

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



**Análisis del comportamiento mecánico en adoquines de concreto $f'c = 420$
kg/cm² adicionando nanoplaquetas de grafeno y aserrín para pavimento
articulado de alto tránsito**

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

AUTOR

Josue Paul Llatas Rafael

ASESOR

Juan Jacobo Sanchez Bautista

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

Chiclayo, 2024

**Análisis del comportamiento mecánico en adoquines de concreto
 $f'_c = 420 \text{ kg/cm}^2$ adicionando nanoplaquetas de grafeno y aserrín
para pavimento articulado de alto tránsito**

PRESENTADA POR

Josue Paul Llatas Rafael

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

INGENIERO CIVIL AMBIENTAL

APROBADA POR

Manuel Alejandro Borja Suarez

PRESIDENTE

Angel Alberto Lorren Palomino

SECRETARIO

Juan Jacobo Sanchez Bautista

VOCAL

Dedicatoria

Dedico mi tesis principalmente a Dios por brindarme salud, protección y por ser mi guía para llevar a cabo mi carrera universitaria de la mejor manera y así alcanzar mis metas personales.

A mi madre y padre por estar a mi lado apoyándome en mi etapa como profesional, dándome fuerza, motivación desde el comienzo de mi etapa universitaria y por brindarme el apoyo necesario para lograr mis metas y ser un buen profesional.

A mi hermano que me apoyo siempre con su cariño y apoyo moral ya que es una persona a la cual quiero mucho y es una motivación por la que quiero salir adelante.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por permitirme culminar mi etapa universitaria y estar siempre a mi lado en tiempos difíciles.

Agradecer a mi familia, por su motivación, cariño y apoyo brindado hacia mi persona y formación profesional.

Agradecer a mis amigos por los gratos momentos que compartimos en la universidad y por brindarme su apoyo.

A mis dos asesores que he tenido en el desarrollo de mi investigación al Ing. Manuel Borja Suárez y al Ing. Juan Sánchez Bautista por su dedicación, por su tiempo y por sus conocimientos brindados para realizar mi proyecto de la mejor manera posible.

INFORME FINAL TESIS 2023- LLATAS RAFAEL

INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

23%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	7%
2	tesis.usat.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	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	docplayer.es Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Universidad Nacional Autonoma de Chota Trabajo del estudiante	<1%
8	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	<1%
9	repositorio.unach.edu.pe Fuente de Internet	

Índice

Resumen	11
Abstract	12
Introducción	13
Revisión de Literatura	16
Metodología	41
Resultados y Discusión	78
Conclusiones	117
Recomendaciones.....	120
Referencias	121
Anexos.....	126

Lista de tablas

Tabla 1: Espesor nominal y Resistencia a la compresión.	23
Tabla 2: Tolerancia dimensional.	23
Tabla 3: Clasificación de los nanomateriales	28
Tabla 4: Nanopartículas que se adicionan al concreto.	30
Tabla 5: Características de la nanoplaqueta de grafeno	32
Tabla 6: Cantidad de adoquines.	43
Tabla 7: Operalización de variables.	45
Tabla 8: Requisitos granulométricos Agregado Fino.	49
Tabla 9: Requisitos granulométricos Agregado Grueso.	51
Tabla 10: Resistencia requerida para diseño de mezcla.	66
Tabla 11: Asentamientos Especificados	66
Tabla 12: Cantidad de agua según el TMN y Slump	67
Tabla 13: Relación a/c para f'_{cr}	67
Tabla 14: Peso del agregado grueso por unidad de volumen de concreto b/bo.	68
Tabla 15: Matriz de Consistencia	77
Tabla 16: Características del agregado fino.	79
Tabla 17: Características del agregado grueso (Confitillo).	80
Tabla 18: Resumen de los pesos del diseño de mezcla.	84
Tabla 19: Diferencias entre el adoquín patrón y los adoquines adicionados.	100
Tabla 20: Costo Unitario del Adoquín Convencional.	101
Tabla 21: Costo Unitario del Adoquín con 0.05% NPG y 1% A.	102
Tabla 22: Costo Unitario del Adoquín con 0.05% NPG y 1.5% A.	103
Tabla 23: Costo Unitario del Adoquín con 0.10% NPG y 1% A.	104
Tabla 24: Costo Unitario del Adoquín con 0.10% NPG y 1.5% A.	105
Tabla 25: Resumen de costos de la elaboración del adoquín.	106
Tabla 26: Costo del adoquín de las Empresas en el Perú.	106
Tabla 27: Discusión de las Propiedades de los Agregados.	107
Tabla 28: Discusión de la Resistencia a la Compresión.	112
Tabla 29: Resumen de costos de la elaboración del adoquín.	119
Tabla 30: Costo del adoquín de las Empresas en el Perú.	119

Lista de figuras

Ilustración 1: Espesores del adoquín.....	20
Ilustración 2: Adoquines según su forma.....	22
Ilustración 3: Estructura del anillo de grafeno.....	30
Ilustración 4: Superficie de la nanoplaqueta de grafeno.....	31
Ilustración 5: Estructura morfológica de la nanoplaqueta de grafeno.....	32
Ilustración 6: Peso del agregado fino.....	48
Ilustración 7: Proceso de tamizado.....	48
Ilustración 8: Peso del agregado grueso (Confitillo).....	50
Ilustración 9: Proceso de tamizado.....	50
Ilustración 10: Muestra en el Horno.....	52
Ilustración 11: Muestra en el Horno.....	53
Ilustración 12: Peso unitario suelto del agregado fino.....	54
Ilustración 13: Peso unitario suelto del agregado grueso.....	56
Ilustración 14: Peso unitario compactado agregado fino.....	57
Ilustración 15: Peso unitario compactado agregado grueso.....	58
Ilustración 16: Colocación del agregado fino y eliminando vacíos de este.....	60
Ilustración 17: Peso sumergido en una canastilla.....	62
Ilustración 18: Pesado de la Nanoplaqueta de grafeno.....	64
Ilustración 19: Colocación de la Nanoplaqueta de grafeno a la máquina de ultrasonidos.....	64
Ilustración 20: Muestras dispersando.....	64
Ilustración 21: Muestras dispersadas en los tiempos programados.....	64
Ilustración 22: Proceso de elaboración del Adoquín.....	70
Ilustración 23: Proceso de la prueba de Resistencia a la Compresión.....	71
Ilustración 24: Proceso de la prueba de la Resistencia a la Flexión.....	73
Ilustración 25: Proceso de la prueba de Resistencia al Desgaste por Abrasión.....	74
Ilustración 26: Ubicación de la Cantera "Tres Tomas".....	126
Ilustración 27: Recolección Agregado Fino.....	126
Ilustración 28: Ubicación de la Chancadora "Piedra Azul".....	127
Ilustración 29: Recolección Agregado Grueso (Confitillo).....	127
Ilustración 30: Ubicación del Aserradero para recolección de aserrín.....	128
Ilustración 31: Entrada al aserradero.....	128
Ilustración 32: Máquina para obtención de aserrín.....	128
Ilustración 33: Aserrín calcinado según recomendaciones de análisis químico.....	129
Ilustración 34: Determinación de Slump.....	130
Ilustración 35: Mezcladora de Concreto de Bandeja Plana Eléctrica.....	130
Ilustración 36: Máquina Bloquera Rosa Cometa.....	130
Ilustración 37: Elaboración del Concreto.....	131
Ilustración 38: Elaboración del Adoquín.....	131

Ilustración 39: Fraguado del Adoquín.....	131
Ilustración 40: Curado de Adoquines.....	131
Ilustración 41: Medición de la muestra para ensayar.	132
Ilustración 42: Ensayo de Resistencia a la Compresión.....	132
Ilustración 43: Rotura de la muestra sometida a Compresión.	132
Ilustración 44: Resumen resultados de Resistencia a la Compresión.....	133
Ilustración 45: Medición de la muestra para ensayar.	134
Ilustración 46: Ensayo de Resistencia a la Flexión.	134
Ilustración 47: Muestra después del ensayo realizado a Flexión.....	134
Ilustración 48: Resumen resultados de Resistencia a la Flexión.	135
Ilustración 49: Máquina de la Resistencia al Desgaste por Abrasión.....	136
Ilustración 50: Muestra sujeta en la Máquina de Desgaste	136
Ilustración 51: Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión.....	136
Ilustración 52: Pesado de una Muestra Adicionada.	137
Ilustración 53: Muestras al culminar los ciclos de desgaste.....	137
Ilustración 54: Granulometría del Agregado Fino.	138
Ilustración 55: Granulometría del Agregado Grueso (Confitillo).	139
Ilustración 56: Contenido de Humedad del Agregado Fino.....	140
Ilustración 57: Contenido de Humedad del Agregado Grueso (Confitillo).....	141
Ilustración 58: Peso Unitario del Agregado Fino.	142
Ilustración 59: Peso Unitario del Agregado Grueso (Confitillo).....	143
Ilustración 60: Peso específico y grado de absorción del Agregado Fino.....	144
Ilustración 61: Peso específico y grado de absorción del Agregado Grueso (Confitillo).....	145
Ilustración 62: Diseño de Mezcla Patrón.	146
Ilustración 63: Diseño de Mezcla Adicionado (0.05% NPG - 1.0% A).....	147
Ilustración 64: Diseño de Mezcla Adicionado (0.05% NPG - 1.5% A).....	148
Ilustración 65: Diseño de Mezcla Adicionado (0.10% NPG - 1.0% A).....	149
Ilustración 66: Diseño de Mezcla Adicionado (0.10% NPG - 1.5% A).....	150
Ilustración 67: Equipos empleados para los análisis químicos realizados al aserrín.....	152
Ilustración 68: Resultados químicos realizados al aserrín (Curva TGA y ATD).....	153
Ilustración 69: Métodos empleados para los análisis químicos realizados al aserrín.....	154
Ilustración 70: Composición química del aserrín.....	155
Ilustración 71: Resistencia a Compresión del Adoquín Patrón.	156
Ilustración 72: Resistencia a Compresión del Adoquín Adicionado (0.05%NPG - 1.0%A).....	157
Ilustración 73: Resistencia a Compresión del Adoquín Adicionado (0.05%NPG - 1.5%A).....	158
Ilustración 74: Resistencia a Compresión del Adoquín Adicionado (0.10%NPG - 1.0%A).....	159
Ilustración 75: Resistencia a Compresión del Adoquín Adicionado (0.10%NPG - 1.5%A).....	160
Ilustración 76: Resistencia a Flexión del Adoquín Patrón.	162
Ilustración 77: Resistencia a Flexión del Adoquín Adicionado (0.05%NPG - 1.0%A).....	163
Ilustración 78: Resistencia a Flexión del Adoquín Adicionado (0.05%NPG - 1.5%A).....	164

Ilustración 79: Resistencia a Flexión del Adoquín Adicionado (0.10%NPG - 1.0%A).....	165
Ilustración 80: Resistencia a Flexión del Adoquín Adicionado (0.10%NPG - 1.5%A).....	166
Ilustración 81: Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión a los 7 días del Adoquín Patrón	167
Ilustración 82: Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión a los 7 días del Adoquín Adicionado (0.05% NPG y 1% A).....	168
Ilustración 83: Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión a los 7 días del Adoquín Adicionado (0.05% NPG y 1.5% A).....	169
Ilustración 84: Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión a los 7 días del Adoquín Adicionado (0.10% NPG y 1% A).....	170
Ilustración 85: Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión a los 7 días del Adoquín Adicionado (0.10% NPG y 1.5% A).....	171
Ilustración 86: Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión a los 21 días del Adoquín Patrón.	172
Ilustración 87: Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión a los 21 días del Adoquín Adicionado (0.05% NPG y 1% A).....	173
Ilustración 88: Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión a los 21 días del Adoquín Adicionado (0.05% NPG y 1.5% A).....	174
Ilustración 89: Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión a los 21 días del Adoquín Adicionado (0.10% NPG y 1 % A).....	175
Ilustración 90: Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión a los 21 días del Adoquín Adicionado (0.10% NPG y 1.5 % A).....	176
Ilustración 91: Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión a los 28 días del Adoquín Patrón.	177
Ilustración 92: Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión a los 28 días del Adoquín Adicionado (0.05% NPG y 1% A).....	178
Ilustración 93: Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión a los 28 días del Adoquín Adicionado (0.05% NPG y 1.5% A).....	179
Ilustración 94: Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión a los 28 días del Adoquín Adicionado (0.10% NPG y 1 % A).....	180
Ilustración 95: Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión a los 28 días del Adoquín Adicionado (0.10% NPG y 1.5 % A).....	181
Ilustración 96: Ficha técnica de la Nanoplaqueta de Grafeno.....	182
Ilustración 97: Proforma de compra de la Máquina de Ultrasonidos	183
Ilustración 98: Ficha técnica del cemento tipo MS	184

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Curva granulométrica del agregado fino.....	78
Gráfico 2: Curva Granulométrica del agregado grueso (Confitillo).....	80
Gráfico 3: Tiempo de aglomeración de la Nanoplaqueta de Grafeno	81
Gráfico 4: Curva de ATD y TGA.	82
Gráfico 5: Ensayo de Fluorescencia de rayos x	83
Gráfico 6: Resistencia a la Compresión de la Muestra Patrón.	85
Gráfico 7: Resistencia a la Compresión de la Muestra 0.05% NPG y 1.0%A.	86
Gráfico 8: Resistencia a la Compresión de la Muestra 0.05% NPG y 1.5%A.	87
Gráfico 9: Resistencia a la Compresión de la Muestra 0.10% NPG y 1.0%A.	88
Gráfico 10: Resistencia a la Compresión de la Muestra 0.10% NPG y 1.5%A.	89
Gráfico 11: Resistencia a la Flexión de la Muestra Patrón.	90
Gráfico 12: Resistencia a la Flexión de la Muestra 0.05% NPG y 1.0%A.....	91
Gráfico 13: Resistencia a la Flexión de la Muestra 0.05% NPG y 1.5%A.....	92
Gráfico 14: Resistencia a la Flexión de la Muestra 0.10% NPG y 1.0%A.....	93
Gráfico 15: Resistencia a la Flexión de la Muestra 0.10% NPG y 1.5%A.....	94
Gráfico 16: Variación del desgaste por días especificados (Muestra Patrón).	95
Gráfico 17: Variación del desgaste por días especificados (Muestra 0.05% NPG y 1%A).	96
Gráfico 18: Variación del desgaste por días especificados (Muestra 0.05% NPG y 1.5%A).	97
Gráfico 19: Variación del desgaste por días especificados (Muestra 0.10% NPG y 1%A).	98
Gráfico 20: Variación del desgaste por días especificados (Muestra 0.10% NPG y 1.5%A).	99
Gráfico 21: Discusión del Tiempo de Dispersión vs Aglomeración de Nanoplaquetas de Grafeno.	109
Gráfico 22: Curva ATD y TGA.	110
Gráfico 23: Discusión de la Composición Química del Aserrín.	111
Gráfico 24: Discusión de la Resistencia a la Flexión.	113
Gráfico 25: Discusión de la Resistencia al Desgaste por Abrasión.....	115

Resumen

El presente proyecto de investigación consiste en la adición de dos sustancias tales como la nanoplaqueta de grafeno (NPG) y aserrín al concreto para la producción de adoquines de alto tránsito para luego verificar su resistencia a compresión, resistencia a la flexión y resistencia al desgaste por abrasión. Se elaboraron 135 adoquines de concreto para una resistencia de $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$. Se formaron 4 grupos de 27 adoquines con diferentes combinaciones de 0.05% NPG - 1.0% A, 0.05% NPG - 1.5% A, 0.10% NPG - 1.0% A, y 0.10% NPG - 1.5% A; las cuales estas sustancias serán sometidas primero a análisis previos tales como el análisis químico del aserrín y la dispersión de la nanoplaqueta de grafeno para posteriormente adicionarlos a la mezcla. Los resultados mostraron una alta resistencia en la combinación de 0.05% NPG - 1.0% A y 0.05% NPG - 1.5% A, son superiores al adoquín patrón en 9.58% y 3.73% respectivamente. Con respecto a la resistencia a la flexión el que presento mejores resultados es la combinación de 0.05% NPG - 1.5% A, cumpliendo con la norma. En la prueba de resistencia al desgaste por abrasión es variable debido a diversos factores como el agregado, las adiciones y/o los agrietamientos de la superficie del adoquín.

Palabras clave: Adoquines, aserrín, nanoplaqueta de grafeno, adición, compresión, flexión, desgaste.

Abstract

The present research project consists of the addition of two substances such as graphene nanoplatelet (NPG) and sawdust to concrete for the manufacture of high traffic pavers to subsequently verify their resistance to compression, bending and abrasive wear. A total of 135 concrete pavers with a strength of $f_c = 420 \text{ kg/cm}^2$ were manufactured. Four groups of 27 pavers were formed with different combinations of 0.05% NPG - 1.0% A, 0.05% NPG - 1.5% A, 0.10% NPG - 1.0% A, and 0.10% NPG - 1.5% A; these substances were first subjected to preliminary analyses such as chemical analysis of sawdust and dispersion of graphene nanoplatelet and then added to the mix. The results showed high strength in the combination of 0.05% NPG - 1.0% A and 0.05% NPG - 1.5% A, higher than that of the standard paver by 9.58% and 3.73%, respectively. In terms of flexural strength, the best results were obtained with the 0.05% NPG - 1.5% A combination, which complies with the standard. In the abrasion wear resistance test, it is variable due to various factors such as aggregate, additions and/or cracking of the paver surface.

Keywords: Cobblestones, sawdust, graphene nanoplate, addition, compression, bending, wear.

Introducción

Hoy en día, el comportamiento y el funcionamiento de la infraestructura vial de cada país son una preocupación mundial. Esta situación ha generado el planteamiento de diversas preguntas importantes sobre los aspectos de diseño, proyecto y construcción del sistema de transporte y en especial de la infraestructura vial, debido a su flexibilidad, adaptabilidad y apertura que abarca dentro del desarrollo económico y comunicación de un país.

El transporte terrestre es una parte importante del aspecto integral del nivel de vida de la sociedad. Ahora no solo se requiere una infraestructura vial, sino también de un diseño óptimo que asegure la durabilidad, independientemente del tráfico y de las condiciones climatológicas que intervienen en cada uno de los países, y también se requiere una gestión del más alto nivel. De ahí la gran importancia de invertir en infraestructura vial, tanto en construcción como en conservación.

Actualmente se ha avanzado mucho en la ingeniería vial en cuanto a nivel de investigación como en la aplicación de nuevas tecnologías, y al mismo tiempo se ha avanzado mucho en el desarrollo de proyectos de infraestructuras, que tienen como objetivo brindar a las personas medios de transporte competitivos y sustentables, para los diferentes centros urbanos y rurales para el avance del país.

Así pues, uno de los pilares fundamentales que está siendo materia de investigación es el uso de la nanociencia en los materiales cementantes, lo que significa que se puede modificar el hormigón incorporando nanomateriales para controlar el comportamiento añadiendo nuevas propiedades; o cambiando las moléculas de cemento, áridos y aditivos en partículas para aportar nuevas funciones [1]. Uno de estos nanomateriales es el grafeno que está formado por átomos de carbono que contiene propiedades altamente extraordinarias como la elevada resistencia a la tracción y al desgaste, por lo cual es una opción para que funcione como adición en el concreto.

Ahora bien, otro asunto a tratar es el residuo orgánico de la madera donde según el Instituto Tecnológico de la Producción, el Perú cuenta con 24495 empresas aserradoras, la cual el problema que tienen estas industrias no es generar gran cantidad de residuos sean o no peligrosos o altamente tóxicos, sino que el volumen de sus desechos que generan es muy

grande. Este residuo es un material que las fábricas de maderas generan en abundancia ya que estas empresas madereras han visto de forma única deshacerse de este residuo mediante la quema en las calles o cerros, y al no ser reutilizados a lo largo del tiempo pueden concurrir en gran medida en un problema medio ambiental o a la salud humana. En esta investigación se utilizará el aserrín como adición para la realización de adoquines de concreto y comprobar si pueden ser utilizados para la pavimentación de calles, avenidas, etc.

Por esta razón los beneficios de los pavimentos elaborados con concreto se consideran no solo desde un punto de vista técnico, también económico, ecológico o sostenible. Debido a esto, hoy en día se utiliza una amplia gama de materiales con propiedades deseables a escala mundial. Estos materiales anteriormente mencionados no solo se van a adicionar a los áridos tradicionales utilizados en el concreto, sino que también pueden mejorar sus propiedades.

Cuando se trata de elaboración concreto en este caso en la producción de adoquines que serán usados en la construcción de pavimentos articulados, estos componentes se clasifican con base en su resistencia al desgaste y la variedad de formas y tamaños en los que pueden moldearse, más que en los materiales de los que están hechos. El cemento, el agregado y el agua se combinan para formar estas piezas prefabricadas. Los pavimentos a base de adoquín se están expandiendo constantemente en popularidad en todo el mundo; hoy, es seguro decir que cada segundo se instala más de 1000 adoquines, por lo cual 6.5 millones de m² se destinan a pavimentación de puertos y terminales de carga, mientras que otros 1.2 millones de m² se instalan en aeropuertos. En el Perú estos elementos son muy poco utilizados en los pavimentos de alto tránsito, prácticamente son colocados en vías peatonales y áreas de parques.

La rápida urbanización que vive el Perú en este momento también está contribuyendo al problema, la cual hoy en día muchas de las calles y avenidas de las ciudades que las conforman se encuentran sin pavimentar y otras se encuentran en mal estado como es el caso de pavimentos rígidos o semirrígidos (pavimento articulado) debido a que se deterioran de manera muy alarmante debido a una serie de causas, entre las que se encuentran fallas en la planificación y ejecución de proyectos viales y el uso inadecuado de las vías, lo que hace que las mismas estén sujetas a cargas que exceden sus capacidades de diseño, por lo que el deterioro de estos provoca el descontento de la población, llevándolos a trasladarse de una zona a otra. Para lo cual este proyecto en este proyecto a desarrollar se va a promover la utilización de estos adoquines de concreto para que sea utilizado como pavimento articulado

ya que pueden servir como reemplazo cuando ocurren los problemas mencionados anteriormente. Estos adoquines son de fácil colocación y generan un alto ahorro económico. [2]

Dado que este tipo de pavimentación se usa cada vez más en las principales vías del país, los materiales antes mencionados pueden desempeñar un papel importante en el desarrollo de aditivos para concreto para pavimento articulado, lo que nos lleva a investigar el uso de estos para aplicarlos a la elaboración de los adoquines para ver las mejoras que pueden tener estos adoquines y posteriormente aplicarlo en pavimentos articulados de alto tránsito.

Para comprobar las diferencias de los adoquines adicionados se realizó para la tesis la siguiente formulación de problema ¿Cuál es la diferencia de las propiedades mecánicas de los adoquines convencionales frente a los adoquines de concreto adicionando nanoplaquetas de grafeno y aserrín para usarlos en las zonas urbanas y rurales como pavimento articulado de alto tránsito?, con fines de comprobarlo mediante ensayos.

