JESUS**, de nacionalidad peruana; con documento nacional de identidad N° 71573987, domiciliado en la provincia de Chiclayo Calle Francisco Ugaz #130 - P. Joven Suazo, estudiante de Ingeniería Civil Ambiental de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, del curso de Proyecto de Tesis- Ciclo académico 2021-II DECLARO BAJO JURAMENTO que:


Verifiqué la no duplicidad del proyecto de tesis titulado: **Elaboración de concretos livianos estructurales mediante el uso de nanotubos y poliestireno al 40% como reemplazo del agregado fino**, de verificarse que si existe el tema antes mencionado me pongo a plena disposición para las sanciones emitidas por la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo según corresponda.

La verificación de la no duplicidad se realizó en la medida que se pudo por la coyuntura nacional debido al Covid19.

Chiclayo, 06 de julio del 2022.



(firma)


Huella
Dactilar

Anexo 1. Peso arena para granulometria



Anexo 2. Peso piedra para granulometria



Anexo 3. Secado al horno de agregados



Anexo 4. Tamices para agregado grueso



Anexo 5. Oreado de agregado grueso



Anexo 6. Arena seca al horno



Anexo 7. *Peso agregado grueso humedo*



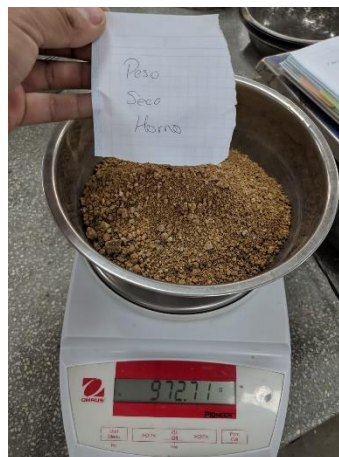
Anexo 8. *Arena para ensayo de peso específico*



Anexo 9. *Peso fiola, arena y agua*



Anexo 10. *Peso arena seca al horno*



Anexo 11. *Peso piedra seca al horno*



Anexo 12. *Peso poliestireno en 1 l*



Anexo 13. *Peso moldes para pesos unitarios*



Anexo 14. *Canastilla para peso específico*



Anexo 15. *Proporciones de nanoplacas*



Anexo 16. *Peso nanoplacas para mezcla de 0.05%*



Anexo 17. *Peso nanoplacas para mezcla de 0.10%*



Anexo 18. *Peso nanoplacas para mezcla de 0.15%*



Anexo 19. *Proporciones de mezcla con nanoplacas*



Anexo 20. *Incorporación de nanoplacas en cemento*



Anexo 21. *Mezcla de concreto liviano*



Anexo 22. *Vaciado de mezclas de concreto liviano*



Anexo 23. *Vaciado de mezcla de concreto liviano con adiciones*



Anexo 24. *Delmolde de especímenes de concreto*



Anexo 25. Curado de especímenes de concreto



Anexo 26. Slump de concreto liviano patrón



Anexo 27. Slump de concreto liviano con 0.05% nanoplastas



Anexo 28. Slump de concreto liviano con 0.10% de nanoplastas



Anexo 29. Peso unitario de concreto patrón liviano en estado fresco



Anexo 30. Peso unitario de concreto con 0.05% de nanoplastas en estado fresco



Anexo 31. *Peso unitario de concreto liviano con 0.10% de nanoplacas en estado fresco*



Anexo 32. *Peso unitario de concreto liviano con 0.15% de nanoplacas en estado fresco*



Anexo 33. *Resistencia a la compresión a los 7 días de concreto liviano patrón (144 kg/cm²)*



Anexo 34. *Resistencia a la compresión a los 7 días de concreto liviano con 0.05% de nanoplacas (143 kg/cm²)*



Anexo 35. *Resistencia a la compresión de concreto liviano a los 7 días con 0.10% de nanoplacas (158 kg/cm²)*



Anexo 36. *Resistencia a la compresión de concreto liviano a los 7 días con 0.15% de nanoplacas (139 kg/cm²)*



Anexo 37. Resistencia a la compresión a los 14 días de concreto liviano patrón (170 kg/cm²)



Anexo 38. Resistencia a la compresión a los 14 días de concreto liviano con 0.05% de nanoplacas (174 kg/cm²)



Anexo 39. Resistencia a la compresión de concreto liviano a los 14 días con 0.10% de nanoplacas (194 kg/cm²)



Anexo 40. Resistencia a la compresión de concreto liviano a los 14 días con 0.15% de nanoplacas (166 kg/cm²)



Anexo 41. Resistencia a la compresión a los 28 días de concreto liviano patrón (210 kg/cm²)



Anexo 42. Resistencia a la compresión a los 28 días de concreto liviano con 0.05% de nanoplacas (214 kg/cm²)



Anexo 43. Resistencia a la compresión de concreto liviano a los 28 días con 0.10% de nanoplacas (214 kg/cm²)



Anexo 44. Resistencia a la compresión de concreto liviano a los 28 días con 0.15% de nanoplacas (209 kg/cm²)



Anexo 45. Resistencia a la tracción a los 28 días de concreto liviano patrón (14 kg/cm²)



Anexo 46. Resistencia a la tracción a los 28 días de concreto liviano con 0.05% de nanoplacas (18 kg/cm²)



Anexo 47. Resistencia a la tracción de concreto liviano a los 28 días con 0.10% de nanoplacas (19 kg/cm²)



Anexo 48. Resistencia a la tracción de concreto liviano a los 28 días con 0.15% de nanoplacas (16 kg/cm²)



Anexo 49. Módulo de rotura a los 28 días de concreto liviano patrón (30 kg/cm²)



Anexo 50. Módulo de rotura a los 28 días de concreto liviano con 0.05% de nanoplacas (37 kg/cm²)



Anexo 51. Módulo de rotura a los 28 días de concreto liviano con 0.10% de nanoplacas (39 kg/cm²)



Anexo 52. Módulo de rotura a los 28 días de concreto liviano con 0.15% de nanoplacas (34 kg/cm²)



Anexo 53. Acondicionamiento para ensayos de densidad equilibrada y seca



Anexo 54. Peso de cilindro sumergido con adición de 0.05% de nanoplacas (5.45 kg)



Anexo 55. *Peso de cilindro sumergido con adición de 0.15% de nanoplacas (5.54 kg)*



Anexo 56. *Peso de cilindro patrón sumergido (5.69 kg)*



Anexo 57. *Peso cilindro patrón saturado superficialmente seco (11.15 kg)*



Anexo 58. *Peso cilindro con 0.05% de nanoplacas saturado superficialmente seco (10.98 kg)*



Anexo 59. *Peso cilindro con 0.05% de nanoplacas seco al horno (10.04 kg)*



Anexo 60. *Rotura de viga de concreto liviano con adición de 0.15% de nanoplacas*



Anexo 61. Rotura de viga de concreto liviano con adición de 0.10% de nanoplacas



Anexo 62. Rotura de viga de concreto liviano patrón



Anexo 63. Rotura de viga de concreto liviano con adición de 0.05% de nanoplacas



Anexo 64. Rotura de cilindros por tracción de concreto liviano con 0.15% de nanoplacas