Por ende, este proyecto tendrá como justificación conocer el aprovechamiento de los nanomateriales como lo es la nanoplaqueta de grafeno y del residuo que generan las industrias madereras que es el aserrín, lo cual serán usadas para la elaboración de adoquines de concreto. Podemos disminuir el problema de infraestructura que aqueja a nuestro país en este momento al incluir estos adoquines en la producción de pavimentos de concreto en un esfuerzo por mejorar sus propiedades mecánicas y alargar su vida útil.

Así mismo, el desarrollo de este proyecto buscará conocer cuál es el comportamiento que tienen estos adoquines de concreto al tener adiciones con porcentajes distintos de estos materiales anteriormente mencionados para una resistencia $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$ utilizando Cemento Portland Tipo MS, las cuales serán ensayados a los 7, 21 y 28 días y con esto poder evaluar las propiedades mecánicas.

Además, esta investigación tendrá un aporte muy favorable para la sociedad ya que permitirá conocer el aprovechamiento de los residuos y tecnología, así como la utilización adecuada de cada material para la construcción de pavimentos articulados.

No obstante, todos los conocimientos adquiridos a lo largo de estos años de estudio en el campo de la Ingeniería Civil Ambiental se utilizarán también para que este proyecto de investigación y así se lleve a cabo con la mayor eficacia posible .

Por último, la tesis tiene como objetivo general: evaluar las propiedades mecánicas de adoquines de concreto elaborados con nanoplaquetas de grafeno y aserrín para la aplicación en pavimentos articulados de alto tránsito; y como objetivos específicos tenemos: Determinar las características de los principales insumos que serán utilizados para el diseño de mezcla de los adoquines, determinar la dosificación del concreto para el adoquín patrón convencional, determinar la dosificación óptima de adoquines de concreto con nanoplaquetas de grafeno y aserrín incorporando porcentajes diferentes para cada material, determinar la resistencia a compresión, flexión y desgaste por abrasión de los adoquines de concreto a los 7, 21 y 28 días, establecer las diferencias en el adoquín de concreto patrón y los adoquines de concreto elaborados con nanoplaquetas de grafeno y aserrín para usarlo en pavimentos articulados de alto tránsito y establecer la rentabilidad económica de los adoquines de concreto adicionados con nanoplaquetas de grafeno y aserrín.

Revisión de Literatura

Antecedentes

Antecedentes Internacionales

Yuanzhao, Qian, Zhenxia y Siqing [3], en su investigación nos mencionan que a medida que aumenta la propiedad de automóviles en China, las carreteras pavimentadas del país se vuelven cada vez más superpobladas, donde pueden propagar una contaminación negra mortal. Sin embargo, el polvo de caucho es crucial ya que aumenta la compatibilidad y estabilidad del asfalto y la incorporación de nanopartículas de grafeno (GNP) también mejora la adherencia del asfalto, la resistencia de la mezcla de agregados y la energía de fractura. El estudio empleó tres tipos diferentes de asfalto que son asfalto base, asfalto modificado con polvo de caucho y asfalto modificado con GNP y polvo de caucho. Para el asfalto combinado se calentaron gramos de asfalto a 175 grados centígrados en un horno, y luego se calentó polvo de caucho a 100 grados centígrados. Luego se agregó 0.05% GNP al asfalto durante 10 minutos y finalmente un 18% polvo de caucho y se mezcló por 15 minutos a una temperatura de 185° y se realizaron pruebas para los tres tipos de asfalto de

cizallamiento dinámico, de recuperación y fluencia de tensión, de viga de flexión, espectro infrarrojo y SEM. Diferentes condiciones de temperatura la formación de surcos en los asfaltos disminuye el aumento de temperatura, si la temperatura permanece constante el módulo del asfalto aumenta con la frecuencia angular, también la tasa de recuperación del asfalto base es 0 y de los otros dos es 5.521 y 5.806kpa. El asfalto modificado de GNP/polvo de caucho tiene un buen rendimiento a baja temperatura, también existe un pico de absorción en número de onda de 1615 cm con respecto a los otros tipos de asfalto. Por lo cual el asfalto modificado de GNP/polvo de caucho tiene estabilidad de temperatura, energía de recuperación de alta tensión y pequeña flexibilidad.

Ortega y Gil [4], nos cuentan que en su investigación se ha buscado realizar reemplazos de materiales asociados a la composición del concreto y mortero, para ello se encuentran los materiales livianos como el aserrín que tiene la ventaja de reducir el uso de materias primas y aprovechamiento de este a partir del procesamiento de la madera. Por lo tanto, se busca reducir la densidad de la mezcla de mortero utilizando aserrín como agente de refuerzo sin reducirlo superficialmente la resistencia del compuesto. Las fibras de aserrín se recolectaron en el proceso de aserrado y luego se realizó el proceso de tamizado. Los morteros se elaboraron con una dosificación de 0.4:1:1, se utilizó moldes de acero para el vaciado de mortero en tres capas. Luego de las 24 horas de curado se almacenaron en una cámara de humedad, se desmoldearon y se ubicaron en un ambiente de 22 °C por 7,30 y 90 días. El contenido de fibra de aserrín fue de 0%, 0.5 % , 1% y 3%. Posteriormente se realizaron ensayos, donde la densidad obtenida en los 7, 30 y 90 días fue de 2.02, 1.99, 2.05 y 1.75 g/cm³ para 0%, 0.5%, 1% y 3%. La resistencia disminuye en el mortero con 3% de fibra de aserrín, ya que el reemplazo de las fibras de aserrín por el agregado fino reducirá la resistencia a la compresión. Por último, se concluye que los morteros que han sido modificados con fibra de aserrín tienen una densidad más baja que el mortero no fibroso y la resistencia a la compresión de los compuestos disminuye con el aumento del contenido de fibra, pero aumenta con un tiempo de curado más largo.

Orhan y Veysel [5]. Nos cuentan que sus estudios demuestran que la regulación de la temperatura no solo aumenta la eficiencia energética, sino que eso también aumenta la vida útil y brinda estabilidad operativa. El tema más destacado en los últimos años ha sido el uso de aditivos suspendidos en fluidos convencionales y utilizados en sistemas para que el calor se transfiera de manera más eficiente. Por lo tanto, las partículas sólidas partículas

añadidas a un fluido aumentan la transmisión de calor y crean perturbaciones en el flujo. En su investigación proponen la aplicación de nanopartículas en fluidos básicos lo cual aumentan el coeficiente de transferencia calórica promedio de los fluidos. Se investiga el efecto de combinar el uso de agua y nanoplaquetas de grafeno y tres tipos de bobinas de alambre (convergente, convergente-divergente y divergente) en el rendimiento termohidráulico de un tubo intercambiador de calor. Se utilizan dos proporciones de paso diferentes de 2 y 3 junto con mezclas de nanofluidos de grafeno-agua al 0.5, 0.75 y 1%. La investigación se realizó a un flujo de calor constante flujo de calor y un número de Reynolds de 4000-27000. Los resultados sugirieron que el uso de bobinas aumentó la transferencia de calor y aumentó un poco las fuerzas de fricción. Se logra una transferencia de calórica cuando se combina una bobina divergente con un nanofluido de grafeno-agua al 1 % , con una relación de paso de 2 y un número de Reynolds de 6128. Por lo cual se determinó que el uso de nanopartículas y uso de bobinas de alambre tiene un efecto creciente en la transferencia de calor.

Antecedentes Nacionales

Apaza y Quispe [7], en su tesis, mencionan que el concreto tiene una buena capacidad de carga de compresión, pero no de carga de tracción, lo que lo hace frágil y susceptible al daño estructural con una vida útil reducida. Por lo tanto, esperan demostrar que la adición de nanotubos de carbono (NTC) al hormigón puede mejorar significativamente las propiedades mecánicas del material protegiéndolo contra daños y mejorando el rendimiento general del material. En este estudio, se utilizaron 2 marcas diferentes de superplastificantes. Luego, se prepararon 14 muestras con diferentes proporciones de plastificante y agua, para verificar su trabajabilidad. Después, se prepararon muestras utilizando cemento Yura Tipo 1 para evaluar la resistencia a la compresión del concreto a una relación de nanotubos de 0.1% en peso de cemento. Luego desarrollaron diseños de mezcla utilizando cemento Yura Tipo IP y Wari Tipo 1, y otro diseño donde se agregaba 0.05%, 0.10% y 0.15% de NTC. Se realizó la prueba de trabajabilidad donde se obtuvo una menor liberación de flóculos de cemento cuando incrementa el porcentaje de NTC. En el ensayo de resistencia a la compresión, presenta mejores resultados con porcentaje de 0.10% y 0.05% de NTC y en la resistencia a la tracción presenta mejor resultado al adicionarle 0.05% de NTC. Se ha determinado que la adición de NTC puede mejorar las propiedades

del concreto en general con una cantidad óptima de NTC y reducen la trabajabilidad de la mezcla con cemento Yura IP.

Tuesta y Vásquez [8], en su estudio nos dicen que en el mundo de la construcción y del ecosistema hay muchos materiales que se pueden añadir al concreto para aumentar su resistencia, como las fibras, pero que también existen adiciones de fibras naturales, que son económicas y accesibles. En su investigación buscaron determinar si se puede aumentar la resistencia del concreto reemplazando parte del cemento portland con un pequeño porcentaje de ceniza de aserrín en Lamas 2021. Ellos buscaron determinar si el concreto $f'c=210$ kg/cm² se puede modificar agregando diferentes cantidades de cenizas de aserrín al 1.5%, 2.5% y 5%. El diseño de la mezcla se llevó a cabo usando un slump de 4" a 6" y elaboración de probetas donde se realizó 9 unidades para el concreto patrón y 9 unidades de moldes para cada porcentaje de ceniza de aserrín, por lo cual una vez realizado el llenado y desmolde de la probeta se realizó el curado en 7, 14 y 28 días. Los resultados fueron los siguientes: al agregar 1.5 % de ceniza al concreto aumentó su resistencia en un 3,38 %, al agregar 2.5 % de ceniza al concreto aumentó su resistencia en un 5.04 % y al agregar 5 % de ceniza al concreto aumentó su resistencia en un 5.5 %. Donde se determinó que adicionando un 5% en volumen de cenizas de aserrín a una mezcla de concreto de $f'c=210$ kg/cm² se mejora la resistencia a compresión del concreto. Al realizar ensayos físicos y químicos a las cenizas del aserrín se llegó a observar que tiene características físicas similares al cemento.

Bases teóricas

Adoquines

Los adoquines son componentes de concreto que han sido prefabricados la cual está constituido por agua, cemento agregado fino y agregado grueso, que pueden soportar altas cargas de compresión. Los materiales deben cumplir con estrictas pautas y estándares de calidad, que son verificados por laboratorios de la industria de la construcción mediante ensayos. [9]

Los adoquines se pueden fabricar con diferentes tipos de resistencia según el uso que se le va a dar, es decir, las cargas que van a soportar dependen del espesor con el que está

elaborado. Se utilizan en todo tipo de tráfico, ya sean vías urbanas, avenidas y calles con tránsito liviano, o en algunas ocasiones puede llegar hacer un gran número de vehículos pesados. [9]

La mayoría de los adoquines tienen una profundidad de 6 centímetros, que es apta para tráfico ligero, 8 centímetros, que es apto para tráfico medio, y 10 centímetros, que es apto para tráfico pesado. Es importante que todos los bloques sean del mismo tamaño, ya que cualquier discrepancia en su apariencia podría dificultar la transmisión de carga a través de las juntas. A menudo se toleran variaciones de ± 2 mm de largo y ancho, y ± 5 mm de espesor para los adoquines. Los bloques del mismo tipo deben ser todos uniformes en tamaño y forma para que puedan desmontarse o desmontarse por separado [10].

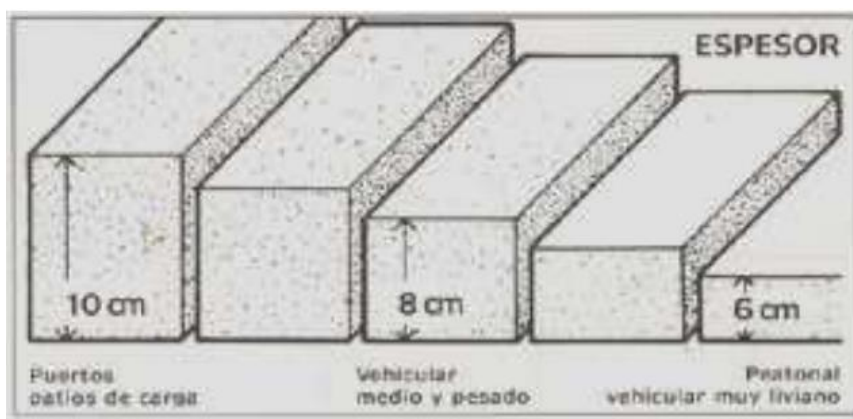


Ilustración 1: Espesores del adoquín.

Fuente: [10]

Producción de adoquines

Los adoquines se fabrican en plantas de concreto utilizando técnicas de última generación y un estricto control tecnológico de calidad. Debido a la precisa formulación de sus componentes, se garantiza un resultado final de calidad superior. [10]

Debido a que los adoquines se fabrican con pigmentos agregados al hormigón, podemos obtener elementos de diferentes colores que servirán como alternativa en el caso de galerías, plazas y otros espacios públicos. [10]

Características de los adoquines

➤ Ventajas de los adoquines de concreto

El uso de adoquines presenta ventajas tanto en términos constructivos y estéticos, como en condiciones de cargas pesadas y livianas, se enumeran a continuación las principales ventajas:

- ✓ No demanda mano de obra altamente calificada.
- ✓ Fácil mantenimiento y a bajo costo.
- ✓ Adaptables a curvas y pendientes.
- ✓ Apto para todo tipo de tráfico.
- ✓ Fácil de desmontar y recuperar para facilitar las instalaciones posteriores.
- ✓ Tienen resistencia, capacidad portante y flexibilidad para adaptarse a las deformaciones del terreno.
- ✓ Para su colocación, se necesita de pocas maquinarias y herramientas sencillas.

➤ Aplicaciones del adoquín

La pavimentación con adoquines de concreto puede adoptar varias formas desde pavimentos decorativos hasta de alto rendimiento. Se aplica una presión de transmisión extremadamente baja al primer grupo, mientras que se ejerce una presión extremadamente alta al segundo grupo. Por tanto, los diseños deben ser tratados específicamente para cada caso. [11].

Por lo tanto, los adoquines se pueden utilizar en veredas, plazas, ciclovías, pavimentos interiores en condominios, donde el tránsito es bajo; en paraderos de taxi, veredas de parque, cruces peatonales, calles, intersecciones, estaciones de servicio, donde el tránsito es desde un nivel bajo a un nivel liviano; y en patios de carga en puertos, patios de contenedores, plataforma de aeropuertos, donde las cargas son netamente altas.

Tipos de adoquines

➤ Según su uso

De acuerdo con la NTP 399.611 existen tres tipos diferentes de adoquines de concreto:

- ✓ **Tipo I:** Adoquines de tipo peatonal.
- ✓ **Tipo II:** Adoquines para pavimentos de tránsito de vehículos ligeros.
- ✓ **Tipo III:** Adoquines para pavimentos de tránsito pesado, patios industriales, etc.

➤ Según su forma

A nivel internacional los adoquines se clasifican según su apariencia en tipo “A”, “B” y “C”.

- ✓ **Adoquín tipo “A”:** Son unidades de concreto interconectadas unas con otras donde se garantizan las mejores condiciones de trabajo frente a fuerzas verticales y horizontales.
- ✓ **Adoquín tipo “B”:** Son unidades que tienen un menor inter-trabazón y tienen mayor desempeño frente a desplazamientos perpendiculares a sus ejes.
- ✓ **Adoquín tipo “C”:** Son unidades de forma regular en sus caras y no proporcionan arriostamiento para resistir el movimiento vertical o de rotación.

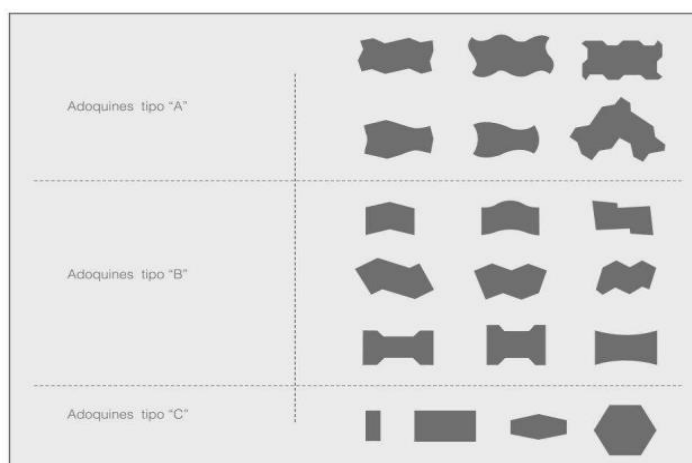


Ilustración 2: Adoquines según su forma.

Fuente: [11]

Requisitos de los adoquines

✓ **Requisitos físicos**

Tipo	Espesor nominal (mm)	Resistencia a la compresión, mín. MPa (kg/cm ²)	
		Promedio de 3 unidades	Unidad individual
I (Peatonal)	40	31 (320)	28 (290)
	60	31 (320)	28 (290)
II (Vehicular ligero)	60	41 (420)	37 (380)
	80	37 (380)	33 (340)
	100	35 (360)	32 (325)
III (Vehicular pesado, patios industriales o de contenedores)	≥ 80	55 (561)	50 (510)

Tabla 1: Espesor nominal y Resistencia a la compresión.

Fuente: [12]

✓ **Requisitos de tolerancia dimensional**

Tolerancia dimensional, máx. (mm)		
Longitud	Ancho	Espesor
± 1,6	± 1,6	± 3,2

Tabla 2: Tolerancia dimensional.

Fuente: [12]

Aserrín

El aserrín es el conjunto de partículas que se separan de la madera durante el proceso de aserrado. También contiene diminutas partículas de madera formadas durante la manipulación y proceso de esta [13].

El aserrín está hecho de tejido celular. La madera dura tiene una densidad de alrededor de 1,5 veces la del agua, sin embargo, esto puede variar ampliamente de una especie a otra. Aun así, la madera seca puede flotar porque tiene cavidades llenas de aire. La gravedad específica está influenciada por la cantidad de gomas y resinas que la madera pueda contener [14].

Tipos de aserrín

Los tipos de aserrín se genera según el tipo de madera que la constituye cada árbol que se encuentra en el medio natural. Esta madera es procesada en los talleres de carpintería y cuando está es aserrada se produce el aserrín que son pequeñas partículas que se desprenden de la madera.

Características

El aserrín es un residuo orgánico que tiene pigmentación, es decir un color natural que lo caracteriza, también es un material de adherencia y de buena manipulación la cual permite mezclar como agregado al producto en pleno proceso de elaboración. El aserrín también se caracteriza por estar compuesto principalmente de fibras de celulosa y unidades de lignina.

Composición química y mecánica del aserrín

Las propiedades pueden diferir de un tipo de madera a otro, es importante considerar las características que posee la madera en sí misma para tener un conocimiento básico de lo que está constituido el aserrín .

➤ Propiedades químicas

Consta de 3 componentes: celulosa, hemicelulosa, lignina y en menor medida extractos (sustancias orgánicas) y cenizas (sustancias inorgánicas). La celulosa del homopolímero de glucosa lineal posee alta resistencia a la tracción e insolubilidad en la mayoría de los solventes. Sin embargo, la hemicelulosa también es un polisacárido compuesto por cinco unidades azúcares diferentes (glucosa, manosa, galactosa, xilosa y arabinosa), y sufren descomposición al igual que la celulosa. Finalmente, la molécula de lignina es un sistema aromático formado por fenilpropano y tiene una estructura discontinua [15].

➤ **Propiedades mecánicas**

✓ **Resistencia a la flexión**

La madera fabricada puede flexionarse y doblarse sin romperse al aplicar cargas perpendicularmente a sus fibras. Esto sucede cuando la madera se usa en vigas, viguetas, entablado, etc. [16].

✓ **Resistencia a la compresión**

Debido a que puede soportar fuerzas externas, la madera se comprimirá cuando se somete a ellas, por lo cual hacen que se acorte en longitud. Esta resistencia puede aparecer en direcciones paralelas o perpendiculares a las fibras [16].

✓ **Dureza**

Es la capacidad de la madera para soportar daños por penetración, como las abolladuras y el desgaste. Esta resistencia está en función de la densidad, edad y estructura [16].

➤ **Propiedades mecánicas**

✓ **Conductividad Térmica**

Lo que esto significa es que la cantidad de calor transferido a un material cuando se calienta o se enfría es una medida de que tan bien puede soportar el aumento de temperatura. Esta propiedad es menos pronunciada en la madera que en el metal. Las propiedades de conductividad térmica se ven comprometidas por factores las cuales son densidad, contenido de humedad, la temperatura. Si la humedad disminuye la conductividad térmica aumenta. [17]

✓ **Calor específico**

Describe la abundante energía disponible en el material para incrementar su masa y temperatura. En este caso va a depender de la humedad que tenga la madera. El

aislamiento térmico de la madera depende de la temperatura; cuando la madera contiene agua, su capacidad de generar calor aumenta. [17]

✓ **Coefficiente de expansión térmica**

Es el grado de medida de cuánto se expande o contrae un material a medida que su temperatura sube o baja. Cuando la madera se ha se ha dejado secar, su coeficiente de dilatación es positivo. La madera con la presencia del calor tiende a expandirse. [17]

Usos del aserrín

El aserrín está siendo usado hace bastante tiempo, este material ha sido clasificado como material de desecho. Cuando se mezcla con arena, mineralizadoras, se obtiene un material de construcción con excelente versatilidad. El aserrín se puede utilizar con fines de aislamiento, el hormigón de aserrín también se usa para edificios residenciales. Este material se puede usar de manera global y regional.

➤ **Uso Global**

El aserrín en países desarrollados se le hizo investigaciones para la obtención de tableros de fibra de densidad media conocida como MDF, los cuales son realizados de este material y mezclado con resina para que se obtenga un material compacto y resistente. También es usado para realizar pequeñas artesanías donde se detalla la cultura de cada país.

➤ **Uso Regional**

Para países subdesarrollados como en el caso del Perú el aserrín se puede usar como método de limpieza de suelo, también para realizar morteros que serán aplicados en muros de tabiquería o en algunos casos es vendido para que el comprador tenga libertad de hacer con el aserrín lo que se le ocurra.

Análisis térmico diferencial

La técnica de medición del gradiente de temperatura consiste en medir la diferencia de temperatura entre una sustancia y un material mientras ambos están sujetos a una temperatura constante. Esta técnica nos permite detectar los fenómenos que ocurren en la sustancia a una temperatura dada. [18]

Fluorescencia de rayos x

Esta técnica es un análisis instrumental no destructiva que nos dirá de qué está hecho un material o sustancia. La energía cinética de los rayos X es lo suficientemente alta como para que puedan ionizar una muestra al chocar con ella y expulsar electrones; estos iones son inestables porque ya están ocupados por electrones. [19]

Nanotecnología

La nanotecnología es una de las ciencias empleadas en el manejo y procesamiento de la materia a nivel atómico y molecular (nanomateriales), una escala menor que la de un microscopio. El rango típico de manipulación es entre uno y cien nanómetros. [20]

El alcance de la nanotecnología abarca todo el ciclo productivo de materiales a nivel de nano escala, desde estudio y diseño, hasta la creación de sistemas o aparatos a escala nanométrica. La nanotecnología también ha experimentado un gran auge debido a su capacidad de ofrecer nuevas propiedades a materiales y dispositivos formados por objetos muy pequeños. Una de las propiedades que está directamente relacionada con el tamaño es la reactividad, la cual hace que un objeto pequeño sea más reactivo que uno más grande. Si el tamaño de los componentes se reduce a la mitad, el tiempo empleado por los electrones también disminuirá proporcionalmente [20].

Clasificación de los nanomateriales

Los nanomateriales se separan según su tamaño, dimensión, su procedencia y su naturaleza química.

Clasificación	Nanomateriales
Según su procedencia	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Natural: generado por plantas, volcanes, espumas marinas. ✓ Incidental: generados por combustión de vehículos, procesos industriales. ✓ Artificial: generado por diversos procesos de fabricación
Según su naturaleza química	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Orgánicos: Grafeno, nanotubos de carbono, nano partículas poliméricas, nano fibras poliméricas, etc. ✓ Inorgánicos: Nano arcillas, nano cables, nano fibras, nanosílice, etc.
Según sus dimensiones	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cero dimensional: Tres dimensiones <100 nm son: moléculas, fullerenos, puntos cuánticos, átomos, etc. ✓ Uni dimensional: Dos dimensiones <100 nm son: nanocables, nanotubos, nanofibras, etc. ✓ Bi dimensional: Una dimensión <100 nm son: películas multicapa, películas poliméricas, monocapas, etc.
Según su tamaño	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Grafeno: espesor lámina 0.1 nm ✓ Nanotubos de carbono: 1 – 10 nm ✓ Átomos: 0.05 – 0.5 nm

Tabla 3: Clasificación de los nanomateriales

Fuente: [21]

Nanotecnología en la Ingeniería Civil

La nanotecnología en la ingeniería civil tiene una serie de aplicaciones en este campo, puede mejorar una gran cantidad de materiales de las cuales algunas son el vidrio, hormigón y acero. Las nanopartículas también se pueden usar en recubrimientos tales como pintura para dar el recubrimiento.

Combinar la nanotecnología con la ingeniería civil y la construcción tiene enormes beneficios potenciales. Este tipo de nanotecnología puede prolongar la vida útil del hormigón, crear materiales resistentes al fuego como lo es el acero, y otorgar a los materiales de construcción cualidades tales como una autoreparación y autolimpieza.

La nanotecnología puede y ha revolucionado la forma en que la ingeniería lleva a cabo abriendo posibilidades para los materiales y es un importante aspecto para el campo de la ingeniería civil. [22]

Nanotecnología en el Concreto

El concreto, en comparación con otros materiales de construcción, es ampliamente usado en la construcción. Está formado por pequeños cristales de varias dimensiones y es un material heterogéneo que está ligado al agua y tiene una fase amorfa que envejece con el tiempo. El concreto está influenciado por las propiedades de la nanotecnología. El uso de la tecnología y la importancia de la estructura y el comportamiento a nivel básico es un aspecto importante. La fabricación de cemento tiene algunas desventajas, por lo que se han realizado esfuerzos para reducir la proporción de cemento en el concreto. Por lo tanto, la nanotecnología se ha convertido en un enfoque para resolver problemas que trata con la constituyente del hormigón.

Mediante la inclusión de nanopartículas como la incorporación de nanosílice, el nanohierro y el dióxido de titanio en el concreto se puede alterar de muchas maneras, ya que magnifica la estructura de poros del concreto, fortalece sus propiedades mecánicas y de durabilidad, y acelera la formación de gel (C-H-S) [23].

Nanopartículas	Propiedades
Nanosílice	<p>La incorporación de nanosílice mejora las propiedades de resistencia del concreto:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Resistencia a la absorción de agua. ✓ Resistencia a la segregación. ✓ Evita la lixiviación del calcio.

<p style="text-align: center;">Nanohierro</p>	<p>La adición del nanohierro exhibe una mayor flexibilidad, así como sus propiedades mecánicas y muestra capacidades de autodetección.</p>
<p style="text-align: center;">Dióxido de Titanio</p>	<p>Esta nanopartícula de dióxido de titanio se utiliza como elegante revestimiento reflectante porque reduce los contaminantes del aire en las superficies exteriores.</p>

Tabla 4: Nanopartículas que se adicionan al concreto.

Fuente: Elaboración propia.

Grafeno

Los átomos de carbono constituyen la columna vertebral de la molécula amorfa conocida como grafeno. Los diamantes y el grafito son otros dos ejemplos de formas de carbono alotrópicas. Se está volviendo cada vez más importante como sustancia tecnológica.

En el grafeno, los átomos de carbono se encuentran como redes hexagonales, lo que lo convierte en uno de los elementos más esenciales y abundantes de la naturaleza. El carbono, un componente clave de muchos minerales y combustibles, es fundamental para nuestra vida [24].

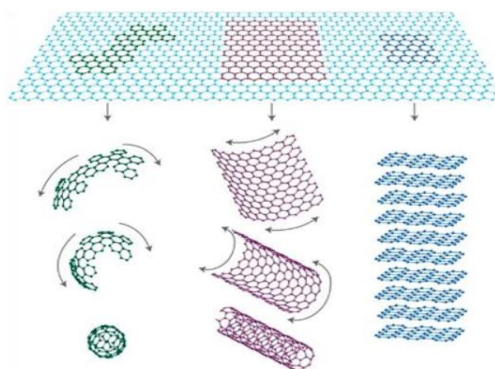


Ilustración 3: Estructura del anillo de grafeno.

Fuente: [24]

Nanoplaquetas de Grafeno

Las nanoplaquetas de grafeno (GNP) son nanocristales de grafito las cuales son similares a las plaquetas de capas multigrafeno. Estas nanoplaquetas son nanorrellenos que tienen capas simples y múltiples de un plano de grafito. Este material se caracteriza por tener una alta resistencia mecánica (1 TPa en el módulo de Young y 130 GPa en la resistencia máxima), pero también es químicamente estable debido a su abundancia en la naturaleza y la eficiencia de su área superficial, lo que resulta en altos niveles de tensión y proporciona un mayor esfuerzo. [25]

Las nanoplaquetas de grafeno (GNP) son un tipo de partículas de carbono con un espesor muy pequeño, que varía entre 1 y 15 nm (equivalente a 3-45 capas de grafeno), y dimensiones laterales de hasta 50 μm . Debido a su tamaño nanométrico y a las mejoras en sus propiedades mecánicas, los GNP se utilizan como refuerzos en materiales estructurales. Además, la producción de los GNP a gran escala a un precio razonable los hace más accesibles en comparación con otros refuerzos carbonosos, como los nanotubos de carbono (CNT), que también tienen hibridación sp^2 [26].

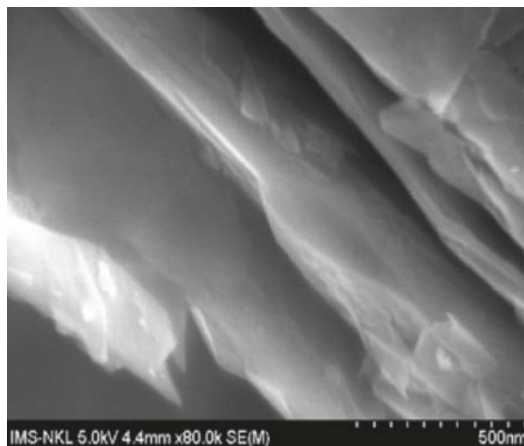


Ilustración 4: Superficie de la nanoplaqueta de grafeno.

Fuente: [26]

Estructura de las Nanoplaquetas de Grafeno

Las nanoplaquetas de grafeno son unas estructuras bidimensionales las cuales están conformadas por una disposición hexagonal de átomos de carbono en un solo plano, con una escala de espesor en el rango nanométrico. Este material tiene presente una

combinación excepcional de propiedades, como alta dureza, elasticidad, flexibilidad y densidad, junto con una elevada conductividad eléctrica y a la vez térmica. Además, su bajo peso y capacidad para soportar altas dosis de radiación ionizante lo convierten en un material altamente prometedor para distintas aplicaciones en la industria de la ciencia. [27]

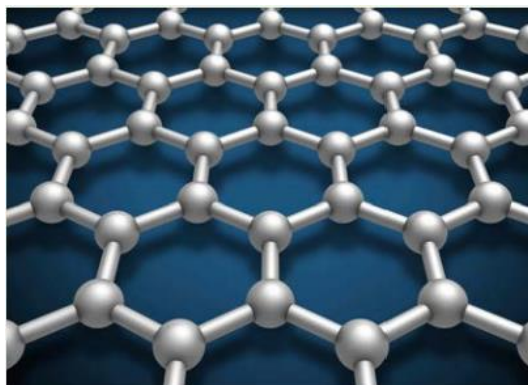


Ilustración 5: Estructura morfológica de la nanoplaqueta de grafeno.

Fuente: [27]

Características de las Nanoplaquetas de Grafeno

Las características que presenta la nanoplaqueta de grafeno se detallarán a continuación en el siguiente cuadro:

Características	Medidas
Densidad aparente	0.06-0.09 g.cm ⁻³ aprox.
Carbono amorfo	No detectado
Superficie específica	20 m ² /g aprox.
Tamaño de la sección plana de las GNP	0.3 – 0.5 μm
Grosor de las GNP	< 50 nm
Número de capas de grafeno	De 10 a 100
Fuente	Grafito natural
Presentación	Polvo seco

Tabla 5: Características de la nanoplaqueta de grafeno

Fuente: [28]

Propiedades de las nanoplaquetas de grafeno

Las nanoplaquetas de grafeno tienen propiedades similares a los nanotubos de grafeno, por lo cual estas propiedades le permiten ser utilizados en diferentes aplicaciones, a continuación, se detallará cada una de estas propiedades:

➤ **Propiedades eléctricas**

Las propiedades eléctricas de las nanoplaquetas de grafeno tienen diversas aplicaciones en la nanotecnología, ya que pueden ser metálicos o semiconductores. [29].

➤ **Propiedades ópticas**

Los estudios específicos sobre las propiedades ópticas de las nanoplaquetas de grafeno incluyen absorción, fotoluminiscencia luminiscencia. Estos estudios se pueden obtener examinando la reflectividad, conductividad óptica, absorción y pérdida de energía a partir de la función dieléctrica [29].

➤ **Propiedades mecánicas**

Las características mecánicas de las nanoplaquetas de grafeno lo convierten en uno de los materiales más resistentes debido a la estabilidad de los enlaces entre los átomos de carbono, la cual otorga la capacidad de ser muy fuerte. El módulo de Young de estas nanoplaquetas se encuentra entre 1.3 y 1.8 TPa, donde esta mejora si se unen entre sí. Estas nanoplaquetas tienden a resistir grandes fuerzas y, aunque se deforme puede volver a su forma original [29].

Dispersión de las Nanoplaquetas de Grafeno

Las nanoplaquetas de grafeno son altamente fuertes y flexibles, pero son muy cohesivos. Este material al ser de una estructura nanométrica en forma de cilindro. Para aplicarlo en el concreto, una de las dificultades que tiene este material es su dispersión, ya que debido a las fuerzas de Van der Waals este material tiende a aglomerarse la cual disminuyen el rendimiento de su resistencia. Para realizar esta dispersión existen una variedad de técnicas como lo es la agitación mecánica de alta velocidad, la sonicación o ultrasonido. Esta última

es un buen método de dispersión ya que el material va a recibir ondas las cuales va a separar las partículas y así evitar que se forme una molécula.

- ✓ **Método de Dispersión:** La dispersión de los nanomateriales como los nanotubos o nanoplaquetas en diferentes medios, tales como agua, aceites o polímeros, puede ser eficientemente lograda mediante el uso de ultrasonido, debido a que la aplicación de fuerzas de cizallamiento generadas por esta técnica son suficientemente intensas para que se puedan superar las fuerzas de conexión existentes entre los nanomateriales, permitiendo así su separación y distribución homogénea en el medio de dispersión seleccionado. [5]

Aplicaciones de las nanoplaquetas de grafeno

Las nanoplaquetas de grafeno tienen diversas aplicaciones por ejemplo en el uso para blindajes debido a su alta capacidad de resistencia. También pueden ser usados en la aplicación para nuevos materiales compuestos como por ejemplo la matriz polimérica, donde al emplear el grafeno genera compuestos de mayor rigidez y resistencia que los tradicionales compuestos de nanotubos de carbono. Sin embargo, también pueden ser usados para disipadores de calor debido a su excelente capacidad térmica que presenta el grafeno.

Concreto

El concreto es una combinación compuesta por cemento Portland, agregado fino y grueso, agua, aire y, en caso de ser necesario aditivos, lo cual posee una cualidad esencial que es endurecerse con el tiempo, adquiriendo características que la hacen propia en la construcción. Este tipo de concreto posee suficiente tiempo de manejabilidad cuando se encuentra en estado fresco y una excelente cohesividad cuando está en estado endurecido.

Para lograr un concreto de óptima calidad va a depender de la utilización de materiales de buena procedencia y también su correcta dosificación, así como de la adecuada ejecución de las etapas de mezclado, transporte, colocación, compactación y curado, ya que dichos procedimientos influyen significativamente en la calidad final del concreto [30].

Concreto Vibrado

Desde hace mucho tiempo, la técnica de vibración ha sido considerada como uno de los métodos experimentales y más efectivos para conseguir una compactación adecuada del concreto, ya que permite obtener características definidas, como resistencia mecánica, compacidad y una superficie enorme. Al someter el concreto a una vibración de alta frecuencia, se logra un proceso de acomodamiento de la masa la cual favorece la uniformidad del asentamiento, disminuyendo la presencia del aire atrapado en su interior [31].

Este método de vibración tiene un problema con lo que respecta al efecto de pared, puesto este fenómeno se da en aquellos especímenes que cuentan con paredes altas y un espesor reducido, pues el asentamiento de la masa de concreto no se dará de una manera correcta por la cual se procederá a adoptar aparatos de más alta potencia para poder corregir esta ineficiencia [31].

Propiedades del concreto Vibrado

- ✓ **Compacidad:** Durante la mezcla del concreto, conocido como amasado, se agrega una cantidad de agua mayor que la necesaria para la hidratación del cemento, pero menor que la que se usa para el concreto en su totalidad. Al absorber el cemento el agua excedente, la cantidad remanente se evapora, lo que produce una mayor cantidad de poros en la estructura del hormigón, lo que resulta en una mejora en la compacidad del concreto.
- ✓ **Impermeabilidad:** Depende de la compacidad. Pues la granulometría también es de gran importancia ya que si está es continua y tiene un aumento de cemento con un aumento de vibración se obtendrá un concreto de alta impermeabilidad.
- ✓ **Resistencia mecánica:** Esta propiedad es una de las características de gran importancia, pues se incrementa si aplicamos una vibración de gran potencia.
- ✓ **Resistencia a la abrasión y congelamiento:** Esta propiedad también es una de aquellas que dependen de la compacidad pues genera una alta resistencia al desgaste.

Entre los muchos beneficios de este tipo de concreto es que presenta un excelente comportamiento a las heladas ya que tiene un menor contenido de agua de amasado y tiene una compactación adecuada.

- ✓ **Desmolde rápido:** Esta característica al realizar elementos prefabricados se puede obtener un desmolde rápido, si se tiene una granulometría adecuada y contiene poca agua de amasado. Si el elemento al desmoldar se tiende a romper pues se considera que tiene un incremento de agua o de agregado fino.

Adiciones para concreto

Son aquellos materiales que son distintos al agua, agregados y al cemento. Pueden ser materiales naturales como artificiales, son aplicados en pequeñas cantidades como ingrediente del concreto sea antes o durante el mezclado. Estos materiales contienen alúmina y sílice. Los adicionantes son categorizados como activos e inertes, la cual los activos reaccionan con hidróxido de calcio y los inertes no alteran las condiciones de elaboración del concreto. [32]

Normas Técnicas Peruanas

- ✓ **NTP 399.611: Unidades de Albañilería. Adoquines de concreto para pavimentos. Requisitos.**

Define los criterios que debe desempeñar un adoquín prefabricado de concreto para ser utilizado en la construcción de pavimentos de diferente flujo de tránsito ya sea peatonal, ligero o pesado. [12]

- ✓ **NTP 400.012: Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.**

Establece requisitos para poder determinar el tamaño de las partículas de los agregados mediante tamizados, es decir pasar el agregado por una serie de mallas que están establecidos en la norma para cada uno de ellos. [33]

- ✓ **NTP 339.185: Agregados. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.**

La presente norma nos indica el procedimiento para determinar el porcentaje de humedad total que presentan los agregados ya que existen poros que pueden estar llenos de agua y con este ensayo podemos verificar si estos agregados nos pueden aportar o nos resta agua en la fabricación del concreto. [34]

- ✓ **NTP 400.017: Agregados. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados.**

Siguiendo el procedimiento establecido en la norma, se puede determinar tanto el peso unitario de un agregado suelto como el compactado de un agregado, y así determinar la cantidad total de espacio vacío dentro del agregado. Este ensayo es adecuado para los agregados cuyo tamaño máximo no supere los 125 mm como Tamaño Máximo Nominal (TMN) [35].

- ✓ **NTP 400.021: Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso.**

Esta norma establece los pasos necesarios para determinar la densidad del agregado grueso, la densidad relativa y el grado de absorción la cual este último se calcula dejando 24h el agregado sumergido en agua. [36]

- ✓ **NTP 400.022: Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino.**

Esta norma establece los pasos necesarios para determinar la densidad del agregado grueso, la densidad relativa y el grado de absorción, pues este último se determina mediante el secado del agregado durante 24h. [37]

- ✓ **NTP 339.035: Concreto. Método de ensayo para la medición del asentamiento del hormigón con el cono de Abrams.**

Nos indica la precisión del asentamiento que tiene el concreto en estado fresco para ver si este es trabajable y se realiza tanto en laboratorio como en obra. [38]

- ✓ **NTP 399.604: Unidades de Albañilería. Métodos de muestro y ensayo de unidades de albañilería de concreto. Resistencia a la compresión.**

Esta norma proporciona los procedimientos y pruebas relacionadas con las unidades de albañilería de concreto con el objetivo de obtener dimensiones, resistencia a la compresión, la densidad y humedad. Esta norma será aplicada para llevar a cabo la evaluación de la resistencia a la compresión del adoquín. [39]

- ✓ **ITINTEC 339.124: Adoquines de concreto prefabricado para pavimentos. Resistencia a la flexión.**

La norma define los criterios de pruebas que deben cumplir los adoquines de concretos prefabricados para que sean destinados a la construcción de pavimentos. Esta norma se empleará para llevar a cabo la característica de la resistencia a la flexión. [40]

Normas Técnicas Internacionales

- ✓ **ACI 211.1: Práctica estándar para seleccionar el proporcionamiento de concreto de peso normal, pesado y masivo.**

Esta norma nos proporciona los pasos necesarios para colocar las proporciones adecuadas de los agregados y poder elaborar el diseño de mezcla adecuado para el adoquín prefabricado. [41]

- ✓ **ASTM C 944-99: Método de Ensayo Estándar para Resistencia a la Abrasión en Superficies de Concreto o Mortero por el Método de Corte Rotativo.**

Esta norma nos proporciona el procedimiento necesario para determinar la resistencia a la abrasión del concreto mediante ciclos de 2 minutos de duración a una potencia normal de 98N con 3 periodos de ensayo. [42]

- ✓ **DIN 51007: Análisis Térmico Diferencial (ATD) y calorimetría diferencial de barrido (DSC).**

Permite el uso de un horno con límite de temperatura de -150 a 2400 °C con diferentes sistemas de medición de ATD.

- ✓ **ASTM E967-18: Método de prueba estándar para la calibración de temperatura de calorímetros diferenciales de barrido y analizadores térmicos diferenciales.**

La norma nos describe la calibración de temperatura de analizadores térmicos diferenciales de barrido en rangos de temperaturas de -40 °C a 2000°C, Esta norma no incluye unidades de medida.

- ✓ **DIN 53765:1994-03: Pruebas de plásticos y elastómeros; análisis térmico: método DSC.**

Esta norma especifica la determinación del efecto térmico de los plásticos y elastómeros en la etapa de transición, reacciones químicas y capacidad calorífica específica.

- ✓ **ASTM C25-06: Métodos de prueba estándar para el análisis químico de piedra caliza, cal viva y cal hidratada.**

La norma cubre el análisis químico de caliza, con alto contenido de calcio, cal viva y cal hidratada. Tiene métodos de prueba la cual se clasifican como estándar o alternativo.

Definición de términos básicos

- ✓ **Adoquín de concreto:** Son piezas uniformes de hormigón, los cuales son macizas tienen una gran resistencia, son colocados unos con otros dejando una pequeña junta formando un pavimento de gran fortaleza.
- ✓ **Pavimento articulado:** Es aquella estructura compuesta por capas de diversos materiales (adoquín, cama de arena, base, subbase), las cuales se asientan sobre la subrasante. Estos pavimentos permiten el libre tránsito de personas, animales y vehículos de una manera segura, cómodo y económica.
- ✓ **Aserrín:** Es un grupo de partículas o polvillo que se separa de la madera cuando este es aserrado. En algunos casos también contiene pequeñas partículas de madera que es producido de la misma manera.
- ✓ **Nanoplaquetas de Grafeno:** Las GNP son aquellas que tienen una forma multicapa de grafeno con diversa gama de espesores y diámetros de partícula, su estructura es de carbono a escala nanométrica en forma plana/laminar.
- ✓ **Propiedades mecánicas:** Son aquellas propiedades que afectan a la capacidad de los materiales cuando estas son sometidas a cargas, es decir, estas propiedades hacen que el material pueda soportar cargas y deformaciones.
- ✓ **Resistencia a la compresión:** La propiedad más destacada del concreto es su capacidad de resistir cargas por unidad de superficie, la cual está expresada en términos de esfuerzo, comúnmente medido en Kg/cm^2 o MPa y en algunos casos en psi [43].
- ✓ **Resistencia a la flexión:** Es la facultad que tiene el material a resistir fuerzas que son aplicadas de manera perpendicular a su eje longitudinal.
- ✓ **Resistencia al desgaste por abrasión:** Es la remoción del material de la superficie en contacto con superficies sólidas entre las dos superficies deslizantes.

- ✓ **Agregado fino:** Es el material generado por la fragmentación de manera tanto natural como artificial de las rocas, que atraviesa el tamiz con abertura de 3/8" (95mm).
- ✓ **Agregado grueso:** Aquel que se produce por la descomposición natural o artificial de las rocas y se almacena en el tamiz N° 4 (4.75 mm)
- ✓ **Diseño de mezcla:** Es el material que se genera al realizar el mezclado de cemento con los áridos y el agua. El cemento al mezclarse con el agua va a producir una pasta moldeable con propiedades adherentes, que en poco tiempo fragua y se va a endurecer hasta formar un material de consistencia pétreo.