Anexo 65. Rotura de cilindros por tracción de concreto liviano con 0.10% de nanoplacas



Anexo 66. Rotura de cilindros por tracción de concreto liviano con 0.05% de nanoplacas



Anexo 67. Rotura de cilindros por tracción de concreto liviano patrón



Anexo 68. Rotura de cilindros por compresión de concreto liviano patrón



Anexo 69. Deformación trasversal y longitudinal de concreto liviano patrón



Anexo 70. Deformación trasversal y longitudinal de concreto liviano con 0.05% de nanoplacas



Anexo 71. Deformación trasversal y longitudinal de concreto liviano con 0.10% de nanoplacas



Anexo 72. Deformación trasversal y longitudinal de concreto liviano con 0.15% de nanoplacas



Anexo 73. Validación de ensayos de laboratorio



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIENTOS

INFORME N° LEM USAT 062-2023

FECHA: 14 de Junio 2023

Validación de Ensayos de Laboratorio

ESTUDIANTE: WALTER JESÚS BURGA LÓPEZ

TITULO DE LA TESIS: Elaboración de concretos livianos estructurales mediante el uso de nanoplacas y poliestireno al 40% como reemplazo del agregado fino.

El que suscribe, responsable del laboratorio de ingeniería Civil ambiental, verifica y da conformidad que los siguientes ensayos de laboratorio realizado por el indicado estudiante se han efectuado en las instalaciones de la USAT, asimismo valida los ensayos realizados fuera de nuestras instalaciones siempre que no se puedan realizar en esta universidad:

Universidad Santo Toribio de Mogrovejo

Propiedades físicas del Agregado Fino

- Granulometría
- Peso unitario
- Contenido de humedad
- Peso específico y absorción

Propiedades físicas del Agregado Grueso

- Granulometría
- Peso unitario
- Contenido de humedad
- Peso específico y absorción

Propiedades físicas de poliestireno

- Densidad

Propiedades del concreto con poliestireno

- Consistencia
- Peso unitario
- Resistencia a la compresión
- Resistencia a la flexión
- Resistencia a la tracción
- Densidad seca y equilibrada

Propiedades del concreto con poliestireno y adición de nanoplacas de grafeno

- Consistencia
- Peso unitario
- Resistencia a la compresión
- Resistencia a la flexión
- Resistencia a la tracción
- Densidad seca y equilibrada



Laboratorio de ensayos de materiales "Fermati"

- Módulo de elasticidad y relación de Poisson

Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.

Henry Rivadeneyra Oblitas
Responsable de Lab Ing. Civil Ambiental



Anexo 74. Ensayo de granulometría de agregado fino



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



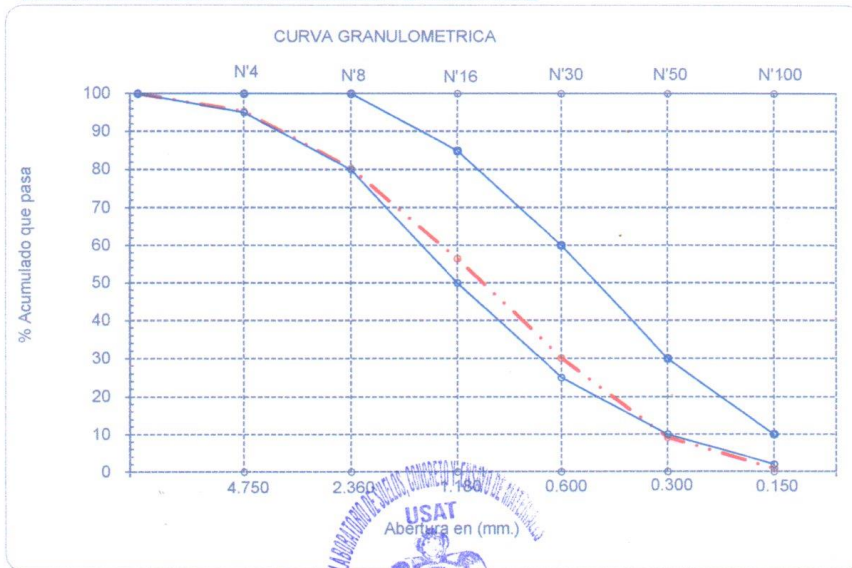
Tesista : Burga López Walter
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Elaboración de concretos livianos estructurales mediante el uso de nanoplacas y poliestireno al 40% como reemplazo del agregado fino
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 10 de Agosto del 2022

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

Cantera : Arena Amarilla - Cantera La Victoria-Pátapo. **P. Inicial H.** 1000.0 **% de Humedad =** 2.81 **Módulo de Fineza:** 3.28
P. Inicial S. 972.7

Malla		Peso Ret.	(%) Ret.	(%) Acum. Ret.	(%) Acum. Que Pasa	Especificaciones:	
Pulg.	(mm.)						
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	0	0.0	0.0	100.0	100	100
Nº 04	4.750	46.61	4.8	4.8	95.2	95	100
Nº 08	2.360	145.35	14.9	19.7	80.3	80	100
Nº 16	1.180	232.21	23.9	43.6	56.4	50	85
Nº 30	0.600	256.31	26.4	70.0	30.0	25	60
Nº 50	0.300	203.36	20.9	90.9	9.1	10	30
Nº 100	0.150	81.6	8.4	99.2	0.8	2	10
Fondo		7.31	0.8	100.0	0.0		

Módulo de Fineza 3.282
 Abertura de malla de referencia 9.500



W. Burga López

Anexo 75. Ensayo de granulometría de agregado fino



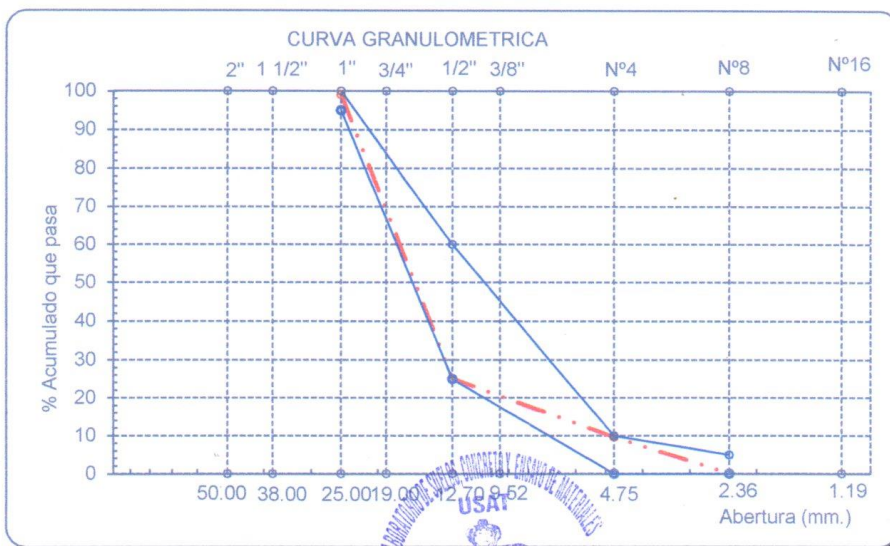
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERILES



Tesista : Burga López Walter
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Elaboración de concretos livianos estructurales mediante el uso de nanoplacas y poliestireno al 40% como reemplazo del agregado fino
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 10 de Agosto del 2022
Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso
Referencia : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

Cantera : Piedra Chancada - Tres Tomas **P. Inicial H.** 5000 **% de**
P. Inicial S. 4986 **Humedad =** 0.28

Malla		Peso Ret.	(% Ret.)	(% Acum. Ret.)	(% Acum. Que Pasa)	Especificaciones USO 56	
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	100.0	100.0
1"	25.00	49.0	1.0	1.0	99.0	90.0	100.0
3/4"	19.00	885.0	17.7	18.7	81.3	40.0	85.0
1/2"	12.70	2801.0	56.2	74.9	25.1	10.0	40.0
3/8"	9.52	772.0	15.5	90.4	9.6	0.0	15.0
Nº 04	4.75	479.0	9.6	100.0	0.0	0.0	5.0
Nº 08	2.36	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
Nº 16	1.19	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
Fondo		0	0.0	100.0	0.0		
Tamaño Maximo			1"	38.00			
Tamaño Maximo Nominal			3/4"	25.00			



USAT
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERILES
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Burga L.

Anexo 76. Contenido de humedad de agregado fino y grueso



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



Tesista : Burga López Walter
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Elaboración de concretos livianos estructurales mediante el uso de nanoplacas y poliestireno al 40% como reemplazo del agregado fino

Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 10 de Agosto del 2022

Ensayo : Contenido de humedad del agregado fino
Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Cantera : Arena Amarilla - Cantera La Victoria-Pátapo.

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	1000	1000
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	972.7	972.7
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	2.81	2.81
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	2.81	

Ensayo : Contenido de humedad del agregado grueso
Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Cantera : Piedra Chancada - Tres Tomas

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	5000	5000
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	4986	4986
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.3	0.3
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.28	



Burga López

Anexo 77. Peso específico y absorción de agregados



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



Tesista : Burga López Walter
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Elaboración de concretos livianos estructurales mediante el uso de nanoplacas y poliestireno al 40% como reemplazo del agregado fino

Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.

Fecha de emisión : Chiclayo, 10 de Agosto del 2022

Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado fino

Referencia : Norma ASTM C-128 ó N.T.P. 400.022

Cantera : Arena Amarilla - Cantera La Victoria-Pátapo.

I.- Datos.

1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + F	(g)	949.2	949.2
2.- Pesc. Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	641.7	641.7
3.- Peso del Agua	(g)	307.5	307.5
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasco	(g)	638.5	638.5
5.- Peso del Frasco	(g)	141.7	141.7
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	497	497
7.- Volumen del frasco	(g)	500	500

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.581
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.597
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.624
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.64

Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado grueso

Referencia : Norma ASTM C-127 ó N.T.P. 400.021

Cantera : Piedra Chancada - Tres Tomas

I.- Datos.

1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	2842	2842
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	2860	2860
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso del ca	(g)	2700	2700
4.- Peso de la canastilla	(g)	880	880
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	1820	1820

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.733
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.750
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.781
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.63



Burga L.

Anexo 78. Pesos unitarios de agregado fino



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



Tesista : Burga López Walter
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Elaboración de concretos livianos estructurales mediante el uso de nanoplacas y poliestireno al 40% como reemplazo del agregado fino
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 10 de Agosto del 2022

Ensayo : Peso unitario del agregado fino
Referencia : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

Canetra : Arena Amarilla - Cantera La Victoria-Pátapo.

1.- PESO UNITARIO SUELTO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	8412	8402
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		8412	8402
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00530	0.00530
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m ³)	1587	1585
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m ³)	1543	

2.- PESO UNITARIO COMPACTADO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	9392	9402
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		9392	9402
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00530	0.00530
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m ³)	1772	1773
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m ³)	1724	

Ensayo : Contenido de humedad del agregado fino
Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

C.- CONTENIDO DE HUMEDAD

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	1000	1000
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	972.7	972.7
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0.0
D.- Contenido de humedad	(%)	2.8	2.8
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	2.81	



Burga López

Anexo 79. Pesos unitarios de agregado grueso



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



Tesista : Burga López Walter
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Elaboración de concretos livianos estructurales mediante el uso de nanoplacas y poliestireno al 40% como reemplazo del agregado fino

Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.

Fecha de emisión : Chiclayo, 10 de Agosto del 2022

Ensayo : Peso unitario del agregado grueso

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

Cantera : Piedra Chancada - Tres Tomas

A.- PESO UNITARIO SUELTO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	7832	7822
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		7832	7822
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00530	0.00530
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m ³)	1477	1475
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m ³)	1472	

B.- PESO UNITARIO COMPACTADO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	8972	8972
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		8972.0	8972.0
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00530	0.00530
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m ³)	1692	1692
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m ³)	1688	

Ensayo : Contenido de humedad del agregado grueso

Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

C.- CONTENIDO DE HUMEDAD

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	5000	5000
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	4986	4986
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.3	0.3
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.28	



W. Burga L.

Anexo 80. Diseño de mezcla de concreto liviano patrón



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



Pag. 2 de 2

Expediente N° : Burga López Walter
 Peticionario : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
 Obra : Elaboración de concretos livianos estructurales mediante el uso de nanoplacas y poliestireno al 40% como reemplazo del agregado fino
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 10 de Agosto del 2022

DISEÑO DE MEZCLA FINAL PARA PLACAS $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Resultados del diseño de mezcla :

Asentamiento obtenido : 4 Pulgadas
 Peso unitario del concreto fresco : 2124 Kg/m^3
 Resistencia promedio a los 7 días : 147 Kg/cm^2
 Porcentaje promedio a los 7 días : 70 %
 Resistencia promedio a los 28 días : 210 Kg/cm^2
 Porcentaje promedio a los 28 días : 100 %
 Factor cemento por M^3 de concreto : 9.6 bolsas/m^3
 Relación agua cemento de diseño : 0.541

Cantidad de materiales por metro cúbico :

Cemento	409 Kg/m^3	: Cemento Qhuna Pórtland tipo I				
Agua	221 L	: Agua Potable de la Zona.				
Agregado fino	571 Kg/m^3	: Arena Amarilla - Cantera La Victoria-Pátapo.				
Agregado grueso	739 Kg/m^3	: Piedra Chancada - Tres Tomas				
Poliestireno	2 Kg/m^3	: Empresa "IQUITOS"				
Proporción en peso :	Cemento	Arena	Piedra	Poliest.	Agua	Lts/pe ³
	1.00	1.39	1.81	0.01	23.0	Lts/pe ³
Proporción en volumen :	1.00	1.36	1.84	0.90	23.0	Lts/pe ³



Burga López

Anexo 81. Resumen de resultados de ensayos de agregados y diseño de mezcla



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



Pag. 1 de 2

Tesista : Burga López Walter
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Elaboración de concretos livianos estructurales mediante el uso de nanoplacas y poliestireno al 40%
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 10 de Agosto del 2022