Metodología

Tipo y nivel de investigación

- ✓ **De acuerdo con el desarrollo de la investigación es de tipo:** Es una investigación de tipo tecnológica debido a que se va a adicionar en determinados porcentajes los materiales de aserrín y nanoplaquetas de grafeno en el concreto, por lo cual esta investigación proporcionará un mayor conocimiento y aporte en la fabricación de elementos prefabricados para su uso en un pavimento articulado de alto tránsito.
- ✓ **De acuerdo con el fin que se persigue es del nivel:** Es una investigación de nivel experimental ya que se van a adquirir ensayos al fabricar concreto para el adoquín prefabricado que será usado para pavimento articulado de alto tránsito con adiciones de aserrín y nanoplaquetas de grafeno de grafeno.

Diseño de investigación

Hipótesis

Al realizar la combinación de diversos porcentajes de nanoplaquetas de grafeno y de aserrín en el concreto para la elaboración de adoquines, elevará sus propiedades mecánicas para que posteriormente pueda ser utilizado en pavimentos de alto tránsito.

Población, muestra y muestreo

Población

La población es el conjunto de adoquines de concreto convencional y los adoquines de concreto elaborados de manera combinada con adiciones de 0.05% y 0.10% de nanoplaquetas de grafeno y 1% y 1.5% de aserrín para una resistencia de $f'c = 420$ kg/cm².

El adoquín tendrá las siguientes medidas ya que es un elemento prefabricado que se usará para pavimento de alto tránsito: 6cm de alto, 10cm de ancho y 20 cm de largo.

Muestra

Se utilizará 3 adoquines para cada ensayo y para cada edad, las muestras que se tomarán son de 135 adoquines, que se dividen en 27 adoquines de concreto convencional, 27 adoquines de concreto para cada combinación; para posteriormente determinar sus propiedades mecánicas.

Muestreo

El muestreo que se utilizó es no probabilístico ya que el investigador ha seleccionado los elementos a utilizar según su criterio y por supuesto los porcentajes elegidos de adición de cada material fueron escogidas según investigaciones que se han plasmado por otros investigadores en sus proyectos.

Muestreo para adoquines de e = 6cm							
Muestra de Adoquín	Porcentaje de reemplazo	Edades (7, 21 y 28)	Resist. a la compresión	Resist. a la flexión	Resist. al desgaste por abrasión	Sub Total	Total
A. Patrón	-	3	3	3	3	27	135
A. adicionado con Nanoplaquetas de Grafeno y de aserrín	0.05% y 1%	3	3	3	3	27	
	0.05% y 1.5%	3	3	3	3	27	
	0.10% y 1.5%	3	3	3	3	27	
	0.10% y 1.5%	3	3	3	3	27	

Tabla 6: Cantidad de adoquines.

Criterios de selección

Para elegir las muestras para su análisis se ha tomado en cuenta el criterio del investigador:

- ✓ Los componentes utilizados en la mezcla del concreto para los adoquines de $f'c = 420$ kg/cm^2 consistieron en agregado fino proveniente de la cantera “Tres Tomas” ubicada en la provincia de Ferreñafe, y el agregado grueso (confitillo) de la chancadora “Piedra Azul” ubicada a 1.5 Km del distrito de Picsi.
- ✓ El cemento que se empleará para producir el concreto del adoquín $f'c = 420$ kg/cm^2 es el Cemento Portland tipo MS.
- ✓ En los adiconantes que se agregarán al concreto tenemos se llegó a los siguientes criterios:
 - El aserrín que se utilizará para la elaboración de adoquines debe ser de diversos tipos de madera ya que en los aserraderos siempre al realizar el proceso de aserrado este material se va a mezclar con otros tipos de madera. Así mismo se procuró que este material no este contaminada, para evitar futuras complicaciones con la elaboración del adoquín.
 - En el caso de las nanoplaquetas de grafeno, este material fue proporcionado por la casa de estudios en el cual verificaron que sea el adecuado para elaborar la presente investigación.

Operalización de Variables

VARIABLES	DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
Variable Dependiente	Propiedades Mecánicas	Resistencia a la Compresión	Carga Deformación	Prensa hidráulica/ NTP 339.604
		Resistencia a la Flexión	Carga Ruptura	Prensa hidráulica/ ITINTEC 339.124
		Resistencia al Desgaste por Abrasión	Rozamiento	Dispositivo de abrasión / ASTM C 944-99
Variable Independiente	% adición de Nanoplaquetas de Grafeno	0.05%, y 0.1%	Potencia de ondas	Balanza y Máquina de dispersión por Ultrasonidos
	% adición de Aserrín	1.0% y 1.5%	Temperatura	Horno de Calcinación
Variable Interviniente	Agregados	Características Físicas	Granulometría	NTP 400.012
			Contenido de Humedad	NTP 339.185
			Peso Volumétrico Suelto y Compactado	NTP 400.017
			Peso específico y Grado de absorción del agregado fino	NTP 400.022
			Peso específico y Grado de absorción del agregado grueso	NTP 400.021
	Diseño de Mezcla	f'c de diseño	ACI 211.1	

Tabla 7: Operalización de variables.

Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

Técnicas

Las técnicas que se utilizarán para que el desarrollo de esta investigación se lleve de a cabo de la mejor manera son las siguientes:

- ✓ **Observación:** Se va a realizar la visita a la cantera donde se tomará el material para realizar el proyecto, se inspeccionará detenidamente el molde de adoquines la cual tiene que estar en buen estado y liso, por último, el nanotubo de grafeno y aserrín se examinarán para que estén libre de agentes peligrosos y contaminantes.
- ✓ **Experimentación:** Mediante este proceso se manipularán las variables mediante ensayos para determinar las propiedades mecánicas del adoquín siguiendo las normas técnicas peruanas respectivas.
- ✓ **Evaluación:** Para realizar los adoquines se utilizará el Método ACI 211 ya que esto nos permitirá realizar el diseño de mezcla para tener una proporción adecuada de los materiales que se emplearán en el adoquín.
- ✓ **Análisis de resultados:** Durante la ejecución de la investigación se revisarán diferentes investigaciones, las normas vigentes; la cual nos permitirá resolver cualquier tipo de duda que tenga el investigador y así tener una finalización exitosa del proyecto.

Instrumentos

Fuentes y programas que se usarán para el tiempo que se empleará en esta investigación:

- ✓ **Programas:**
 - Los programas de Microsoft Office como Word y Excel.
- ✓ **Fuentes:**

Se utilizará diversas fuentes para la obtención de información, las cuales durante el proceso de esta investigación se utilizaron las siguientes:

- Normas Técnicas Peruanas
- Reglamento Nacional de Edificaciones
- Normas Técnicas Internacionales
- Norma C.E 010 Pavimentos Urbanos
- Tesis y Artículos nacionales e internacionales las cuales sirvieron de apoyo para el desarrollo de esta investigación.

Procedimiento

a) Ensayos de Agregados

En este punto del proyecto de investigación se recopilan datos que se van a obtener de la prueba de agregados que haremos antes de comenzar a hacer los adoquines:

✓ Ensayo de Granulometría del agregado fino y grueso

Esta prueba debe llevarse a cabo siguiendo los criterios y métodos establecidos en la NTP 400.012 y la NTP 400.037 ya que son normas cruciales para realizar este ensayo.

➤ Agregado Fino

Para realizar el ensayo se utilizarán diversos instrumentos y equipos: brocha, cucharón, taras, balanza eléctrica, horno que tenga una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ de manera constante y tamices (3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100).

Para esta investigación se ha considerado una muestra de 500gr de agregado fino para posteriormente llevarlo al horno ya que la NTP 400.012 nos exige secar la muestra en un horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24h.



Ilustración 6: Peso del agregado fino

Al sacar la muestra del horno y que el agregado se encuentre seco se procede a realizar el proceso de tamizado por cada uno de ellos, luego se agita los tamices de forma circular por un cierto tiempo. Luego el retenido de cada tamiz se va pesando para luego realizar la curva granulométrica con la tabla establecida por la norma.



Ilustración 7: Proceso de tamizado

Tamiz	Porcentaje que pasa
9,5 mm (3/8 pulg)	100
4,75 mm (No. 4)	95 a 100
2,36 mm (No. 8)	80 a 100
1,18 mm (No. 16)	50 a 85
600 μ m (No. 30)	25 a 60
300 μ m (No. 50)	05 a 30
150 μ m (No. 100)	0 a 10

Tabla 8: Requisitos granulométricos Agregado Fino.

Fuente: [44]

❖ Cálculos

Para realizar la curva granulométrica debemos realizar los cálculos con los pesos que se ha retenido en cada tamiz usando las siguientes fórmulas:

$$\% \text{Retenido parcial} = (P. \text{ retenido en tamiz} / P. \text{ seco del horno}) / 100$$

$$\% \text{Retenido acumulado} = \%R. \text{ parcial} + \%R. \text{ acumulado anterior}$$

$$\% \text{Pasa} = 100 - \%R. \text{ acumulado}$$

$$M.F = \frac{\sum \%R. \text{Acumulado} (3/8'' + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

➤ Agregado Grueso (Confitillo)

En este caso se realizará la curva granulométrica según las especificaciones para este agregado (Confitillo) y posteriormente se determinará su tamaño máximo y tamaño máximo nominal.

Para realizar el ensayo se utilizarán diversos instrumentos y equipos: brocha, cucharón, taras, balanza eléctrica, horno que tenga una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ de manera constante y tamices (1/2'', 3/8'', 1/4'', ''N^o4, N^o8, N^o16).

Para este ensayo se realizó un cuarteo previo para tener un promedio de todos los tamaños del agregado en donde se escogerá unas muestras que tengan similitud ya que será la más favorable para realizar el análisis granulométrico. Luego se

procede al peso de la muestra seleccionada del cuarteo la cual da 1044.1gr de agregado grueso (Confitillo) para posteriormente llevarlo al horno.



Ilustración 8: Peso del agregado grueso (Confitillo)

Al sacar la muestra del horno y que el agregado se encuentre seco realiza el proceso de tamizado por cada uno de ellos, luego se agita los tamices de forma circular por un cierto tiempo. Luego el retenido de cada tamiz se va pesando para luego realizar la curva granulométrica establecida por la NTP 400.037, donde nos indican los husos establecidos para este agregado.



Ilustración 9: Proceso de tamizado

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

Tabla 9: Requisitos granulométricos Agregado Grueso.

Fuente: [44]

❖ Cálculos

Para realizar la curva granulométrica debemos realizar los cálculos con los pesos que se ha retenido en cada tamiz usando las siguientes fórmulas:

$$\% \text{Retenido parcial} = (P. \text{ retenido en tamiz} / P. \text{ seco del horno}) / 100$$

$$\% \text{Retenido acumulado} = \%R. \text{ parcial} + \%R. \text{ acumulado anterior}$$

$$\% \text{Pasa} = 100 - \%R. \text{ acumulado}$$

$$M.F = \frac{\sum \%R. \text{Acumulado} (1/2" + 3/8" + 1/4" + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16)}{100}$$

✓ Ensayo Contenido de Humedad

Esta prueba debe llevarse a cabo siguiendo los criterios y métodos establecidos en la NTP 339.185.

➤ Agregado Fino

Para este ensayo se usó una tara, una balanza electrónica y un horno con temperaturas de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Para la prueba del contenido de humedad del agregado fino se efectuó el pesaje de 500gr para que luego pase al horno de temperaturas de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ por un lapso de 24h. Luego pasado ese tiempo se deja reposar por un tiempo la muestra fuera del horno para posteriormente proceder al pesado respectivo, donde la diferencia del peso antes del horno con el peso después del horno nos dará el porcentaje de humedad que contiene el agregado.



Ilustración 10: Muestra en el Horno

❖ Cálculos

Para realizar el cálculo de contenido de humedad la norma nos presenta la siguiente fórmula:

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

P: Contenido total de humedad en porcentaje

W: Muestra húmeda original en gramos

D: Muestra seca en gramos

➤ **Agregado Grueso (Confitillo)**

En esta prueba se usó una tara, una balanza electrónica y un horno con temperaturas de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Para la prueba de contenido de humedad del agregado grueso (confitillo) se efectuó el pesaje de 500gr para que luego pase al horno de temperaturas de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ por un lapso de 24h. Luego pasado ese tiempo se deja reposar por un tiempo la muestra fuera del horno para posteriormente proceder al pesado respectivo, donde la diferencia del peso antes del horno con el peso después del horno nos dará el porcentaje de humedad que contiene el agregado.



Ilustración 11: Muestra en el Horno

❖ **Cálculos**

Para realizar el cálculo de contenido de humedad la norma nos presenta la siguiente fórmula:

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

P: Contenido total de humedad en porcentaje

W: Muestra húmeda original en gramos

D: Muestra seca en gramos

✓ **Ensayo Peso Unitario Suelto**

Esta prueba debe ser realizado siguiendo los criterios y métodos establecidos en la NTP 400.017.

➤ **Agregado Fino**

Para este ensayo se usó una balanza, brocha, moldes de probetas cilíndricas y cucharón.

Para realizar este ensayo primero debemos de pesar el molde vacío para determinar su masa. Posteriormente, se lleva a cabo el vertido del agregado en el molde utilizando un cucharón, asegurándose de que la altura de caída no supere los 50 mm por encima del borde superior del molde. Este procedimiento se repitió de manera sistemática hasta completar la totalidad del molde con el agregado. Después de llenar el molde, se usa una varilla de apisonado para nivelar la superficie. Luego procedemos al limpiado con brocha del material que ha quedado en la base del molde. Finalmente se pesa el molde con el contenido de agregado.



Ilustración 12: Peso unitario suelto del agregado fino.

❖ Cálculos

Para efectuar el cálculo de la prueba realizada, la norma nos brinda una fórmula como referencia:

$$\text{Peso unitario suelto} = \frac{(M - D)}{V} * 100$$

M: Peso de la muestra + molde

D: Peso del molde

V: Volumen del molde

➤ Agregado Grueso (Confitillo)

Para este ensayo se usó una balanza, brocha, moldes de probetas cilíndricas y cucharón.

Para realizar este ensayo primero debemos de pesar el molde vacío para determinar su masa. Posteriormente, se lleva a cabo el vertido del agregado en el molde utilizando un cucharón, asegurándose de que la altura de caída no supere los 50 mm por encima del borde superior del molde. Este procedimiento se repitió de manera sistemática hasta completar la totalidad del molde con el agregado. Después de llenar el molde, se usa una varilla de apisonado para nivelar la superficie. Luego procedemos al limpiado con brocha del material que ha quedado en la base del molde. Finalmente pesamos el molde con el contenido de agregado.



Ilustración 13: Peso unitario suelto del agregado grueso

❖ Cálculos

Para efectuar el cálculo de la prueba realizada, la norma nos brinda una fórmula como referencia:

$$\text{Peso unitario suelto} = \frac{(M - D)}{V} * 100$$

M: Peso de la muestra + molde

D: Peso del molde

V: Volumen del molde

✓ **Ensayo Peso Unitario Compactado**

Esta prueba debe ser realizado siguiendo los criterios y métodos establecidos en la NTP 400.017.

➤ **Agregado Fino**

Para este ensayo se usó una balanza, brocha, varilla de apisonado, moldes de probetas cilíndricas, martillo de goma y cucharón.

Para realizar este ensayo primero debemos de pesar el molde vacío para determinar su masa. Posteriormente se realiza el llenado del molde en tres capas de igual proporción (1/3 cada una), utilizando un cucharón para verter el agregado desde una altura que no supere los 50 mm por encima del borde superior del molde. Una vez llenado cada capa, se realiza una compactación mediante 15 golpes circulares utilizando un martillo de goma, seguido de 25 golpes de compactación con una varilla; este procedimiento se repitió hasta completar totalmente el molde con el agregado. Una vez que el molde ha sido llenado, se procede a nivelar la superficie utilizando una varilla de apisonado. Después procedemos al limpiado con brocha del material que ha quedado en la base del molde. Finalmente se procede al pesado del molde con el contenido de agregado.



Ilustración 14: Peso unitario compactado agregado fino.

❖ Cálculos

Para efectuar el cálculo de la prueba realizada, la norma nos brinda una fórmula como referencia:

$$\text{Peso unitario suelto} = \frac{(M - D)}{V} * 100$$

M: Peso de la muestra + molde

D: Peso del molde

V: Volumen del molde

➤ **Agregado Grueso (Confitillo)**

Para este ensayo se usó una balanza, brocha, varilla de apisonado, moldes de probetas cilíndricas, martillo de goma y cucharón.

Para realizar este ensayo primero debemos de pesar el molde vacío para determinar su masa. Posteriormente se realiza el llenado del molde en tres capas de igual proporción ($1/3$ cada una), utilizando un cucharón para verter el agregado desde una altura que no supere los 50 mm por encima del borde superior del molde. Una vez llenado cada capa, se realiza una compactación mediante 15 golpes circulares utilizando un martillo de goma, seguido de 25 golpes de compactación con una varilla; este procedimiento se repitió hasta completar totalmente el molde con el agregado. Una vez que el molde ha sido llenado, se procede a nivelar la superficie utilizando una varilla de apisonado. Después procedemos al limpiado con brocha del material que ha quedado en la base del molde. Finalmente se procede al pesado del molde con el contenido de agregado.



Ilustración 15: Peso unitario compactado agregado grueso

❖ Cálculos

Para efectuar el cálculo de la prueba realizada, la norma nos brinda una fórmula como referencia:

$$\text{Peso unitario suelto} = \frac{(M - D)}{V} * 100$$

M: Peso de la muestra + molde

D: Peso del molde

V: Volumen del molde

✓ Ensayo peso específico de masa y absorción

➤ Agregado Fino

La prueba de peso específico de masa y absorción debe ser realizado siguiendo los criterios y métodos establecidos en la NTP 400.022.

Como parte de los materiales a emplear en el ensayo se utilizó una balanza de 0.5g, cono de absorción y pilón, horno con temperaturas de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, fiola de 500 cm^3 , recipiente.

Para realizar este ensayo primero debemos de pesar 500 gr de agregado fino y dejar secando por 24h en el horno con temperaturas de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Posteriormente, extraemos la muestra del horno y la sumergimos en agua, dejándola reposar durante un periodo de 24h. Al día siguiente, extendemos la muestra saturada en un recipiente en un recipiente de superficie plana, expuesta a una corriente de aire de intensidad moderada, mientras se realiza una agitación periódica para asegurar un secado homogéneo. Una vez que el material se ha secado, se realiza la medición de su peso y luego se coloca un molde cónico. Se aplican 25 golpes con un pilón en cada tercio del cono, en forma de tronco, hasta que la superficie superior quede nivelada. Luego, se retira el cono y se verifica que aproximadamente las tres cuartas partes del agregado queden asentadas, lo que permitirá determinar la

presencia de humedad libre y continuar con el ensayo. A continuación, se pesa la muestra y también se procede a pesar la fiola donde se depositará la muestra. A la fiola se le agrega agua y se agita para eliminar el aire atrapado, y finalmente se deja reposar durante 24h. Al día siguiente se registra el peso de la fiola y se coloca la muestra en un recipiente, que luego se coloca en el horno durante un periodo de 24h para determinar su peso seco.



Ilustración 16: Colocación del agregado fino y eliminando vacíos de este.

❖ Cálculos

Para realizar el cálculo la norma nos proporciona las siguientes fórmulas:

$$P_{em} = \frac{A}{(B - C)} * 100$$

P_{em}: Peso específico de masa

A: Peso de la muestra seca en el aire

B: Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire

C: peso en el agua de la muestra saturada

$$P_{eSSS} = \frac{B}{(B - C)} * 100$$

P_{eSSS}: Peso específico de masa saturada superficialmente seca

$$Pea = \frac{A}{(A - C)} * 100$$

Pea: Peso específico aparente

$$Ab (\%) = \frac{B - A}{A} * 100$$

Ab (%): Absorción

➤ **Agregado Grueso (Confitillo)**

La prueba de peso específico de masa y absorción debe ser realizado siguiendo los criterios y métodos establecidos en la NTP 400.021.

Como parte de los materiales a emplear en el ensayo se utilizó una balanza de 0.5g, horno con temperaturas de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, canastilla, depósito de agua, franela.

Para ejecutar este ensayo se debe realizar un lavado a la muestra, luego en un recipiente lleno de agua se deja sumergido el agregado durante 24h, posteriormente se retira la muestra y con una franela se seca superficialmente y se pesa la muestra. Después, se sumerge dentro de una canastilla de alambre y se determina su peso en agua a 21°C . Posteriormente, la muestra de la canastilla se coloca en un recipiente y se introduce en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante un periodo de 24h. Al día siguiente, se retira la muestra del horno, se deja que se enfríe y se procede a su pesado.



Ilustración 17: Peso sumergido en una canastilla.

❖ Cálculos

Para realizar el cálculo la norma nos proporciona las siguientes fórmulas:

$$P_{em} = \frac{A}{(B - C)} * 100$$

P_{em}: Peso específico de masa

A: Peso de la muestra seca en el aire

B: Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire

C: peso en el agua de la muestra saturada

$$P_{eSSS} = \frac{B}{(B - C)} * 100$$

P_{eSSS}: Peso específico de masa saturada superficialmente seca

$$P_{ea} = \frac{A}{(A - C)} * 100$$

P_{ea}: Peso específico aparente

$$Ab (\%) = \frac{B - A}{A} * 100$$

Ab (%): Absorción

b) Ensayos de las adiciones a emplear en el adoquín

En esta parte se procede a la caracterización de cada material que será adicionado al concreto para la elaboración del adoquín:

✓ Caracterización de las Nanoplaquetas de Grafeno

Las nanoplaquetas de grafeno fueron adquiridas por parte de la casa de estudios a la empresa XFNANO de China y posteriormente fueron entregados al investigador.

Para este ensayo se necesitó una balanza (gr), un vaso, vasos precipitados, agua y una máquina ultrasónica JP-040S.

Se utilizaron Nanoplaquetas de Grafeno de capa fina, pues se realizó un tratamiento previo para la incorporación de este al concreto. Este tratamiento fue un método de dispersión ultrasónica en una máquina de ultrasonidos con la finalidad de que este material no se aglomere y pueda dispersarse en todo el concreto. Se evaluaron 3 muestras en tiempos de 20, 40 y 60 minutos de dispersión; cada muestra contenía 5gr de nanoplaquetas de grafeno y 400ml de agua. Las muestras recibieron una potencia media de dispersión ya que la máquina cuenta con una potencia de 240W.



Ilustración 18: Pesado de la Nanoplaqueta de grafeno



Ilustración 19: Colocación de la Nanoplaqueta de grafeno a la máquina de ultrasonidos.



Ilustración 20: Muestras dispersando.



Ilustración 21: Muestras dispersadas en los tiempos programados.

✓ **Caracterización del aserrín**

El aserrín fue adquirido de los aserraderos de la ciudad de Chiclayo la cual me proporcionaron aserrín mezclado de diversos tipos de madera.