DISEÑO DE MEZCLA FINAL PARA PLACAS $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

CEMENTO:

- 1.- Tipo de cemento : Cemento Qhuna Pórtland tipo I
- 2.- Peso específico : 3150 Kg/m³

AGREGADOS :

Agregado fino :

- Cantera : Arena Amarilla - Cantera La Victoria-Pátapo.
- 1.- Peso específico de masa 2.581 gr/cm³
 - 2.- Peso específico de masa S.S.S. 2.597403 gr/cm³
 - 3.- Peso unitario suelto 1543 Kg/m³
 - 4.- Peso unitario compactado 1724 Kg/m³
 - 5.- % de absorción 0.6 %
 - 6.- Contenido de humedad 2.8 %
 - 7.- Módulo de fineza 3.282

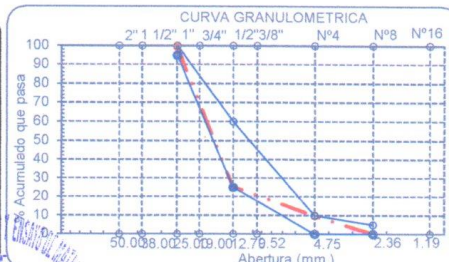
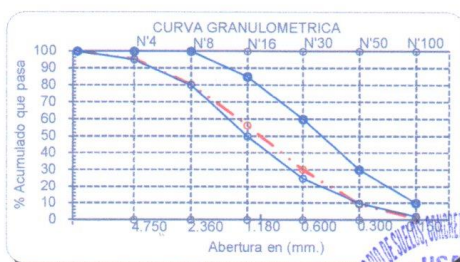
Agregado grueso :

- Cantera : Piedra Chancada - Tres Tomas
- 1.- Peso específico de masa 2.733 gr/cm³
 - 2.- Peso específico de masa S.S.S. 2.750 gr/cm³
 - 3.- Peso unitario suelto 1472 Kg/m³
 - 4.- Peso unitario compactado 1688 Kg/m³
 - 5.- % de absorción 0.6 %
 - 6.- Contenido de humedad 0.3 %
 - 7.- Tamaño máximo 1" Pulg.
 - 8.- Tamaño máximo nominal 3/4" Pulg.

Granulometría :

Malla	% Retenido	% Acumulado que pasa
3/8"	0.0	100.0
Nº 04	4.8	95.2
Nº 08	14.9	80.3
Nº 16	23.9	56.4
Nº 30	26.4	30.0
Nº 50	20.9	9.1
Nº 100	8.4	0.8
Fondo	0.8	0.0

Malla	% Retenido	% Acumulado que pasa
2"	0.0	100.0
1 1/2"	0.0	100.0
1"	1.0	99.0
3/4"	17.7	81.3
1/2"	56.2	25.1
3/8"	15.5	9.6
Nº 04	9.6	0.0
Nº 08	0.0	0.0
Nº 16	0.0	0.0
Fondo	0.0	0.0



USAT
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
 TECNICO DE LABORATORIO

Burga López

Anexo 82. Resistencia a la compresión de concreto liviano patrón



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Burga López Walter
 Atención : Laboratorio de tecnología del concreto (USAT)
 Tesis : Elaboración de concretos livianos estructurales mediante el uso de nanoplacas y poliestireno al 40% como reemplazo del agregado fino
 Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 15 de Noviembre del 2022

Código : N.T.P. 339.034 - 2008 / ASTM C-39/39M - 05
 Título : HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas

Muestra N°	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Dias	f _c kg/cm ²
01	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm2 + 0% DE NANOPLACAS	18/10/2022	25/10/2022	7	144
02	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm2 + 0% DE NANOPLACAS	18/10/2022	25/10/2022	7	149
03	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm2 + 0% DE NANOPLACAS	18/10/2022	01/11/2022	14	170
04	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm2 + 0% DE NANOPLACAS	18/10/2022	01/11/2022	14	179
05	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm2 + 0% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	210
06	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm2 + 0% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	210

OBSERVACIONES :

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



W Burga L.

Anexo 83. Resistencia a la compresión de concreto liviano con 0.05% de nanoplacas



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Burga López Walter
Atención : Laboratorio de tecnología del concreto (USAT)
Tesis : Elaboración de concretos livianos estructurales mediante el uso de nanoplacas y poliestireno al 40% como reemplazo del agregado fino
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 15 de Noviembre del 2022

Código : N.T.P. 339.034 - 2008 / ASTM C-39/39M - 05

Título : HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas

Muestra N°	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Dias	f _c kg/cm ²
01	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.05% DE NANOPLACAS	18/10/2022	25/10/2022	7	162
02	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.05% DE NANOPLACAS	18/10/2022	25/10/2022	7	143
03	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.05% DE NANOPLACAS	18/10/2022	01/11/2022	14	174
04	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.05% DE NANOPLACAS	18/10/2022	01/11/2022	14	196
05	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.05% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	214
06	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.05% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	214

OBSERVACIONES :

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



W. Burga López

Anexo 84. Resistencia a la compresión de concreto liviano con 0.10% de nanoplacas



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Burga López Walter
Atención : Laboratorio de tecnología del concreto (USAT)
Tesis : Elaboración de concretos livianos estructurales mediante el uso de nanoplacas y poliestireno al 40% como reemplazo del agregado fino
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 15 de Noviembre del 2022

Código : N.T.P. 339.034 - 2008 / ASTM C-39/39M - 05

Título : HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas

Muestra N°	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Dias	f _c kg/cm ²
01	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.10% DE NANOPLACAS	18/10/2022	25/10/2022	7	160
02	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.10% DE NANOPLACAS	18/10/2022	25/10/2022	7	158
03	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.10% DE NANOPLACAS	18/10/2022	01/11/2022	14	194
04	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.10% DE NANOPLACAS	18/10/2022	01/11/2022	14	182
05	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.10% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	219
06	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.10% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	214

OBSERVACIONES :

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



W Burga

Anexo 85. Resistencia a la compresión de concreto liviano con 0.15% de nanoplacas



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Burga López Walter
Atención : Laboratorio de tecnología del concreto (USAT)
Tesis : Elaboración de concretos livianos estructurales mediante el uso de nanoplacas y poliestireno al 40% como reemplazo del agregado fino
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 15 de Noviembre del 2022

Código : N.T.P. 339.034 - 2008 / ASTM C-39/39M - 05

Título : HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas

Muestra Nº	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Días	f _c kg/cm ²
01	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.15% DE NANOPLACAS	18/10/2022	25/10/2022	7	139
02	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.15% DE NANOPLACAS	18/10/2022	25/10/2022	7	161
03	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.15% DE NANOPLACAS	18/10/2022	01/11/2022	14	166
04	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.15% DE NANOPLACAS	18/10/2022	01/11/2022	14	191
05	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.15% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	209
06	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.15% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	212

OBSERVACIONES :

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



Burga L.