Una vez teniendo el material se envió a la ciudad de Trujillo para el análisis respectivo del material, donde lo analizaron mediante el Análisis Térmico Diferencial (ATD) y el método de Fluorescencia de Rayos X el porcentaje de composición química que presenta y ver como influenciaba en la resistencia del concreto para el adoquín, este proceso se realizó durante 33 minutos. Estos ensayos se realizaron en el Laboratorio Físico Químico Ambiental Perú S.A.C.

Los equipos que se emplearon para el análisis térmico diferencial son un analizador térmico simultáneo, tasa de calentamiento 20°C/Min, Gas, y 35mg de material.

En cambio, para el análisis de fluorescencia de rayos x se utilizó un espectrómetro y 250mg de la muestra analizada en el método del ATD para realizar el análisis de composición.

c) **Diseño de mezcla**

✓ **Diseño de mezcla del ACI 211.1**

El proceso de diseño de mezcla propuesto por el ACI se fundamenta en el uso de tablas de secuencia. A continuación, se especificará el proceso del diseño:

- **Selección de la resistencia requerida:** Se establece una resistencia requerida, que está en base de la resistencia especificada para la elaboración del adoquín, en nuestro caso es $f'c=420 \text{ kg/cm}^2$. Para este propósito se emplea una tabla realizada por el ACI donde nos indica los factores de seguridad según la resistencia especificada.

Resistencia Requerida (f'_{cr})	
f'_c	f'_{cr}
< 210 kg/cm ²	$f'_c + 70$
210 a 350 kg/cm ²	$f'_c + 84$
> 350 kg/cm ²	$f'_c + 98$

Tabla 10: Resistencia requerida para diseño de mezcla.

Fuente: ACI 211.1 [41]

- **Selección del TMN del agregado grueso:** El TMN será seleccionado de acuerdo con la granulometría realizada al agregado grueso. Esto tenemos que realizar con la finalidad de conocer otros valores que serán necesarios para la elaboración del diseño.
- **Selección del Slump:** Cuando no tienes el slump necesario el comité del ACI proporciona una tabla la cual se observan diversos valores de slump que varían dependiendo del tipo de obra de construcción.

Types of construction	Slump, in.	
	Maximum+	Minimum
Reinforced foundation walls and footings	3	1
Plain footings, caissons, and substructure walls	3	1
Beams and reinforced walls	4	1
Building columns	4	1
Pavements and slabs	3	1
Mass concrete	2	1

Tabla 11: Asentamientos

Fuente: [41]

- **Selección del contenido de agua:** La determinación del contenido de agua se realiza considerando el TMN del agregado y el slump de la mezcla, para que así podamos obtener el tipo de consistencia que deseamos.

Water, lb/yd ³ of concrete for indicated nominal maximum sizes of aggregate								
Slump, in.	¾ in.*	½ in.*	¾ in.*	1 in.*	1-½ in.*	2 in.* [†]	3 in. [‡]	6 in. [‡]
Non-air-entrained concrete								
1 to 2	350	335	315	300	275	260	220	190
3 to 4	385	365	340	325	300	285	245	210
6 to 7	410	385	360	340	315	300	270	—
More than 7*	—	—	—	—	—	—	—	—
Approximate amount of entrapped air in non-air-entrained concrete, percent	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Air-entrained concrete								
1 to 2	305	295	280	270	250	240	205	180
3 to 4	340	325	305	295	275	265	225	200
6 to 7	365	345	325	310	290	280	260	—
More than 7*	—	—	—	—	—	—	—	—
Recommended averages [†] total air content, percent for level of exposure:								
Mild exposure	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5** ^{††}	1.0** ^{††}
Moderate exposure	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5** ^{††}	3.0** ^{††}
Severe exposure ^{‡‡}	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5** ^{††}	4.0** ^{††}

Tabla 12: Cantidad de agua según el TMN y

Fuente: [41]

- **Contenido de aire atrapado:** Para determinar cuánto de aire queda atrapado en la mezcla, necesitamos conocer el TMN del agregado grueso. La cantidad de aire atrapado en el concreto varía según una serie de variables, incluidos los materiales constituyentes de la mezcla, la granulometría del agregado y el tamaño máximo de partícula de este.
- **Determinación de la relación agua/cemento por resistencia:** El ACI pone a disposición una tabla que nos permite obtener la relación a/c adecuada para el diseño del tipo de concreto deseado, considerando la presencia o ausencia de aire atrapado y su f'c a los 28 días.

Compressive strength at 28 days, psi*	Water-cement ratio, by weight	
	Non-air-entrained concrete	Air-entrained concrete
6000	0.41	—
5000	0.48	0.40
4000	0.57	0.48
3000	0.68	0.59
2000	0.82	0.74

Tabla 13: Relación a/c para

Fuente: [41]

- **Cálculo del contenido de cemento:** Para obtener la proporción de cemento tenemos que dividir el valor obtenido mediante tablas del contenido de agua y la relación a/c.
- **Determinar el volumen del agregado grueso:** El ACI también nos brinda una tabla que nos permite determinar el volumen del agregado grueso. Este valor se calcula considerando el TMN del agregado grueso y el módulo de fineza del agregado fino.

Nominal maximum size of aggregate, in.	Volume of oven-dry-rodded coarse aggregate* per unit volume of concrete for different fineness moduli of fine aggregate+			
	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	0.60
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	0.80	0.78	0.76
6	0.87	0.85	0.83	0.81

Tabla 14: Peso del agregado grueso por unidad de volumen de concreto b/bo.
Fuente: [41]

- **Volúmenes absolutos de los materiales sin considerar el agregado fino:** Es la sumatoria de los elementos en m^3 tanto del cemento, agua, aire y agregado grueso.
- **Determinar el volumen del agregado fino:** Se realiza mediante la diferencia de la suma de los elementos mencionados en el paso anterior, es decir realizamos la diferencia de $1m^3$, para finalmente obtener el peso del agregado fino.
- **Condiciones secas de los materiales:** Se presenta los materiales a usarse en condiciones secas en kg/m^3 .
- **Corrección por humedad de los agregados:** En esta etapa, se permite realizar una corrección por humedad que aportan los agregados a la mezcla. Por lo tanto, se debe reducir el agua añadida a la mezcla considerando la diferencia entre la humedad total del agregado y su absorción.

- **Presentación del diseño en condiciones húmedas:** En esta etapa, se lleva a cabo la proporción de los materiales corregido por humedad por kg/m^3 , dividiendo esta cantidad entre la cantidad de cemento por kg/m^3 .

✓ **Diseño de mezcla con adición de Nanoplaquetas de Grafeno y Aserrín**

El procedimiento para realizar la mezcla con las Nanoplaquetas de Grafeno y Aserrín se siguió los mismos pasos que al realizar el concreto patrón, únicamente al final tenemos que adicionar estos insumos a la mezcla. Para esto no se ha descontado el peso de ninguno agregado o cemento solo se descontó la cantidad de agua ya que la Nanoplaqueta de Grafeno se ha dispersado en una cantidad de 400 ml de agua.

d) Elaboración del Adoquín

➤ **Equipos empleados**

Para la producción de los adoquines de concreto se utilizaron diversos insumos la cual se detallarán a continuación:

- Una mezcladora de concreto de bandeja plana eléctrica.
- Una máquina bloquera rosa cometa con moldes de 10 unidades de adoquines con las medidas respectivas que se requiere.
- Balanza para el pesado de los agregados.
- Balanza gramera para el pesado de las adiciones.
- Petróleo para el desencofrado.

➤ **Procedimiento**

Para la elaboración del adoquín primero se debe de realizar el respectivo diseño de mezcla tanto para el adoquín patrón y los adoquines con adiciones. Luego se realiza el pesado de los agregados y otros insumos para ser llevados a la mezcladora de concreto de bandeja plana eléctrica y se mezcló hasta que está sea homogénea. Una vez realizado la mezcla esta se coloca en una carretilla, pero antes debemos de lubricar con petróleo el molde de la bloquera rosa cometa con

la finalidad de que el concreto no se pegue. El adoquín se realizó de manera manual llenando de concreto el molde hasta la parte superior de este para luego vibrar por unos segundos el material y este se puede asentar, luego se verifica si se requiere de más mezcla y se realiza el mismo procedimiento de llenado. Una vez que los moldes de la máquina este llena, se deja caer una carga sobre él y se inician vibraciones por un periodo de 15 segundos; luego las muestras son retiradas de esta máquina y se deja en un espacio libre de contaminantes para que pueda fraguar de la mejor manera y al día siguiente proceder al curado del adoquín. Para conseguir una resistencia adecuada y una buena calidad del espécimen, se realizó el curado por un periodo de 7, 21 y 28 días respectivamente.



Ilustración 22: Proceso de elaboración del Adoquín.

e) Ensayos al adoquín de concreto

✓ Ensayo de Resistencia a la Compresión

Para esta prueba debemos tener en cuenta la NTP 399.604.

En este ensayo se utilizará como equipos una prensa hidráulica, un vernier, brocha y dos placas macizas de acero.

Para empezar con el ensayo lo que se debe realizar es retirar el adoquín del curado, se deja reposar unos minutos, luego se realiza las medidas del área donde va a recibir la carga. La muestra para ensayar se centra y se alinea de tal manera que esta se encuentre en su centro de la prensa hidráulica. Finalmente, la prensa se enciende y este va a ejercer una carga sobre la muestra hasta que falle.



Ilustración 23: Proceso de la prueba de Resistencia a la Compresión.

➤ **Cálculos:**

Para hallar la resistencia a compresión en kg/cm^2 la norma nos presenta las siguientes fórmulas:

$$A_g = L \times W$$

A_g : Área bruta de la muestra (cm^2)

L : Longitud de la muestra (cm)

W : Ancho de la muestra (cm)

$$R = P/A_g$$

R : Esfuerzo a compresión de la muestra (kg/cm^2)

A_g : Área bruta de la muestra (cm^2)

P : Carga (Kg)

✓ **Ensayo de Resistencia a la Flexión**

La prueba de resistencia a la flexión se ejecutará según la norma ITINTEC 339.124.

En este ensayo se utilizará como equipos y herramientas una prensa hidráulica, un vernier, 3 barras de acero de 20 cm cada uno, una brocha, una franela.

Para iniciar el ensayo, se procede a sumergir las muestras en agua a una temperatura controlada que oscila entre 15°C y 30°C durante un periodo de 24h. Luego al día siguiente se retira las muestras del agua y se limpia con una franela durante 1 minuto. Después, se realiza la toma de medidas del adoquín y luego se coloca la muestra en la prensa hidráulica, asegurándose de que esté ubicada equidistante a su centro. Además, se disponen de dos barras de acero paralelas a una distancia que corresponde al largo de la muestra menos de 50mm y la tercera barra se posiciona de manera paralela y equidistante a los puntos de apoyo, donde la cual se aplicará una carga hasta conseguir la rotura del adoquín.



Ilustración 24: Proceso de la prueba de la Resistencia a la Flexión.

➤ **Cálculos:**

Para hallar la resistencia a la flexión se determina mediante la siguiente ecuación:

$$R = \frac{3PL}{2bd^2}$$

R: Resistencia a la tracción por flexión obtenida en cada muestra

P: Carga de rotura en (kg)

L: Luz entre apoyos de la muestra (cm)

b: Ancho promedio de la muestra en la sección de rotura (cm)

d: Espesor promedio de la muestra en la sección de rotura (cm)

✓ **Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión**

Esta prueba de resistencia al desgaste por abrasión se ejecuta de acuerdo con la norma internacional ASTM C944 – 99.

En este ensayo se utilizará como equipos un dispositivo de abrasión, una cortadora rotativa, balanza con capacidad de 4kg, placa de nivelación, brocha y el adoquín.

Lo que primero debemos realizar es el pesado de la muestra sin ser sometida al ensayo. Luego sujetar la muestra en la placa de nivelación de tal manera que la

superficie a ser ensayada sea normal al eje. Posteriormente se debe de montar el dispositivo de corte rotativo en la muestra. Luego arrancar el motor de la máquina con una carga normal de 98N por 3 ciclo de 2 minutos cada uno. Al término de cada ciclo se retira la muestra de la máquina, se limpia y se procede al pesado. El mismo procedimiento se realiza para cada ciclo y para todas las muestras.



Ilustración 25: Proceso de la prueba de Resistencia al Desgaste por Abrasión.

➤ **Cálculos:**

Para hallar la resistencia al desgaste por abrasión se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{Desgaste} = \frac{M_i - M_f}{M_i}$$

M_i: Masa inicial (gr)

M_f: Masa final (gr)

Estrategia de Análisis de datos

En este estudio se propone un plan para llevar a cabo el procesamiento de datos que se va a dividir en diferentes etapas:

✓ I Etapa:

- Recolección de antecedentes e información bibliográfica.
- Revisión de normas referidas al tema de investigación.
- Visita a las canteras para la recolección de agregados.
- Adquisición de materiales que serán adicionados como el aserrín y la nanoplaqueta de grafeno.

✓ II Etapa:

- Ensayos de los agregados naturales y de los materiales adicionantes.
- Elaboración del diseño de mezcla patrón.
- Elaboración del diseño de mezcla para los especímenes adicionantes.
- Diseño del prefabricado patrón y adicionados.

✓ III Etapa:

- Ensayo de las muestras según los días planteados en los objetivos.
- Ensayos de las muestras de concreto: Resistencia a la compresión, resistencia al desgaste por abrasión y la resistencia a la flexión.
- Revisión parcial del asesor asignado.

✓ IV Etapa:

- Análisis de los resultados obtenidos de las pruebas realizadas al espécimen.
- Realizar la evaluación económica de la muestra patrón y muestras adicionadas.
- Conclusiones y recomendaciones.
- Revisión parcial del asesor asignado.

- Levantamiento de observaciones.
- Generación del informe final de la investigación.

Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
¿Cuál es la diferencia de las propiedades mecánicas de los adoquines convencionales frente a los adoquines de concreto adicionando nanoplaquetas de grafeno y aserrín para usarlos en las zonas urbanas y rurales como pavimento articulado de alto tránsito?	General	Al realizar la combinación de diversos porcentajes de nanoplaquetas de grafeno y aserrín en el concreto para la elaboración de adoquines, mejorará sus propiedades mecánicas para posteriormente ser utilizado en pavimentos de alto tránsito	Dependiente	Propiedades Mecánicas	Resistencia a la compresión	Carga Deformación	Prensa hidráulica/ NTP 339.604
	-Evaluar las propiedades mecánicas de adoquines de concreto elaborados con nanoplaquetas de grafeno y aserrín para la aplicación en pavimentos articulados de alto tránsito.				Resistencia a la flexión	Carga Ruptura	Prensa hidráulica/ ITINTEC 339.124
	Objetivos				Resistencia al desgaste por abrasión	Rozamiento	Dispositivo de abrasión / ASTM C 944-99
	-Determinar las características de los principales insumos que serán utilizados para el diseño de mezcla de los adoquines		Independiente	% adición de Nanoplaquetas de Grafeno	0.05% y 0.10%	Potencia de ondas	Balanza y Máquina de dispersión por ultrasonidos
	-Determinar la dosificación del concreto para el adoquín patrón convencional			% adición de Aserrín	1.0% y 1.5%	Temperatura	Horno de Calcinación
	-Determinar la dosificación óptima de adoquines de concreto con nanoplaquetas de grafeno y aserrín incorporando porcentajes diferentes para cada material.		Interviniente	Agregados	Características físicas	Granulometría	NTP 400.012
	-Determinar la resistencia a compresión, flexión y desgaste por abrasión de los adoquines de concreto a los 7, 21 y 28 días					Contenido de Humedad	NTP 339.185
	-Establecer las diferencias en el adoquín de concreto patrón y los adoquines de concreto elaborados con nanoplaquetas de grafeno y aserrín para usar en pavimentos articulados de alto tránsito.					Peso Volumétrico Suelto y Compactado	NTP 400.017
	-Establecer la rentabilidad económica de los adoquines de concreto adicionados con nanoplaquetas de grafeno y aserrín.					Peso específico y Grado de absorción del agregado fino	NTP 400.022
						Peso específico y Grado de absorción del agregado grueso	NTP 400.021
		Diseño de Mezcla	f'c de diseño	ACI 211.1			

Tabla 15: Matriz de Consistencia

Resultados y Discusión

Resultados

En esta sección, se exhiben las pruebas que se realizaron a los agregados tanto agregado fino, agregado grueso (confitillo), diseños de mezclas del adoquín patrón y adoquines adicionados de aserrín y nanoplaquetas de grafeno; también las pruebas de las propiedades mecánicas que se realizarán a cada adoquín.

✓ Características que presentan los agregados

➤ Agregado Fino:

Procedente de la cantera Tres Tomas ubicada en el distrito de Mesones Muro, en la provincia de Ferreñafe.

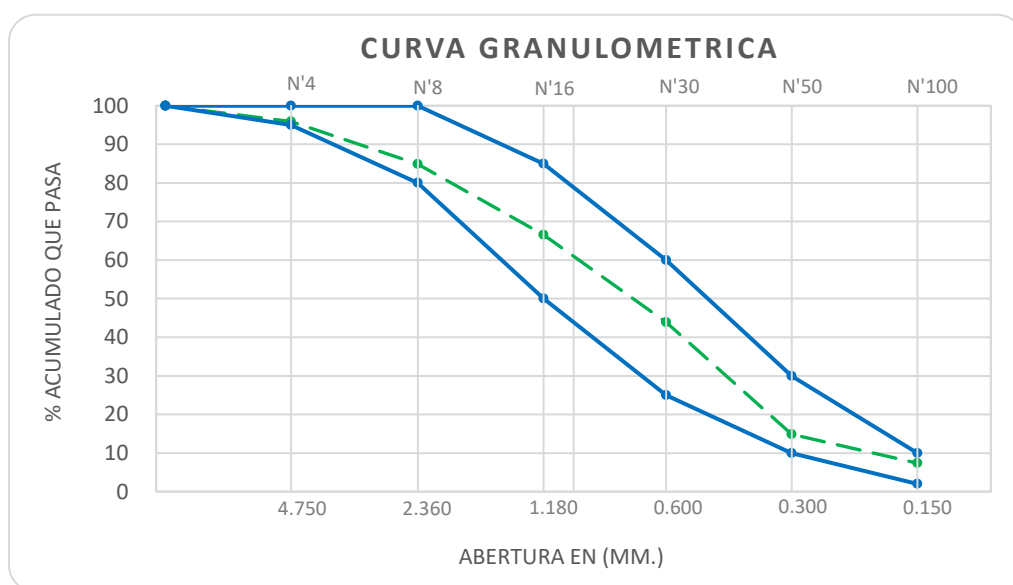


Gráfico 1: Curva granulométrica del agregado fino.

CARACTERÍSTICAS	AGREGADO FINO
Peso Específico de Masa	2531.00 Kg/m ³
% Absorción	0.85 %
% Contenido de Humedad	1.65 %
Peso Unitario Compactado Seco	1848 kg/m ³
Peso Unitario Suelto Seco	1666 kg/m ³
Módulo de Fineza	2.865

Tabla 16: Características del agregado fino.

En el gráfico y en la tabla se puede observar tanto la curva granulométrica y las pruebas adicionales que se realizó al agregado fino. Con el fin de obtener estos resultados debemos seguir adecuadamente los procedimientos descritos en las normas de cada ensayo, para que puedan ser usados de la mejor manera en la elaboración del concreto y así proporcionen una buena trabajabilidad al mismo. El agregado fino contribuye a la fluidez del concreto, evitando así su la segregación.

➤ **Agregado Grueso (Confitillo):**

Procedente de la Chancadora Piedra Azul que se encuentra a 1.5 Km del Distrito de Picsi de la Provincia de Chiclayo del Departamento de Lambayeque.

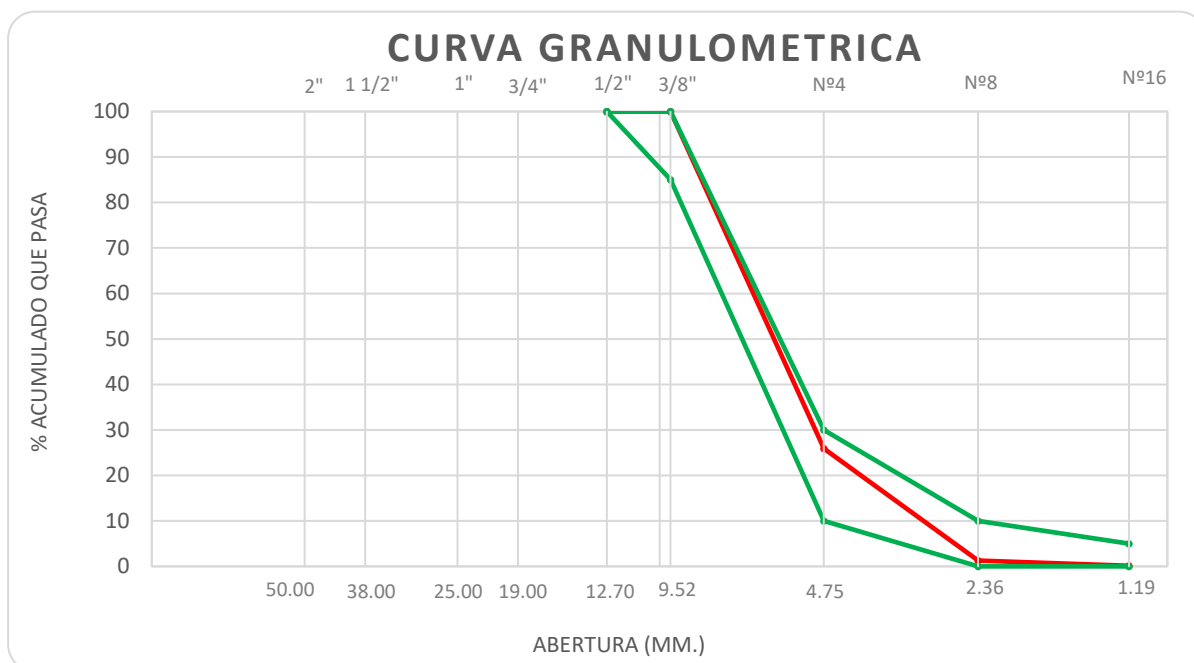


Gráfico 2: Curva Granulométrica del agregado grueso (Confitillo).

CARACTERÍSTICAS	AGREGADO GRUESO (CONFITILLO)
Peso Específico de Masa	2664.00 Kg/m ³
% Absorción	1.38 %
% Contenido de Humedad	0.40 %
Peso Unitario Compactado Seco	1475 kg/m ³
Peso Unitario Suelto Seco	1294 kg/m ³

Tabla 17: Características del agregado grueso (Confitillo).

En el gráfico y en la tabla se puede apreciar tanto la curva granulométrica y las pruebas adicionales que se realizó al agregado grueso. Con el fin de obtener estos resultados debemos seguir adecuadamente los procedimientos descritos en las normas de cada ensayo, para que puedan ser usados de la mejor manera en la elaboración del concreto y así proporcionen una buena trabajabilidad al mismo. El agregado fino va a proporcionar una fluidez al concreto para así evitar la segregación.