Anexo 86. Resistencia a la flexión de concreto liviano patrón y adiciones a los 28 días



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



Tesistas : Burga López Walter
Atención : Laboratorio de tecnología del concreto (USAT)
Proyecto : Elaboración de concretos livianos estructurales mediante el uso de nanoplacas y poliestireno al 40% como reemplazo del agregado fino
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de presentación : Chiclayo, 15 de Noviembre del 2022

Norma : N.T.P. 339.078 - 2012
Título : HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para la determinación de la resistencia a la flexión del concreto, en vigas simplemente apoyadas con cargas en los tercios del tramo

Muestra N°	Denominación de Espécimen	Fecha de	Fecha de	Carga	Antigüedad	Módulo de
		Vaciado	Ensayo	(Kgf)	del Espécimen	Rotura (Kg/cm ²)
01	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	2290	28	34
02	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	2030	28	30
03	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.05% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	2460	28	36
04	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.05% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	2490	28	37
05	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.10% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	2600	28	39
06	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.10% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	2470	28	37
07	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.15% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	2480	28	37
08	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.15% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	2290	28	34



W. Burga L.

Anexo 87. Resistencia a la tracción de concreto liviano patrón y adiciones a los 28 días



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



Tesista : Burga López Walter
Atención : Laboratorio de tecnología del concreto (USAT)
Proyecto : Elaboración de concretos livianos estructurales mediante el uso de nanoplacas y poliestireno al 40% como reemplazo del agregado fino
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 15 de Noviembre del 2022

Título : Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la tracción del concreto en muestras cilíndricas

Código : ASTM C-39/39M -2004

Título : Standard Test Method for compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

$$f_c = \frac{2xP}{3.1416 \times d^2 \times h}$$

Muestra N°	Denominación de Espécimen	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Días	Diámetro (d) (cm)	Altura (h) (cm)	Carga (P) (Kg)	f _c (Kg/cm ²)
01	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	14.90	30.1	10210	14
02	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	15.00	30	10810	15
03	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.05% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	14.90	30	12930	18
04	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.05% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	14.90	30.1	11950	17
05	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.10% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	14.90	30.1	13350	19
06	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.10% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	14.90	30.1	13950	20
07	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.15% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	14.90	30.1	11240	16
08	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.15% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	14.90	30.1	10920	16

OBSERVACIONES :

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



W. Burga L.

Anexo 88. Densidad equilibrada del concreto liviano patrón y adiciones a los 28 días



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



Tesista : Burga López Walter
Atención : Laboratorio de tecnología del concreto (USAT)
Proyecto : Elaboración de concretos livianos estructurales mediante el uso de nanoplacas y poliestireno al 40% como reemplazo del agregado fino
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 15 de Noviembre del 2022

Título : Método de ensayo normalizado para la determinación de la densidad de concreto estructural liviano

Código : ASTM C567

Título : Standard test method for the determination of the density of lightweight structural concrete

Muestra N°	Denominación de Espécimen	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Días	Cilindro sumergido (Kg)	Cilindro saturado (Kg)	Cilindro seco (Kg)	Densidad equilibrada (Kg/m3)
01	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	5.69	11.15	10.53	1921
02	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	5.59	11.06	10.48	1910
03	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.05% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	5.54	10.98	10.39	1904
04	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.05% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	5.45	10.91	10.41	1901
05	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.10% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	5.56	11.04	10.48	1907
06	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.10% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	5.62	11.07	10.49	1919
07	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.15% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	5.69	11.19	10.61	1923
08	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.15% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	5.55	11.01	10.43	1905

OBSERVACIONES :

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



W. Burga L.

Anexo 89. Densidad seca del concreto liviano patón y adiciones a los 28 días



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



Tesista : Burga López Walter
Atención : Laboratorio de tecnología del concreto (USAT)
Proyecto : Elaboración de concretos livianos estructurales mediante el uso de nanoplacas y poliestireno al 40% como reemplazo agregado fino
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 15 de Noviembre del 2022

Título : Método de ensayo normalizado para la determinación de la densidad de concreto estructural liviano

Código : ASTM C567

Título : Standard test method for the determination of the density of lightweight structural concrete

Muestra N°	Denominación de Espécimen	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Días	Cilindro sumergido (Kg)	Cilindro saturado (Kg)	Cilindro seco a horno (Kg)	Densidad equilibrada (Kg/m ³)
01	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	5.69	11.15	10.27	1874
02	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	5.59	11.06	10.18	1855
03	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.05% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	5.54	10.98	10.13	1857
04	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.05% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	5.45	10.91	10.03	1831
05	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.10% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	5.56	11.04	10.23	1861
06	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.10% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	5.62	11.07	10.19	1864
07	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.15% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	5.69	11.19	10.31	1869
08	CONCRETO CON AGREGADO DE POLIESTIRENO 210 kg/cm ² + 0.15% DE NANOPLACAS	18/10/2022	15/11/2022	28	5.55	11.01	10.18	1859

OBSERVACIONES :

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



W. Burga L.

Anexo 90. Certificación de ensayos de módulo de elasticidad y relación de poisson



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

Chiclayo, 10 de junio del 2023

Quien suscribe:

REPRESENTANTE LEGAL.

GASTELO CHIRINOS GERMAN OSCAR-GERENTE GENERAL.
CAL. JOSE GALVEZ N° 120 – CHICLAYO – LAMBAYEQUE

ASUNTO: Realización de ensayos en el laboratorio, FERMATI
CONSTRUCTORA Y SERVICIOS GENERALES S.A.C


Tengo el agrado de dirigirme a la escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la **UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**, para informar que el tesista Walter **JESÚS BURGA LÓPEZ** con código universitario 172CV73469, identificado con número de DNI: 71573987, y con nombre del proyecto de investigación "ELABORACIÓN DE CONCRETOS LIVIANOS ESTRUCTURALES MEDIANTE EL USO DE NANOPLACAS Y POLIESTIRENO AL 40% COMO REEMPLAZO DEL AGREGADO FINO", ha realizado estudios de laboratorio, Ensayos de Módulos de elasticidad y Poisson (8 unidades), en mi empresa mencionada en los párrafos anteriores, representada con **RUC 20561114502** bajo la supervisión del técnico encargado del laboratorio.

Agradeciendo la atención al presente, aprovechando la oportunidad para expresarle los sentimientos de mi especial consideración y estima.
Atentamente.