✓ **Características que presentan los materiales a adicionar al adoquín de concreto**

➤ **Nanoplaquetas de Grafeno:**

Una vez realizado el análisis de dispersión de las 3 muestras se procedió a calcular el tiempo en el que nuevamente se van a aglomerar, por lo cual se realizó las siguientes gráficas:

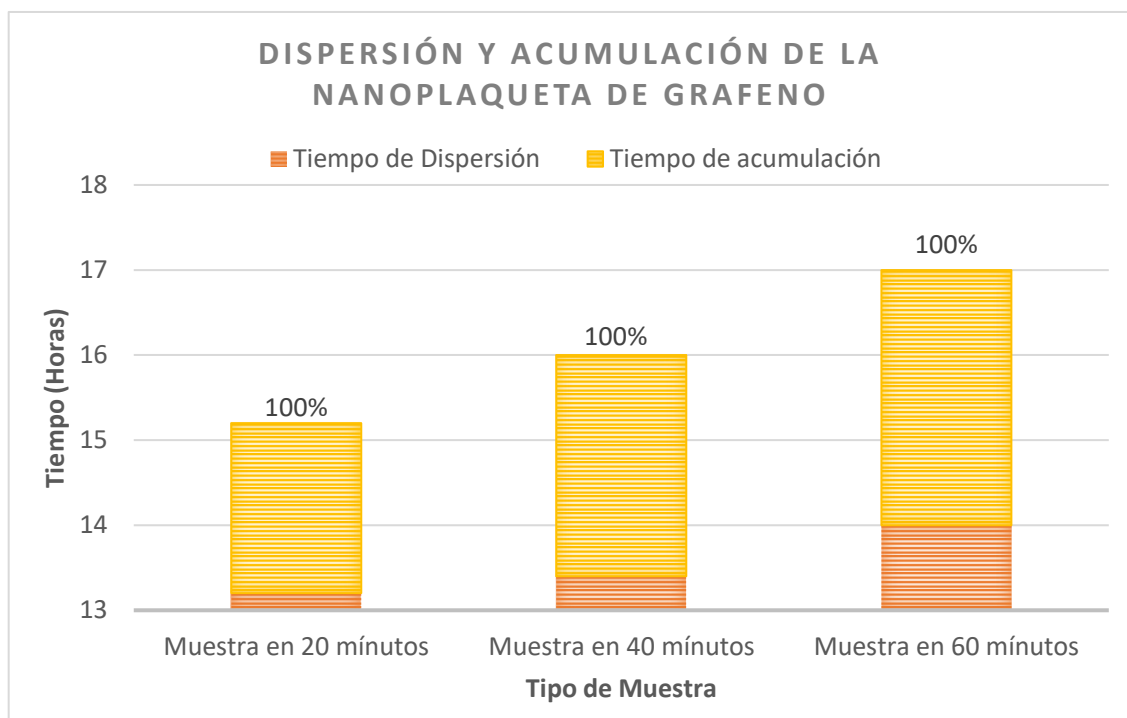


Gráfico 3: Tiempo de aglomeración de la Nanoplaqueta de Grafeno

En el ensayo de ultrasonidos de la Nanoplaqueta de Grafeno se dispersó el material en distintos tiempos, en la cual se tiene que apreciar en que tiempo se tiende a aglomerarse nuevamente el material por eso se presentan los gráficos para visualizar de una mejor manera el tiempo de aglomeración. Donde se rescata que la dispersión de 60 minutos es la que demora más en acumularse nuevamente.

➤ **Aserrín:**

Al realizar el análisis del aserrín en el Laboratorio fisicoquímico de la Provincia de Trujillo se obtuvieron los siguientes resultados que serán mostrados en gráficos:

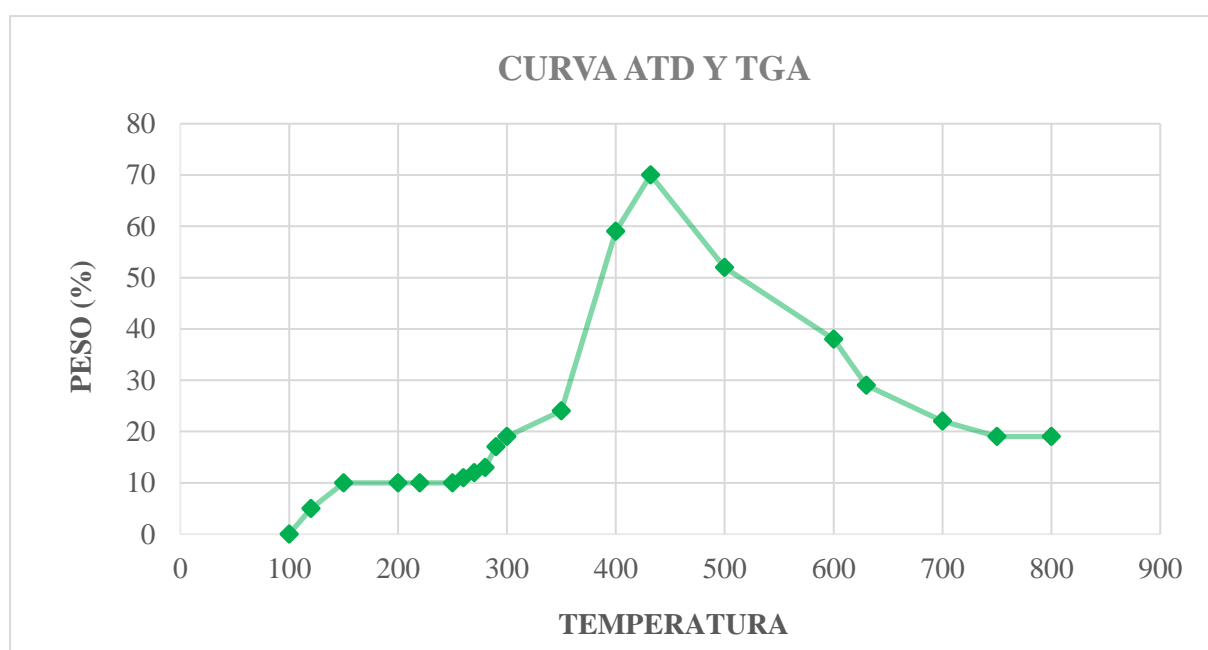


Gráfico 4: Curva de ATD y TGA.

En la siguiente ilustración se presenta el análisis termogravimétrico del aserrín la cual indica un punto máximo de temperatura máxima de 432.0 °C durante un intervalo de tiempo de 2 horas que se encuentra en el rango de temperatura de 360°C y 490°C.

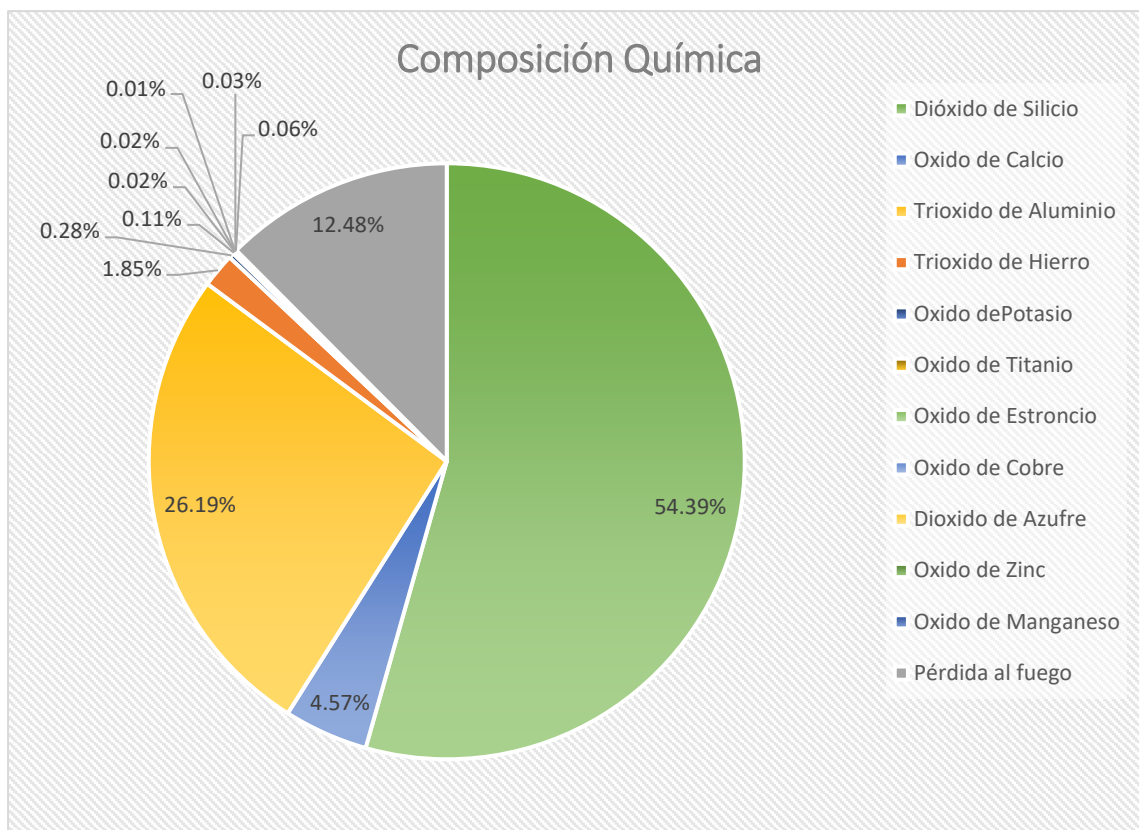


Gráfico 5: Ensayo de Fluorescencia de rayos x

En el gráfico se verificar la composición química que contiene el aserrín. Pues al realizar la comparación del espectro de la muestra se encontró principalmente sílice (Si) con una cantidad de 54.39%, seguido del trióxido de aluminio en un 26.19% y posteriormente otros componentes.

✓ **Diseño de Mezcla según ACI 211.1**

➤ **Diseño de Mezcla para el Concreto Patrón y Adicionados**

Se llevó a cabo el diseño de mezcla según lo estipulado en el comité ACI 211.1 donde nos indica un factor de seguridad +98, pese a ser este un factor muy alto la norma nos exige usarlo para obtener la resistencia requerida en el diseño de mezcla cuando no contamos con una desviación estándar de referencia. Se estimó una resistencia requerida $f'_{cr} = 518 \text{ kg/cm}^2$ para lograr una resistencia de diseño de $f'_{c} = 420 \text{ kg/cm}^2$.

RESUMEN DE PESOS DE DISEÑO DE MEZCLA $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$					
Material	Patrón	0.05% NPG y 1.0% A	0.05% NPG y 1.5% A	0.10% NPG y 1.0% A	0.10% NPG y 1.5% A
Cemento	22.07 kg	22.07 kg	22.07 kg	22.07 kg	22.07 kg
Agregado Fino	28.35 kg	28.35 kg	28.35 kg	28.35 kg	28.35 kg
Agregado Grueso	23.67 kg	23.67 kg	23.67 kg	23.67 kg	23.67 kg
Agua	7.29 lts	6.49 lts	6.49 lts	5.69 lts	5.69 lts
NPG	-----	11.17 gr	11.17 gr	22.35 gr	22.35 gr
Aserrín	-----	223.48 gr	335.22 gr	223.48 gr	335.22 gr

Tabla 18: Resumen de los pesos del diseño de mezcla.

Para el caso de la dosificación se consideró para un total de 27 adoquines. La cantidad de nanoplaqueta de grafeno y aserrín se obtuvo mediante la relación al peso del cemento. En el proceso para la elaboración de mezcla con adición de nanoplaquetas de grafeno y aserrín; se tomó en cuenta un principal componente que es el agua, pues se deberá descontar de acuerdo con la cantidad de nanoplaqueta de grafeno a dispersar para adicionar a la mezcla.

✓ **Ensayos realizados al adoquín**

➤ **Ensayo de la Resistencia a la Compresión**

Como se dio a entender en el procedimiento de la investigación se realizó los ensayos a compresión en el adoquín patrón y con las cuatro combinaciones, realizando el promedio de tres muestras por día de ensayo para así garantizar el debido cumplimiento de nuestra resistencia deseada por los días planteados en los objetivos. Los datos que se obtuvieron serán representados mediante gráficas las cuales se detallan a continuación:

❖ Adoquín Patrón

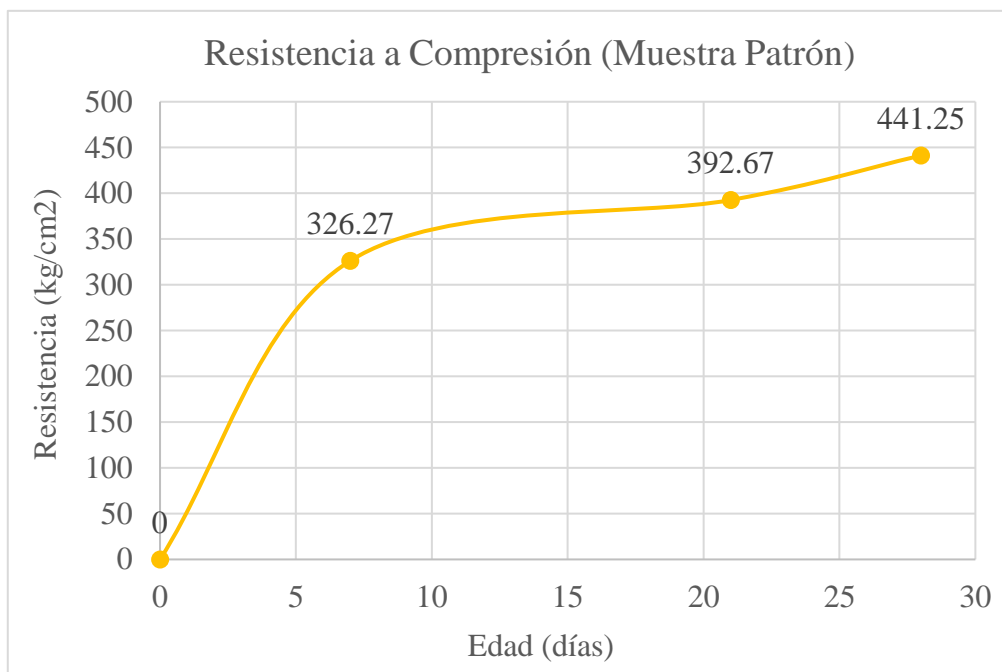


Gráfico 6: Resistencia a la Compresión de la Muestra Patrón.

En esta gráfica podemos apreciar que el adoquín patrón presenta a los 7, 21 y 28 días una resistencia de 326.27, 392.67 y 441.25 kg/cm² representando un 5.06%, dando así un exceso de resistencia.

❖ Adoquín con 0.05% NPG y 1.0%A

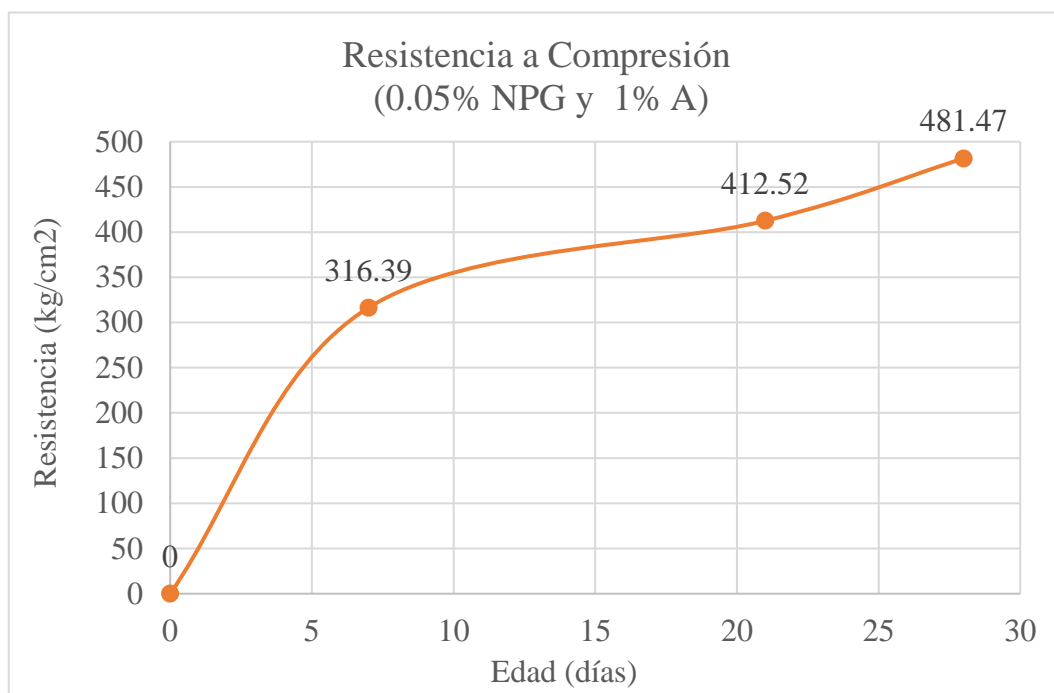


Gráfico 7: Resistencia a la Compresión de la Muestra 0.05% NPG y 1.0%A.

En esta gráfica podemos apreciar que el adoquín adicionado de 0.05% de nanoplaqueta de grafeno y 1% de aserrín, presenta a los 7, 21 y 28 días una resistencia de 316.39, 412.52 y 481.47 kg/cm² representando un 9.12% sobre el adoquín patrón, por lo cual indica que este adoquín tiene una resistencia muy elevada con respecto al adoquín patrón.

❖ Adoquín con 0.05% NPG y 1.5%A

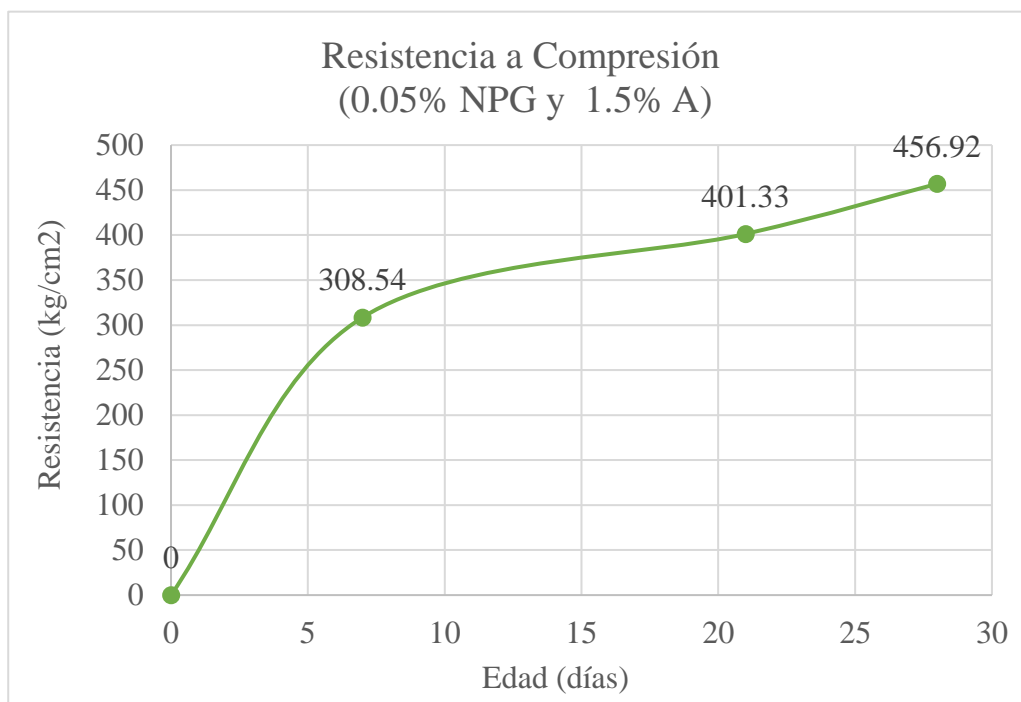


Gráfico 8: Resistencia a la Compresión de la Muestra 0.05% NPG y 1.5% A.

En esta gráfica podemos apreciar que el adoquín adicionado de 0.05% de nanoplaqueta de grafeno y 1.5% de aserrín, presenta a los 7, 21 y 28 días una resistencia de 308.54, 401.33 y 456.92 kg/cm² representando un 3.55%, por lo cual indica que este adoquín tiene una resistencia un poco menor que el adicionado anterior y también cuenta con más resistencia que el adoquín patrón.

❖ Adoquín con 0.10% NPG y 1.0%A

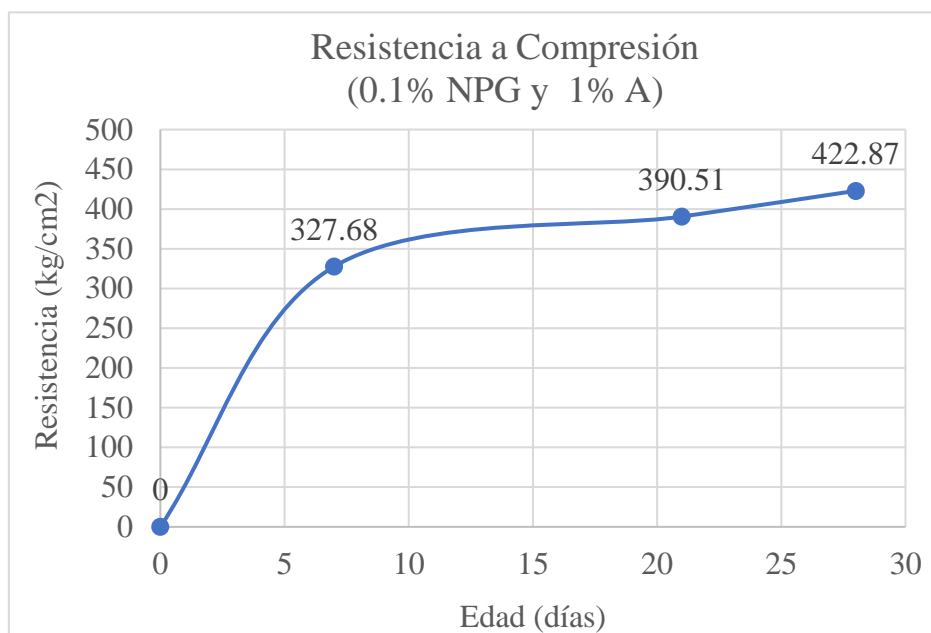


Gráfico 9: Resistencia a la Compresión de la Muestra 0.10% NPG y 1.0%A.

En está gráfica podemos apreciar que el adoquín adicionado de 0.10% de nanoplaqueta de grafeno y 1% de aserrín, presenta a los 7, 21 y 28 días una resistencia de 327.68, 390.51 y 422.87 kg/cm² representando una decadencia de un 4.16%, por lo cual indica que este adoquín tiene una resistencia muy inferior al adoquín patrón y a los anteriores adoquines adicionados.

❖ Adoquín con 0.10% NPG y 1.5%A

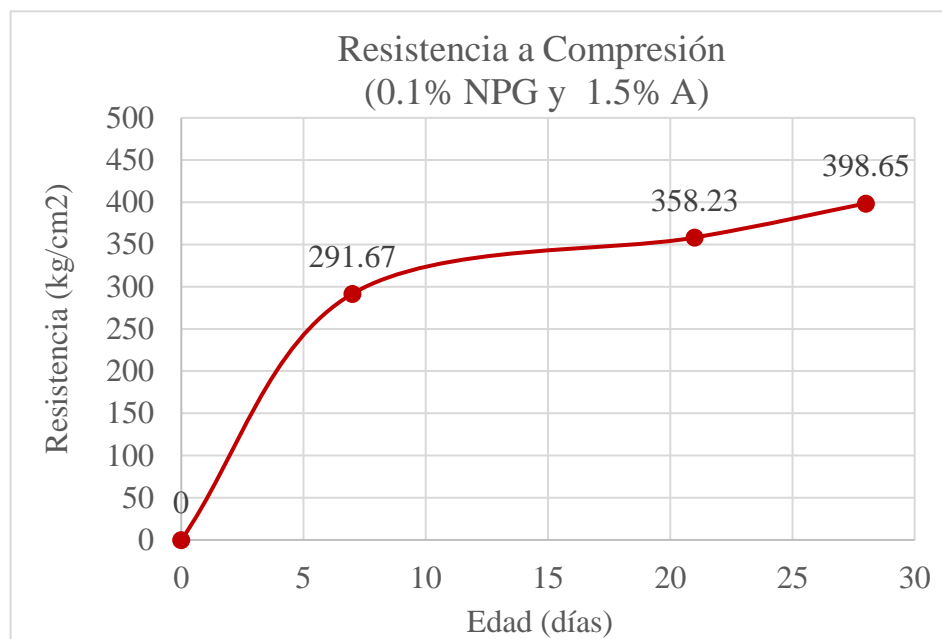


Gráfico 10: Resistencia a la Compresión de la Muestra 0.10% NPG y

En está gráfica podemos apreciar que el adoquín adicionado de 0.10% de nanoplaqueta de grafeno y 1.5% de aserrín, presenta a los 7, 21 y 28 días una resistencia de 291.67, 358.23 y 398.65 kg/cm² representando una decadencia de 9.65%, por lo cual indica que este adoquín tiene una resistencia muy inferior al adoquín patrón y a los anteriores adoquines adicionados.

➤ Ensayo de la Resistencia a la Flexión

Como se detalló en el procedimiento de la investigación se realizó los ensayos a flexión en el adoquín patrón y con las cuatro combinaciones, realizando el promedio de tres muestras por día de ensayo para así garantizar el debido cumplimiento de la resistencia como especifica la norma, así mismo, los datos que se obtuvieron serán representados mediante gráficas las cuales se detallan a continuación:

❖ Adoquín Patrón

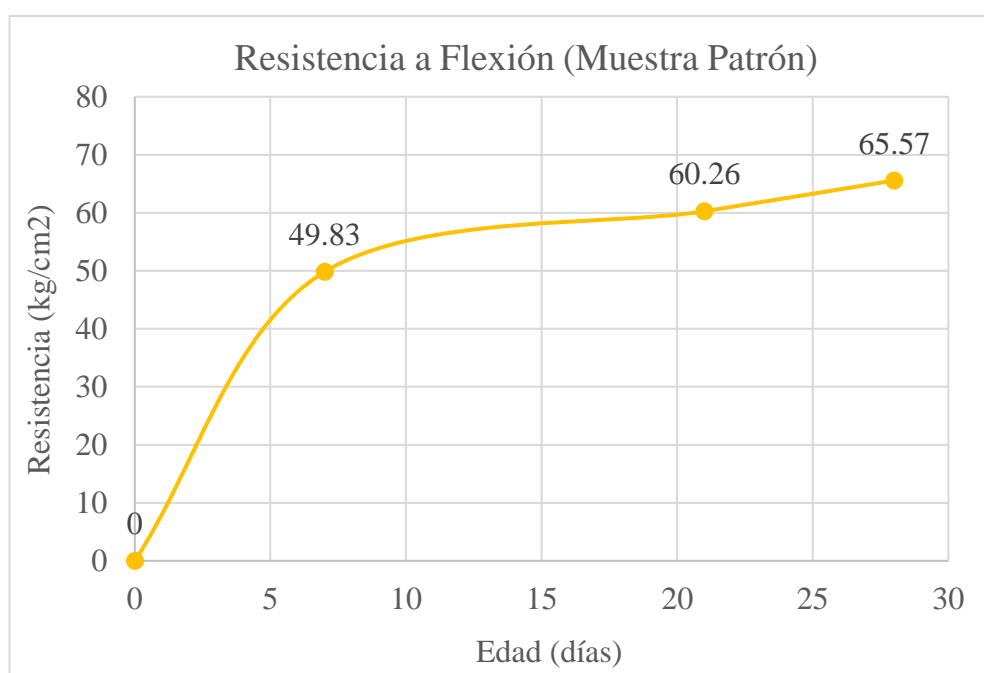


Gráfico 11: Resistencia a la Flexión de la Muestra Patrón.

En el presente gráfico podemos observar una variación en su comportamiento a flexión del adoquín conforme pasan los días de curado. Pues se puede demostrar que a los 7, 21 y 28 días presenta una flexión de 49.83 kg/cm², 60.26 kg/cm² y 65.57 kg/cm², la cual cumple con lo especificado en la norma.

❖ Adoquín con 0.05% NPG y 1.0%A

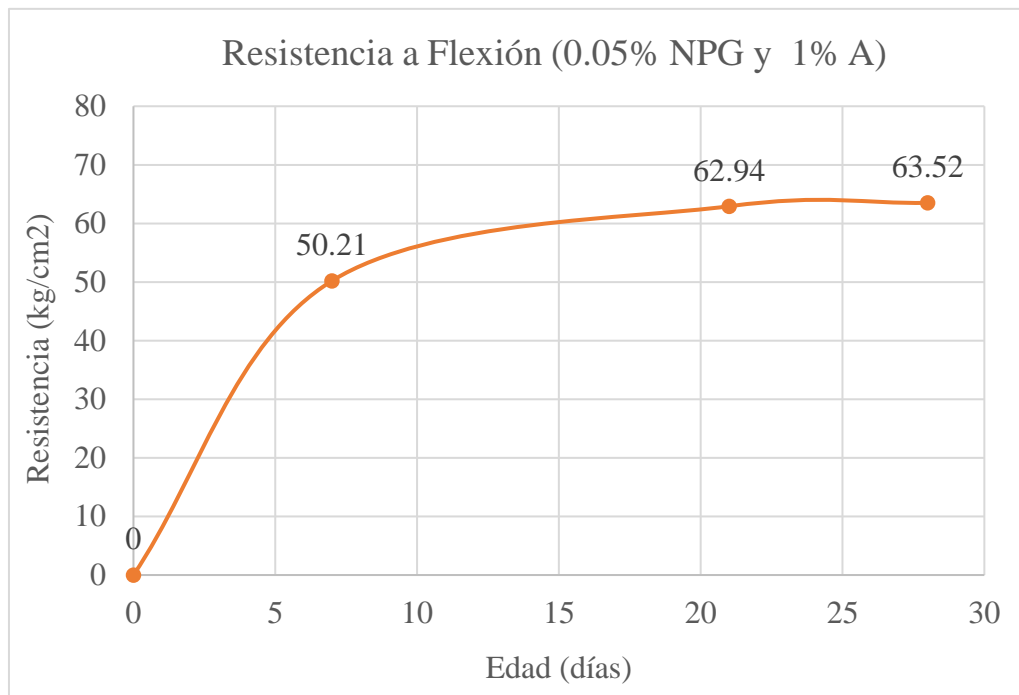


Gráfico 12: Resistencia a la Flexión de la Muestra 0.05% NPG y 1.0%A.

En el presente gráfico podemos observar una variación en su comportamiento a flexión del adoquín adicionado de 0.05% de nanoplaqueta de grafeno y 1% de aserrín. Pues se puede demostrar que a los 7, 21 y 28 días presenta una flexión de 50.21 kg/cm², 62.94 kg/cm² y 63.52 kg/cm², la cual cumple con lo especificado en la norma, pero es inferior con respecto al adoquín patrón.

❖ Adoquín con 0.05% NPG y 1.5%A

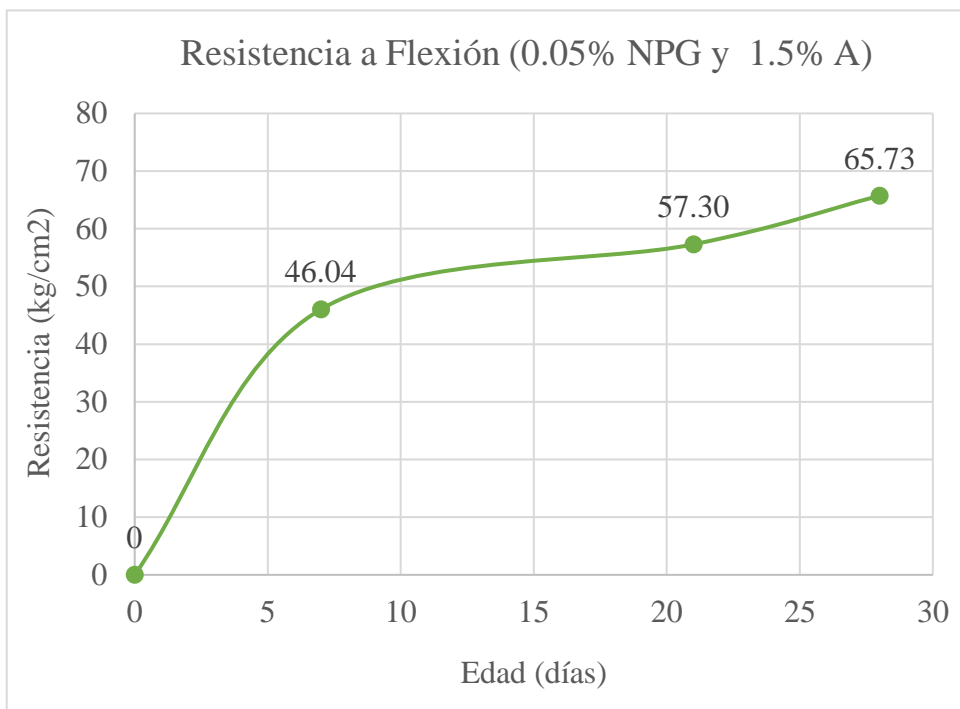


Gráfico 13: Resistencia a la Flexión de la Muestra 0.05% NPG y 1.5%A.

En el presente gráfico podemos observar una variación en su comportamiento a flexión del adoquín adicionado de 0.05% de nanoplaqueta de grafeno y 1.5% de aserrín. Pues se puede demostrar que a los 7, 21 y 28 días presenta una flexión de 46.04 kg/cm², 57.30 kg/cm² y 65.73 kg/cm², la cual cumple con lo especificado en la norma, pero excede en lo mínimo con respecto al adoquín patrón.

❖ Adoquín con 0.10% NPG y 1.0%A

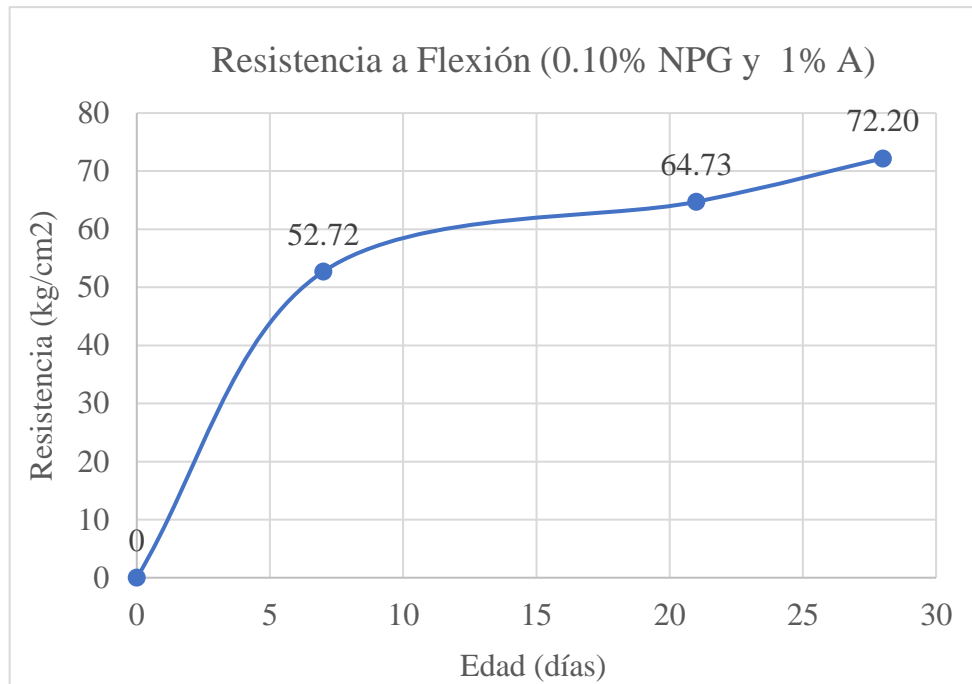


Gráfico 14: Resistencia a la Flexión de la Muestra 0.10% NPG y 1.0%A.

En el presente gráfico podemos observar una variación en su comportamiento a flexión del adoquín adicionado de 0.10% de nanoplaqueta de grafeno y 1% de aserrín . Pues se puede demostrar que a los 7, 21 y 28 días presenta una flexión de 52.72 kg/cm², 64.73 kg/cm² y 72.20 kg/cm², la cual cumple con lo especificado en la norma, pero excede con respecto al adoquín patrón.

❖ Adoquín con 0.10% NPG y 1.5%A

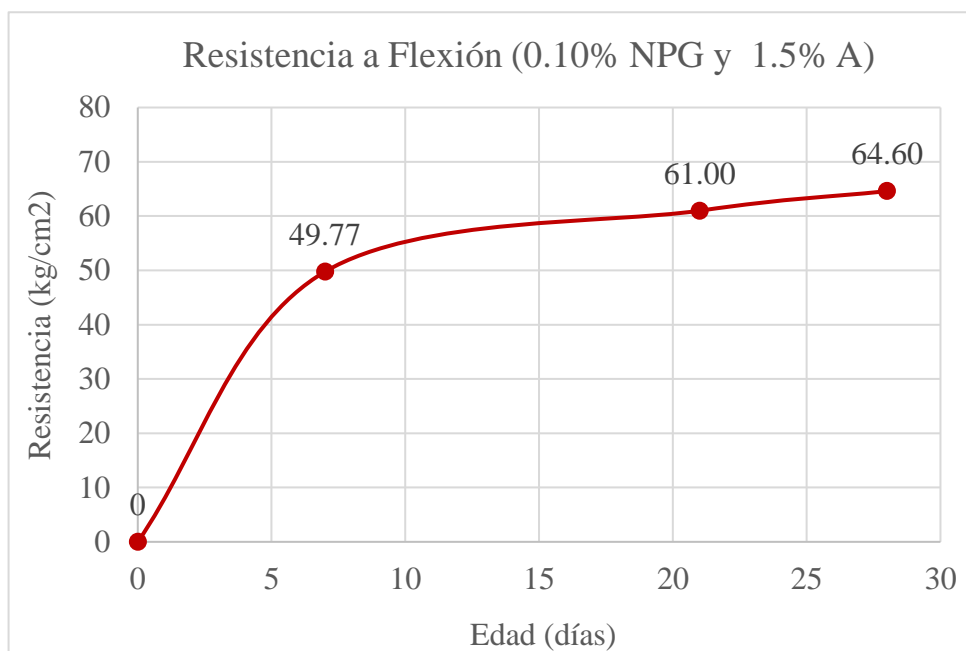


Gráfico 15: Resistencia a la Flexión de la Muestra 0.10% NPG y 1.5% A.

En el presente gráfico podemos observar una variación en su comportamiento a flexión del adoquín adicionado de 0.10% de nanoplaqueta de grafeno y 1.5% de aserrín. Pues se puede demostrar que a los 7, 21 y 28 días presenta una flexión de 49.77 kg/cm², 61.00 kg/cm² y 64.60 kg/cm², la cual cumple con lo especificado en la norma, pero es inferior con respecto al adoquín patrón.

➤ **Ensayo de la Resistencia al Desgaste por Abrasión**

Como se explicó en la etapa del procedimiento el ensayo se realizó para el adoquín patrón y las cuatro combinaciones, realizando el promedio de tres muestras por día de ensayo. Cabe resaltar que en la norma no existe un porcentaje límite de desgaste por el cual se pensó realizar este ensayo por 7, 21 y 28 días para verificar si incrementa o disminuye el desgaste en la superficie del adoquín, por lo tanto, no se observará un dato definitorio, así mismo, los datos que se obtuvieron serán representados mediante gráficas las cuales se detallan a continuación:

❖ **Adoquín Patrón**

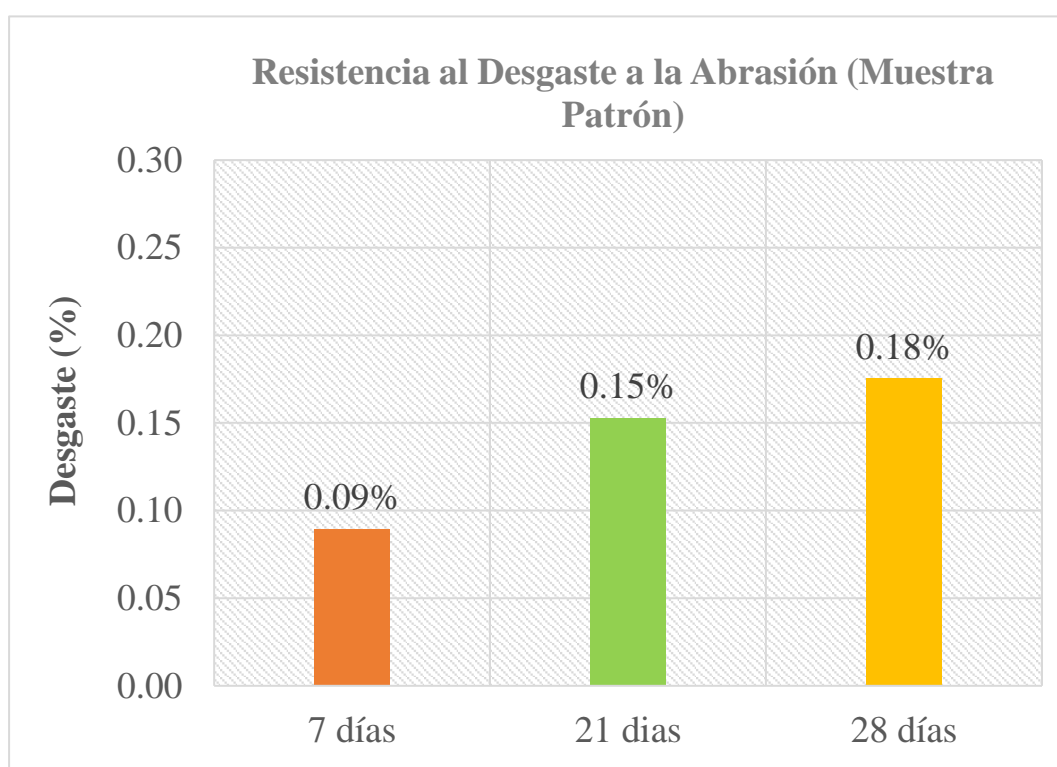


Gráfico 16: Variación del desgaste por días especificados (Muestra Patrón).

En el gráfico anterior podemos verificar el desgaste del adoquín en la cual se va incrementando por días de 0.09%, 0.15% y 0.18% respectivamente.

❖ Adoquín con 0.05% NPG y 1.0%A

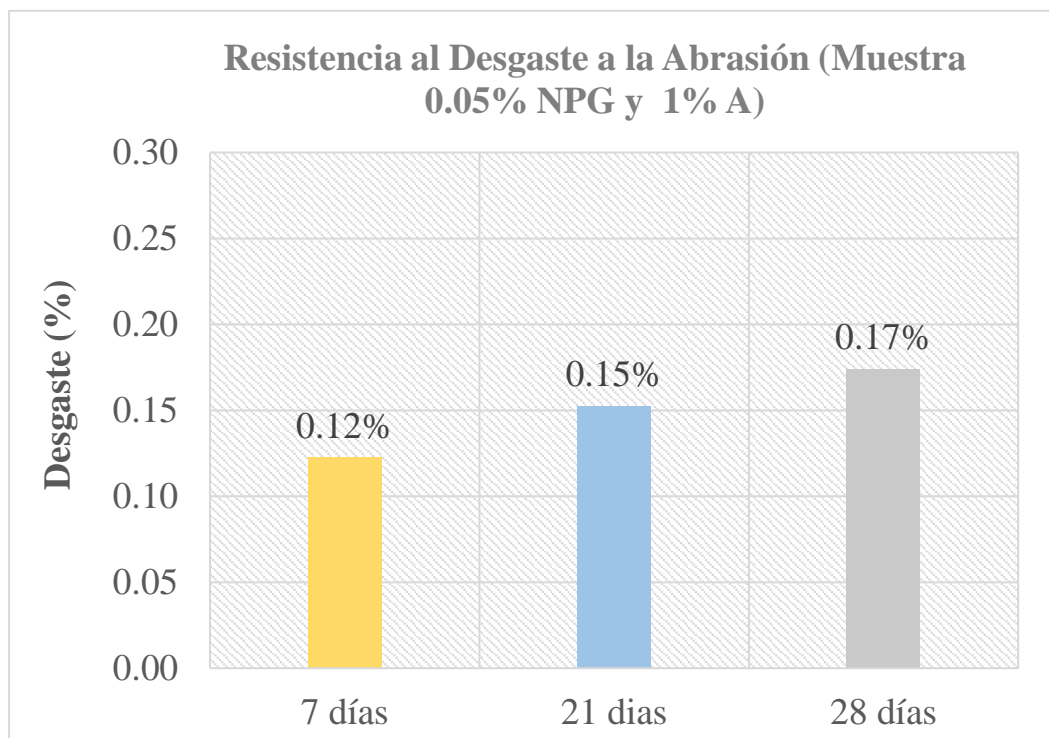


Gráfico 17: Variación del desgaste por días especificados (Muestra 0.05% NPG y 1% A).

En el gráfico anterior podemos verificar el desgaste del adoquín en la cual se va incrementando por días de 0.12%, 0.15% y 0.17% respectivamente.