FERMATI CONSTRUCTORA Y
SERVICIOS GENERALES SAC
.....
German Gastelo Chirinos
GERENTE GENERAL


 964423859 - 943011231

 Ca. José Galvez N° 120

 fermatisac@gmail.com
 www.fermatisac.cf

Anexo 91. Módulo de elasticidad de concreto liviano patrón y adicones a los 28 días



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

INFORME DE ENSAYO N° 4417

Expediente N° : 2396 - 2023 L.E.M. FERMATI S.A.C
 Tesista : WALTER BURGA LÓPEZ
 Universidad : SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 Proyecto : "ELABORACIÓN DE CONCRETOS LIVIANOS ESTRUCTURALES MEDIANTE EL USO DE NANOPLACAS Y POLIESTIRENO AL 40% COMO REEMPLAZO DEL AGREGADO FINO"
 Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 12 de Abril del 2023

Ensayo : COMPRESSION (Método estándar para la determinación del módulo de elasticidad estático y de la relación de Poisson del concreto sometido a compresión).
 Referencia : ASTM C-469

MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	σ_u (Kg/cm ²)	Esfuerzo S2 (40% σ_u) Kg/cm ²	Esfuerzo S1 (0.000050) Kg/cm ²	ϵ unitaria Long ϵ_2 (5 ₂)	E Unitaria Transv	E_c Kg/cm ²	Promedio E_c Kg/cm ²
01	CONCRETO PATRON - f'c= 210 kg/cm ²	15/03/2023	12/04/2023	28	210.69	84	12.20310	0.000345	0.00001170	244062	242626
02	CONCRETO PATRON - f'c= 210 kg/cm ²	15/03/2023	12/04/2023	28	213.71	85	12.05947	0.000354	0.00001003	241189	
03	CAP 0.05%	15/03/2023	12/04/2023	28	215.21	86	12.38037	0.000348	0.00001170	247607	249794
04	CAP 0.05%	15/03/2023	12/04/2023	28	216.89	87	12.59906	0.000344	0.00000986	251981	
05	CAP 0.10%	15/03/2023	12/04/2023	28	218.67	87	12.87112	0.000340	0.00001220	257422	259088
06	CAP 0.10%	15/03/2023	12/04/2023	28	217.85	87	12.45259	0.000336	0.00001170	260753	
07	CAP 0.15%	15/03/2023	12/04/2023	28	210.30	84	12.02102	0.000350	0.00001170	240420	242242
08	CAP 0.15%	15/03/2023	12/04/2023	28	212.72	85	11.93020	0.000350	0.00001003	244063	

Observaciones:


- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.



 German Gastelo Chirinos
 LABORATORISTA-FERMATI S.A.C





 Juan Carlos Firmo Ojeda Ayesta
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. 123351

 964423859 - 943011231

 Ca. José Galvez N° 120

 fermatisac@gmail.com

 www.fermatisac.cf

Anexo 92. Relación de poisson de concreto liviano patrón y adiciones a los 28 días



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

INFORME DE ENSAYO N° 4416

Expediente N° : 2396 - 2023 L.E.M. FERMATI S.A.C
 Tesista : WALTER BURGA LÓPEZ
 Universidad : SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 Proyecto : "ELABORACIÓN DE CONCRETOS LIVIANOS ESTRUCTURALES MEDIANTE EL USO DE NANOPLACAS Y POLIESTIRENO AL 40% COMO REEMPLAZO DEL AGREGADO FINO"
 Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 12 de Abril del 2023

Ensayo : COMPRESSION (Método estándar para la determinación del módulo de elasticidad estático y de la relación de Poisson del concreto sometido a compresión).
 Referencia : ASTM C-469

MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	σ_c (Kg/cm ²)	Esfuerzo S2 (40% σ_c) (Kg/cm ²)	Esfuerzo S1 (0.000050) (Kg/cm ²)	ϵ unitaria Long ϵ_2 (S ₂)	ϵ Unitaria Transv	V	Promedio V
01	CONCRETO PATRON - f'c= 210 kg/cm ²	15/03/2023	12/04/2023	28	210.69	84	12.20310	0.000345	0.00001170	0.0338744	0.031081493
02	CONCRETO PATRON - f'c= 210 kg/cm ²	15/03/2023	12/04/2023	28	213.71	85	12.05947	0.000354	0.00001003	0.0282886	
03	CAP 0.05%	15/03/2023	12/04/2023	28	215.21	86	12.38037	0.000348	0.00001170	0.0336442	0.03113987
04	CAP 0.05%	15/03/2023	12/04/2023	28	216.89	87	12.59906	0.000344	0.00000986	0.0286355	
05	CAP 0.10%	15/03/2023	12/04/2023	28	218.67	87	12.87112	0.000340	0.00001220	0.0359018	0.03533522
06	CAP 0.10%	15/03/2023	12/04/2023	28	217.85	87	12.45259	0.000336	0.00001170	0.0347686	
07	CAP 0.15%	15/03/2023	12/04/2023	28	210.30	84	12.02102	0.000350	0.00001170	0.0334314	0.03104873
08	CAP 0.15%	15/03/2023	12/04/2023	28	212.72	85	11.93020	0.000350	0.00001003	0.0286661	

Observaciones:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.


 German Gastelo Chirinos
 LABORATORISTA-FERMATI S.A.C




 Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. 123351



964423859 - 943011231



Ca. José Galvez N° 120






fermatisac@gmail.com



www.fermatisac.cf

Anexo 93. Calibración de maquina para ensayos de módulo de elasticidad y relación de poisson

		CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFP-050-2022	Página 1 de 3
Arsou Group Laboratorio de Metrología			
Fecha de emisión	2022/06/15	<p>Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)</p> <p>Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes.</p> <p>ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento.</p> <p>Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.</p>	
Solicitante	FERMATI CONSTRUCTORA Y SERVICIOS GENERALES S.A.C.		
Dirección	CAL. JOSE GALVEZ NRO. 120 CERCADO DE CHICLAYO LAMBAYEQUE - CHICLAYO - CHICLAYO		
Instrumento de medición	PRENSA HIDRAULICA PARA CONCRETO		
Identificación	NO INDICA		
Marca	PINZUAR		
Modelo	PC-42		
Serie	270		
Capacidad	1200 kN		
Indicador	DIGITAL		
Serie	456		
Bomba	ELECTRICA		
Procedencia	COLOMBIA		
Ubicación	LABORATORIO DE CONCRETO		
Lugar de calibración	CAL. JOSE GALVEZ NRO. 120 CERCADO DE CHICLAYO LAMBAYEQUE - CHICLAYO - CHICLAYO		
Fecha de calibración	2022/06/15		
Método/Procedimiento de calibración El procedimiento toma como referencia a la norma ISO 7500-1 "Metallic materials - Verification of static uniaxial testing machines", Se aplicaron dos series de carga al Sistema Digital mediante la misma prensa. En cada serie se registraron las lecturas de las cargas.			
 Ing. Hugo Luis Arevalo Carnica METROLOGIA			
ARSOU GROUP S.A.C. Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437 ventas@arsougroup.com www.arsougroup.com			



Arsou Group
Laboratorio de Metrología

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° LFP-050-2022

Página 2 de 3

Patrones e Instrumentos auxiliares

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
Patrones de referencia de PUCP	Celda de Carga de 100 t	INF-LE N° 175-21

Condiciones ambientales durante la calibración

Temperatura Ambiental Inicial: 21,4 °C Final: 21,4 °C
 Humedad Relativa Inicial: 62 %hr Final: 62 %hr

Resultados

TABLA N° 01

CALIBRACION DE PRENSA HIDRAULICA PARA CONCRETO

SISTEMA DIGITAL "A" kg	SERIES DE VERIFICACIÓN PATRON (kg)				PROMEDIO "B" kg	ERROR Ep %	RPTBLD Rp %
	SERIE (1) kg	SERIE (2) kg	ERROR %	ERROR (2) %			
10332	10310	10340	-0.21	0.08	10325.0	-0.07	0.21
20741	20710	20934	-0.15	0.93	20822.0	0.39	0.76
30274	30520	30520	0.81	0.81	30520.0	0.81	0.00
40042	40380	40200	0.84	0.39	40290.0	0.62	0.32
50500	50820	50910	0.63	0.81	50865.0	0.72	0.13
60645	61150	61180	0.83	0.88	61165.0	0.86	0.03
70450	71100	71070	0.92	0.88	71085.0	0.90	0.03
80611	81010	81349	0.49	0.92	81179.5	0.71	0.30

NOTAS SOBRE CALIBRACION

- La Calibración se hizo según el Método C de la norma ISO 7500-1
- Ep y Rp son el Error Porcentual y la Repetibilidad definidos en la citada Norma:
 $Ep = ((A-B) / B) * 100$ $Rp = Error(2) - Error(1)$
- La norma exige que Ep y Rp no excedan el +/- 1.0 %



ARSOU GROUP S.A.C
 Ing. Hugo Luis Arévalo C.M.P.
 METROLOGÍA

ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú
 Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
 ventas@arsougroup.com
 www.arsougroup.com



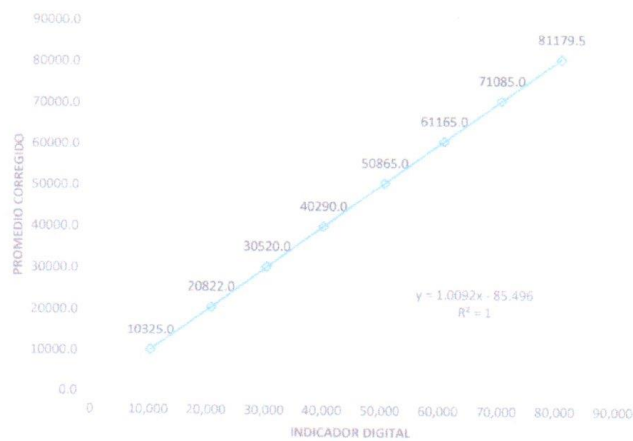
Arsou Group
Laboratorio de Metrología

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° LFP-050-2022

Página 3 de 3

Gráfica (Coeficiente de correlación y Ecuación de Ajuste)

GRAFICO N° 01



Ecuación de ajuste:

Donde: $y = 1,0092x - 85,496$

Coefficiente Correlación $R^2 = 1$

X : Lectura de la pantalla (kg)

Y : fuerza promedio (kg)



Observaciones

1. Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
2. La incertidumbre de la medición ha sido calculada para un nivel de confianza de aproximadamente del 95 % con
3. (*) Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento.
4. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALBRADO"

ARSOU GROUP S.A.C

Ing. Hugo Luis Arévalo Carnicero
METROLOGÍA

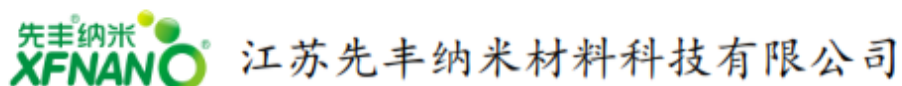
ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú

Tel: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437

ventas@arsougroup.com

www.arsougroup.com



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
含水率	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
Add: Nanjing City, Jiangsu Province, China
Zip: for 210033
E-mail: isale@xfnano.com
<http://www.xfnano.com>

2 表征测试图 (Characterizations)

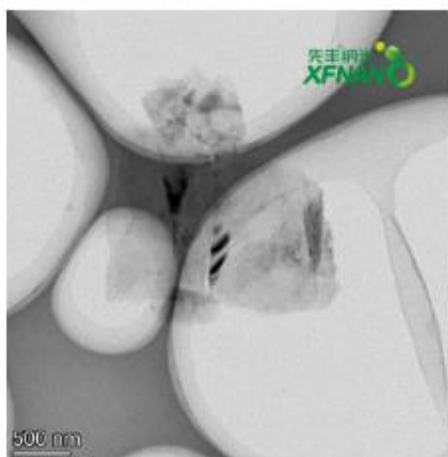


图 1

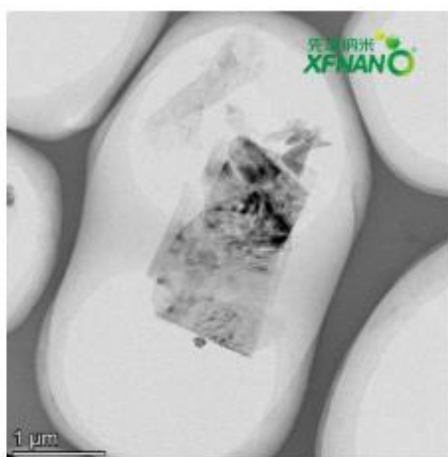


图 2

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
Add: Nanjing City, Jiangsu Province, China
Zip: for 210033
E-mail: isale@xfnano.com
<http://www.xfnano.com>



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

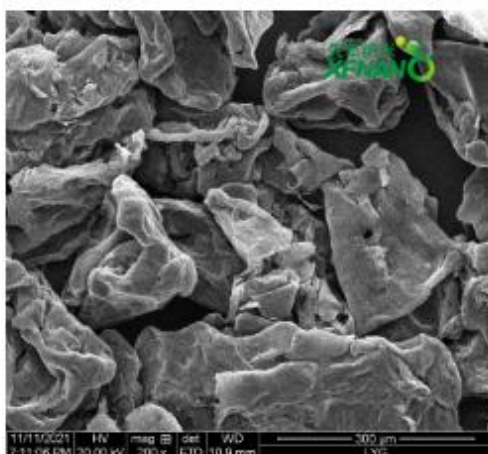


图 4

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
Add: Nanjing City, Jiangsu Province, China
Zip: for 210033
E-mail: isale@xfnano.com
<http://www.xfnano.com>

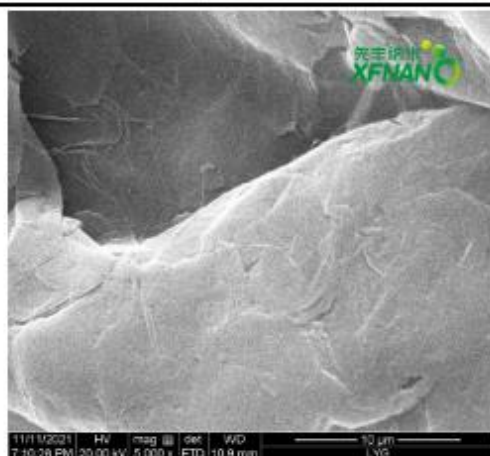


图 5

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

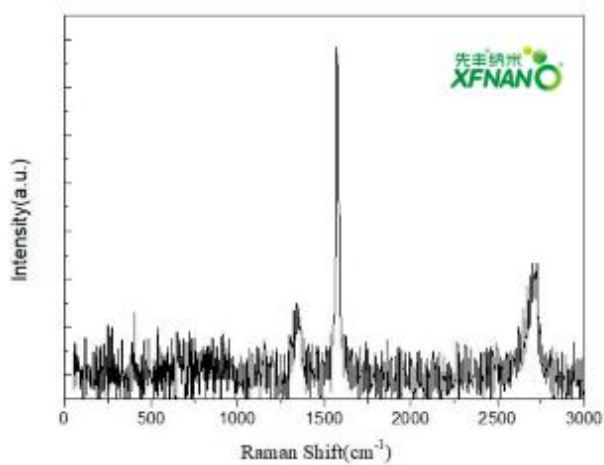


图 6 薄层石墨烯纳米片拉曼光谱

Fig.6 Raman spectrum of Thin Layer Graphene Nanoplates

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
 Add: Nanjing City, Jiangsu Province, China
 Zip: for 210033
 E-mail: isale@xfnano.com
 http://www.xfnano.com

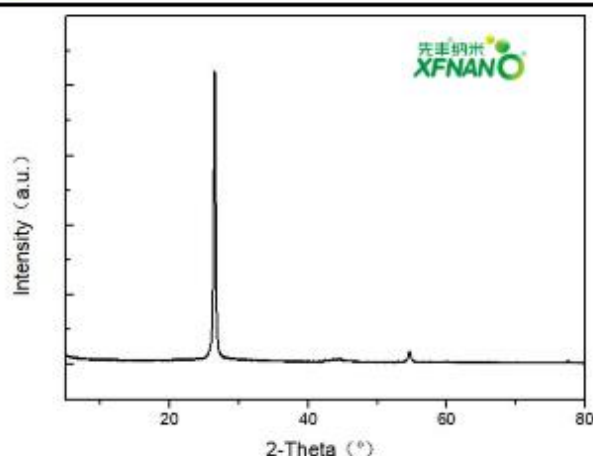


图7 薄层石墨烯纳米片 X-射线衍射图
Fig.7 XRD pattern of thin layers graphene nanoplates

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

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
Add: Nanjing City, Jiangsu Province, China
Zip: for 210033
E-mail: isale@xfnano.com
<http://www.xfnano.com>

Anexo 95. Ficha técnica de perlas de poliestireno expandido

Perlas

Perlas de Poliestireno Expandido "EPS" para la industria de la construcción.



DESCRIPCIÓN

Las Perlas de poliestireno son material plástico celular y rígido, fabricado a partir del Poliestireno Expandible o EPS, de alta calidad y de excelentes prestaciones para distintas aplicaciones en el sector CONSTRUCCIÓN tales como para el aligeramiento de mezclas Cementicias, aislamiento térmico y acústico.

CAMPOS DE APLICACIÓN



Las Perlas de DIPROPOR® tienen varias aplicaciones en el mercado del EPS, y en la industria de la construcción son utilizadas para lograr «CONCRETOS LIVIANOS» con muy buenas prestaciones térmicas y acústicas. Estos pueden ser vertidos en encofrados o moldes para alcanzar diversas formas, también pueden ser vertidos en un molde mayor y luego ser cortado mecánicamente para alcanzar formas de menor tamaño, para su fácil colocación, con ahorro de mezcla y pegamento respectivamente. Otro uso frecuente es como relleno de losas para no incrementar carga, es el caso en azoteas o paredes externas comportándose como un excelente aislante térmico y acústico. Respecto a su comportamiento ante el fuego, este es muy satisfactorio, dado que la Perla de Poliestireno cuenta con retardante de flama y el mismo mortero que lo protege.

CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS

El Poliestireno Expandido es un material 100% reciclable, igualmente es:

- Resistente al envejecimiento.
- Versátil y fácil de utilizar y/o transformar.
- Fácil de manipular o instalar.
- Amortiguador de impactos.
- Ligereza.

Proporciones Mezcla para 1 M3 de Hormigón Ligero.

Densidad aparente seca (Densidad aparente nominal)	kg/m ³	300	400	500	600
Densidad aparente fresca (Aprox.)	kg/m ³	400	500	600	700
Aditivo EPS	litros	700	700	750	750
Cemento F23SF	kg	280	350	350	350
Arena- 0/5	kg	-	-	100	200
Agua	kg	135	150	155	155
Agua/ Cemento	kg	0.48	0.43	0.44	0.44
Agente aireante	kg	0.280	0.350	0.350	0.350
Fibras empalmadas	kg	0.6	0.6	0.6	0.6

(Mezclero Federal para la planificación regional, construcción prefabricada) sobre la demostración de 2. Valores medios de series de medidas con Styropor 7530

(Información BASF).

INDUSTRIA NACIONAL DEL POLIESTIRENO S.A.C.
Av. Intihuatana 845 2do Piso Surco
Telf. 717-9496 / 715-1818
RUC: 20556128384
Mail: ventas@dipropor.com
Web: www.dipropor.com

OTRAS APLICACIONES

Aplicaciones Agrarias, Estructuración de Suelos para la Agricultura, Campos Deportivos y Jardinería Paisajista.

Los terrenos que requieren mayor intercambio de aire con el medio ambiente y evacuación del agua, pueden lograrse mezclándose con Perlas de EPS.

Adicionalmente, el uso de Perlas de Poliestireno Expandido para la bonificación de suelos, en los que se requiere hacer cultivos especiales y en los que los problemas causados por el suelo, tienen consecuencias económicas duraderas.

En campos deportivos o áreas recreacionales donde el uso constante por personas que transitan o juegan constantemente, causan una compactación superficial del suelo que dificulta o impide totalmente el intercambio de aire, así como la evacuación del agua, la capa de césped se forme incompleta, pierde resistencia y por lo tanto su capacidad de funcionamiento.

En suelos muy compactos que desfavorece el crecimiento de cultivos jóvenes, al adicionar Perlas de EPS en el suelo se logra el efecto "desmoronador", lo que permite que las plantas echen raíces en un tiempo mucho más corto.

La inocuidad del EPS, su bajísima absorción de agua, el no ser alimento para bacterias, hongos y roedores, permite su uso en estas aplicaciones.

DATOS TÉCNICOS

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN LIVIANO (BASF)

Densidad aparente seca (Densidad aparente nominal)	kg/m ³	300	400	500	600
Conductividad Térmica ¹	W/(mk)	0,096	0,119	0,143	0,169
Valor Registrado	W/(mk)				
Valor Calculado	W/(mk)	0,120	0,160	0,180	0,210
Densidad aparente de control (después de 28 días)	kg/m ³	375	480	580	680
Resistencia a la compresión	N/mm ²	0,7	1,2	1,4	1,7
Resistencia a la flexión	N/mm ²	0,3	0,4	0,45	0,5

1- Según la información No. W 10/92 del Bundesminister für Raumordnung Bauwesen und Städtebau (Ministerio Federal para la planificación regional, construcción y ciudades) sobre la denominación de valores de cálculo para la conductividad térmica de hormigón ligero, EPS.

2- Valores medios de series de medidas con Styropor P80

Nota Legal

La información y en particular las recomendaciones sobre la utilización y el uso final de los productos son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Indupol S.A.C. respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados, así como utilizados en condiciones normales.

En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se utilizarán los productos 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.