❖ **Adoquín con 0.05% NPG y 1.5%A**

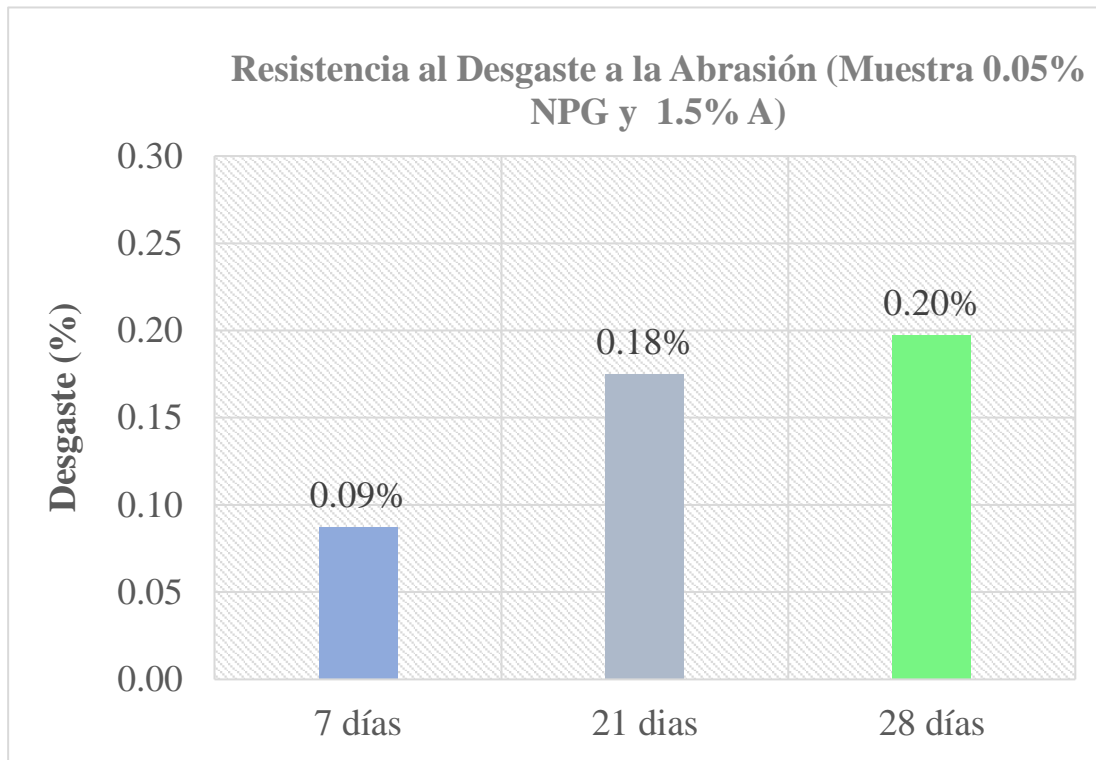


Gráfico 18: Variación del desgaste por días especificados (Muestra 0.05% NPG y 1.5%A).

En el gráfico anterior podemos verificar el desgaste del adoquín en la cual se va incrementando por días de 0.09%, 0.18% y 0.20% respectivamente.

❖ Adoquín con 0.10% NPG y 1.0%A

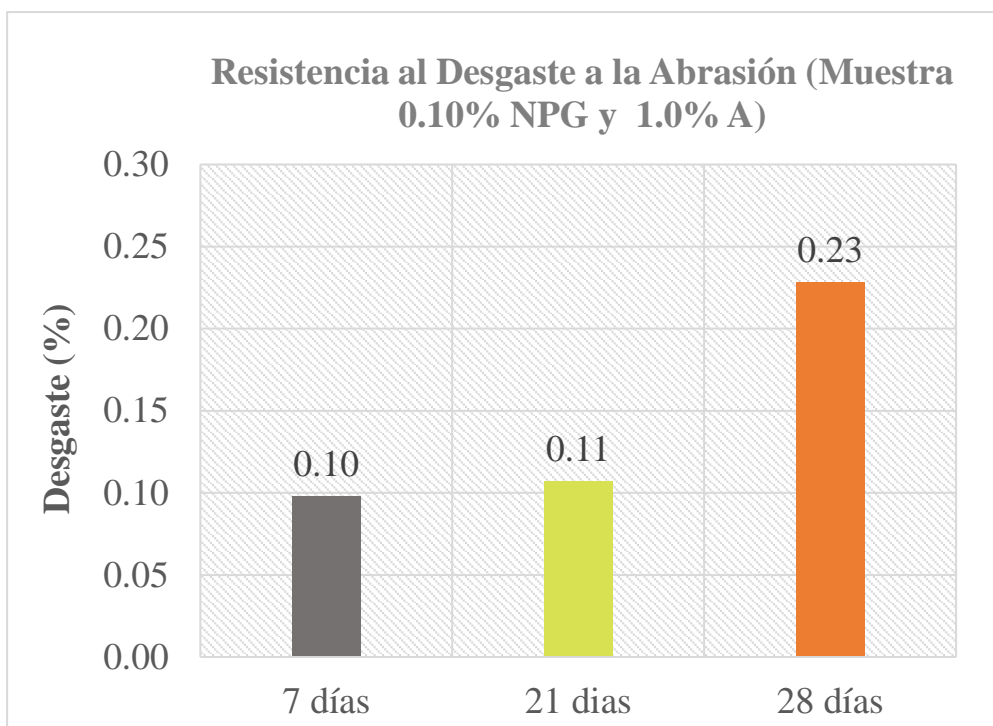


Gráfico 19: Variación del desgaste por días especificados (Muestra 0.10% NPG y 1% A).

En el gráfico anterior podemos verificar el desgaste del adoquín en la cual se va incrementando por días de 0.10%, 0.11% y 0.23% respectivamente. Pues en esta adición se ve un incremento relativo del desgaste en la que puede ocurrir por las muestras que presentaban poros pequeños en la superficie de contacto.

❖ Adoquín con 0.10% NPG y 1.5%A

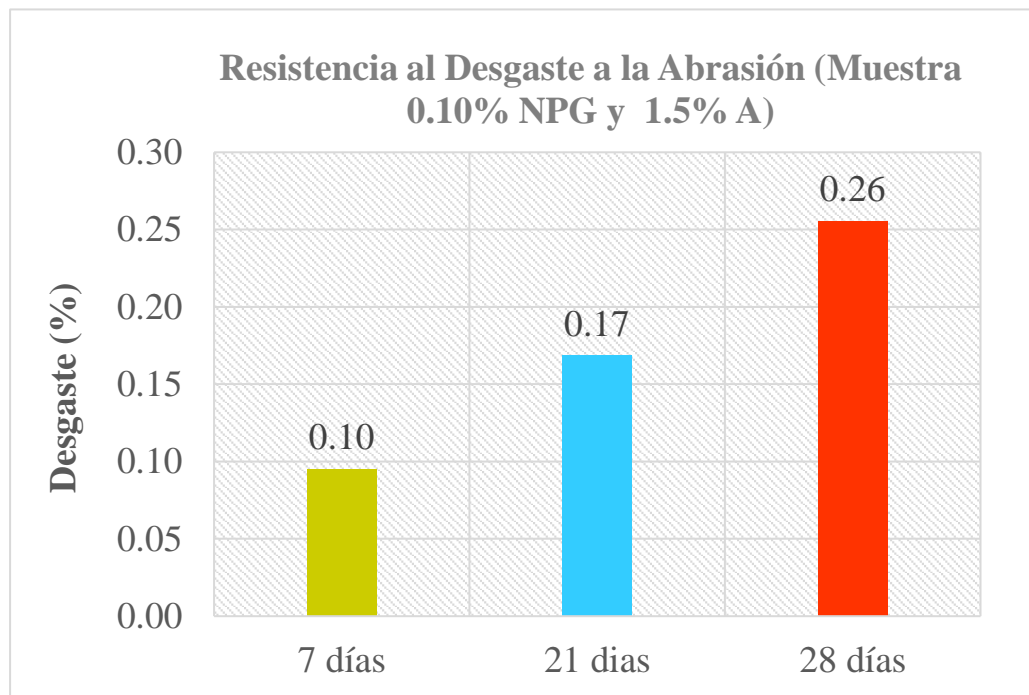


Gráfico 20: Variación del desgaste por días especificados (Muestra 0.10% NPG y 1.5%A).

En el gráfico anterior podemos verificar el desgaste del adoquín en la cual se va incrementando por días de 0.10%, 0.17% y 0.26% respectivamente. Pues en esta adición se ve un incremento relativo del desgaste en la que puede ocurrir por las muestras que presentaban poros pequeños en la superficie de contacto.

✓ **Diferencias entre el adoquín patrón y los adoquines adicionados**

Se realizó la comparación del adoquín patrón y adicionados mediante los ensayos que se realizaron para así verificar que adoquín tiene las mejores resistencias mecánicas.

Descripción (Adoquín)	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	Resistencia a la Flexión (kg/cm ²)	Resistencia al Desgaste por Abrasión (%)
Patrón	441.25	65.57	0.18
0.05% NPG y 1.0% A	481.47	63.52	0.17
0.05% NPG y 1.5% A	456.92	65.73	0.20
0.10% NPG y 1.0% A	422.87	72.20	0.23
0.10% NPG y 1.5% A	398.65	64.60	0.26

Tabla 19: Diferencias entre el adoquín patrón y los adoquines adicionados.

En la tabla se da a conocer los resultados finales que se han obtenido de los ensayos realizados a los adoquines, donde se puede apreciar que los adoquines con 0.05% NPG y 1.0% A, 0.05% NPG y 1.5% A; sobrepasan al adoquín patrón en cuanto a resistencia a la compresión, además también se resalta que el adoquín adicionado con 0.10% NPG y 1.0% A, tiene una alta resistencia a la flexión. En cambio, en la resistencia al desgaste el adoquín con 0.10% NPG y 1.5% A, tiene un mayor porcentaje de desgaste.

✓ **Rentabilidad económica de los adoquines**

Al realizar toda la elaboración del adoquín patrón, los adoquines combinados y ejecutando los ensayos que le corresponden, se procedió a someter a una evaluación económica. La evaluación económica del adoquín se realizó por millar y por unidad, por lo cual se presentarán tablas donde se plasman todos los materiales que se usó para la elaboración del adoquín, los equipos y la mano de obra que está sujeta a la Tabla Salarial de la Federación de Trabajadores de Construcción Civil del Perú.

❖ **Costo Unitario del Adoquín Convencional $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$**

Costo Unitario del Adoquín Convencional $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$						
Rendimiento:		1000 und/día		Total:		S/. 627.95 mll
				Total:		S/. 0.63 und
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	P.U S/.	Parcial S/.	Subtotal
Materiales						
Cemento Portland MS	bls		20.00	28.00	560.00	
Agua	m3		0.27	1.50	0.41	
Agregado Fino	m3		0.64	60.00	38.28	
Confitillo	m3		0.69	40.00	27.44	
						S/.
						626.13
Mano de Obra						
Peón	hh	2	0.016	56.80	0.91	
Operario	hh	1	0.008	80.50	0.64	
						S/.
						1.55
Equipos y herramientas						
Rosa Cometa	día	1	0.008	15.00	0.12	
Mezcladora de Concreto	día	1	0.008	12.00	0.10	
Herramientas Manuales	%M.O		3.00%	1.55	0.05	
						S/.
						0.26

Tabla 20: Costo Unitario del Adoquín Convencional.

En la tabla anterior se observa el costo para la elaboración de un adoquín convencional de $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$, en la cual el adoquín por millar tiene un precio de S/. 627.95 y el precio por unidad es de S/. 0.63.

❖ Costo Unitario del Adoquín con 0.05% NPG y 1% A

Costo Unitario del Adoquín con 0.05% NPG y 1%A						
Rendimiento:		1000 und/día		Total:		S/. 760.58 mll
				Total:		S/. 0.76 und
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	P.U S/.	Parcial S/.	Subtotal
Materiales						
Cemento Portland MS	bls		20.00	28.0	560.00	
Agua	m3		0.27	1.50	0.41	
Agregado Fino	m3		0.64	60.00	38.28	
Confitillo	m3		0.69	40.00	27.44	
Nanoplaqueta de Grafeno	kg		0.41	220.00	91.05	
Aserrín	kg		8.28	5.00	41.39	
						S/. 758.56
Mano de Obra						
Peón	hh	2	0.016	56.80	0.91	
Operario	hh	1	0.008	80.50	0.64	
						S/. 1.55
Equipos y herramientas						
Rosa Cometa	día	1	0.008	15.00	0.12	
Máquina Ultrasónica	día	1	0.008	25.00	0.20	
Mezcladora de Concreto	día	1	0.008	12.00	0.10	
Herramientas Manuales	%M.O		3.00%	1.55	0.05	
						S/. 0.46

Tabla 21: Costo Unitario del Adoquín con 0.05% NPG y 1% A.

En la tabla anterior se observa el costo para la elaboración de un adoquín con adiciones de 0.05% de NPG y 1% A, en la cual el adoquín por millar tiene un precio de S/. 760.58 y el precio por unidad es de S/. 0.76, lo cual tiene un aumento con respecto al adoquín convencional de S/. 0.13 por unidad y S/. 132.63 por millar de adoquines adicionados con las proporciones mencionadas anteriormente.

❖ Costo Unitario del Adoquín con 0.05% NPG y 1.5% A

Costo Unitario del Adoquín con 0.05% NPG y 1.5%A						
Rendimiento: 1000 und/día			Total: S/. 818.52 mll			
			Total: S/. 0.82 und			
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	P.U S/.	Parcial S/.	Subtotal
Materiales						
Cemento Portland MS	bls		20.00	28.0	560.00	
Agua	m3		0.27	1.50	0.41	
Agregado Fino	m3		0.64	60.00	38.28	
Confitillo	m3		0.69	40.00	27.44	
Nanoplaqueta de Grafeno	kg		0.41	220.00	91.05	
Aserrín	kg		12.42	8.00	99.33	
						S/. 816.50
Mano de Obra						
Peón	hh	2	0.016	56.80	0.91	
Operario	hh	1	0.008	80.50	0.64	
						S/. 1.55
Equipos y herramientas						
Rosa Cometa	día	1	0.008	15.00	0.12	
Máquina Ultrasónica	día	1	0.008	25.00	0.20	
Mezcladora de Concreto	día	1	0.008	12.00	0.10	
Herramientas Manuales	%M.O		3.00%	1.55	0.05	
						S/. 0.46

Tabla 22: Costo Unitario del Adoquín con 0.05% NPG y 1.5% A.

En la tabla anterior se observa el costo para la elaboración de un adoquín con adiciones de 0.05% de NPG y 1.5% A, en la cual el adoquín por millar tiene un precio de S/. 828.52 y el precio por unidad es de S/. 0.82, lo cual tiene un aumento con respecto al adoquín convencional de S/. 0.19 por unidad y S/. 190.57 por millar de adoquines adicionados con las proporciones mencionadas anteriormente.

❖ Costo Unitario del Adoquín con 0.10% NPG y 1% A

Costo Unitario del Adoquín con 0.10% NPG y 1%A						
Rendimiento: 1000 und/día			Total: S/. 1033.72 mll			
			Total: S/. 1.03 und			
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	P.U S/.	Parcial S/.	Subtotal
Materiales						
Cemento Portland MS	bls		20.00	28.0	560.00	
Agua	m3		0.27	1.50	0.41	
Agregado Fino	m3		0.64	60.00	38.28	
Confitillo	m3		0.69	40.00	27.44	
Nanoplaqueta de Grafeno	kg		0.83	440.00	364.19	
Aserrín	kg		8.28	5.00	41.39	
						S/. 1,031.71
Mano de Obra						
Peón	hh	2	0.016	56.80	0.91	
Operario	hh	1	0.008	80.50	0.64	
						S/. 1.55
Equipos y herramientas						
Rosa Cometa	día	1	0.008	15.00	0.12	
Máquina Ultrasónica	día	1	0.008	25.00	0.20	
Mezcladora de Concreto	día	1	0.008	12.00	0.10	
Herramientas Manuales	%M.O		3.00%	1.55	0.05	
						S/. 0.46

Tabla 23: Costo Unitario del Adoquín con 0.10% NPG y 1% A.

En la tabla anterior se observa el costo para la elaboración de un adoquín con adiciones de 0.10% de NPG y 1% A, en la cual el adoquín por millar tiene un precio de S/. 1033.72 y el precio por unidad es de S/. 1.03, lo cual tiene un aumento con respecto al adoquín convencional de S/. 0.4 por unidad y S/. 405.77 por millar de adoquines adicionados con las proporciones mencionadas anteriormente.

❖ Costo Unitario del Adoquín con 0.10% NPG y 1.5% A

Costo Unitario del Adoquín con 0.10% NPG y 1.5%A						
Rendimiento:		1000 und/día		Total:		S/. 1091.66 mll
				Total:		S/. 1.09 und
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	P.U S/.	Parcial S/.	Subtotal
Materiales						
Cemento Portland MS	bls		20.00	28.0	560.00	
Agua	m3		0.27	1.50	0.41	
Agregado Fino	m3		0.64	60.00	38.28	
Confitillo	m3		0.69	40.00	27.44	
Nanoplaqueta de Grafeno	kg		0.83	440.00	364.19	
Aserrín	kg		12.42	8.00	99.33	
						S/. 1,089.65
Mano de Obra						
Peón	hh	2	0.016	56.80	0.91	
Operario	hh	1	0.008	80.50	0.64	
						S/. 1.55
Equipos y herramientas						
Rosa Cometa	día	1	0.008	15.00	0.12	
Máquina Ultrasónica	día	1	0.008	25.00	0.20	
Mezcladora de Concreto	día	1	0.008	12.00	0.10	
Herramientas Manuales	%M.O		3.00%	1.55	0.05	
						S/. 0.46

Tabla 24: Costo Unitario del Adoquín con 0.10% NPG y 1.5% A.

En la tabla anterior se observa el costo para la elaboración de un adoquín con adiciones de 0.10% de NPG y 1.5% A, en la cual el adoquín por millar tiene un precio de S/. 1091.66 y el precio por unidad es de S/. 1.09, lo cual tiene un aumento con respecto al adoquín convencional de S/. 0.46 por unidad y S/. 462.71 por millar de adoquines adicionados con las proporciones mencionadas anteriormente.

❖ Resumen del costo unitario del adoquín

Después de lo escrito anteriormente, se muestra una tabla resumen de los precios tanto del adoquín convencional como de los adoquines adicionados.

Costos del adoquín convencional y adoquines adicionados					
Desc.	A. Conv.	A. Adicionado (0.05% NPG y 1% A)	A. Adicionado (0.05% NPG y 1.5% A)	A. Adicionado (0.10% NPG y 1% A)	A. Adicionado (0.10% NPG y 1.5% A)
Por Millar	S/. 627.95	S/. 760.58	S/. 818.52	S/. 1033.72	S/. 1091.66
Por Unidad	S/. 0.63	S/. 0.76	S/. 0.82	S/. 1.03	S/. 1.09

Tabla 25: Resumen de costos de la elaboración del adoquín.

En la tabla anterior podemos apreciar de una mejor manera la diferencia de los precios de un adoquín convencional y adicionados, pues los costos tienen diferencias mínimas por lo cual el adoquín de mayor costo lo tiene el adoquín adicionado 0.10% NPG y 1.5%A y el menor costo lo tiene el adoquín adicionado 0.05% NPG y 1%A.

Por otro lado, si comprobamos el costo de nuestro adoquín elaborado con el adoquín fabricado por empresas en el Perú, obtenemos una tabla con los siguientes resultados para verificar si los precios se encuentran dentro del mercado local, pero sin antes mencionar que los precios que se mostrarán a continuación se han considerado sin IGV.

Costo del adoquín convencional del mercado sin IGV			
Emp.	PROMART	FARE S.A.C	UNICON
Por Millar	S/. 1067.80	S/. 800.00	S/. 574.00

Tabla 26: Costo del adoquín de las Empresas en el Perú

Como se puede observar en la tabla, los precios del adoquín elaborado en esta investigación están dentro de los precios disponibles en el mercado local.

Discusión

Ensayos de los agregados para emplearlo en el adoquín de concreto

El adoquín de concreto fue elaborado utilizando dos tipos de agregados suministrados por diferentes proveedores. El agregado fino se obtuvo de la cantera Tres Tomas situada en el distrito de Mesones Muro de la Provincia de Ferreñafe, mientras que para el agregado grueso se utilizó el confitillo adquirido de la chancadora Piedra Azul en la misma provincia. Esta información es relevante en términos de la calidad y procedencia de los materiales utilizados para la fabricación del adoquín. Este proceso de adquisición de agregados garantiza la calidad y homogeneidad del producto final.

ENSAYOS	AGREGADOS	
	Agregado Fino	Agregado Grueso
Módulo de Fineza	2.865	-
Peso Específico de Masa	2531.00 kg/m ³	2664.00 kg/m ³
% Absorción	0.85%	1.38%
% Contenido de Humedad	1.65%	0.40%
Peso Unitario Compactado Seco	1848 kg/m ³	1475 kg/m ³
Peso Unitario Suelto Seco	1666 kg/m ³	1294 kg/m ³

Tabla 27: Discusión de las Propiedades de los Agregados.

En la tabla previamente expuesta se detallan los ensayos realizados a los distintos agregados que serán usados para la mezcla de concreto. En relación con el agregado fino, se aplicó la norma NTP 400.012 para llevar a cabo la granulometría mediante los tamices establecidos. Tras finalizar dicho proceso se obtuvo un módulo de fineza de 2.865, el cual cumple con los requisitos de la NTP 400.037, que indica que el módulo de fineza del agregado fino debe estar entre 2.3 y 3.1. Por otro lado, el peso específico resultó en 2531 kg/m³, la absorción en 0.85% y la humedad en 1.65%; estos dos últimos parámetros son cruciales para el diseño de mezcla, pues permiten determinar el agua efectiva, siendo un alto grado de absorción del agregado fino perjudicial para la trabajabilidad de la mezcla. Asimismo, los pesos unitarios del agregado fino en estado suelo y compactado arrojaron valores de 1666 kg/m³ y 1848 kg/m³, respectivamente. Este ensayo es de gran importancia en el diseño de mezcla, ya que permite conocer el volumen que el agregado ocupará en la mezcla.

Por otro lado, en lo que respecta al agregado grueso, es crucial considerar el tamaño máximo para producir el adoquín. El uso de un agregado grueso de gran tamaño máximo durante la fabricación del adoquín puede causar porosidad, por lo que se optó por emplear un agregado grueso de tamaño reducido, específicamente el confitillo. Para analizar la granulometría se empleó la NTP 400.012, mientras que para elegir el huso granulométrico se empleó la NTP 400.037 y se seleccionó el huso N°8, lo que permitió obtener una curva granulométrica dentro de los límites permisibles de este huso. En cuanto al peso específico de masa, se obtuvo un valor de 2664 kg/m^3 , el grado de absorción fue del 1.38% y el contenido de humedad del 0.40%. Es importante tener en cuenta que el contenido de humedad del agregado grueso puede afectar el aporte o reducción de agua en la mezcla, por lo que estos valores son de gran relevancia para el diseño de la mezcla de concreto. Por último, se determinó que los pesos unitarios del agregado grueso tanto suelto como compactado fueron de 1294 kg/m^3 y 1475 kg/m^3 , respectivamente, lo que brindará información importante sobre el volumen que ocupará en la mezcla.

Realizar estos ensayos es fundamental para garantizar que los agregados adquiridos sean los adecuados para la elaboración de mezclas de concreto, ya que proporcionan información técnica importante para el diseño de mezclas adecuadas.

Ensayos de las adiciones empleadas en la mezcla de concreto para el adoquín

✓ Ensayo a las Nanoplaquetas de Grafeno

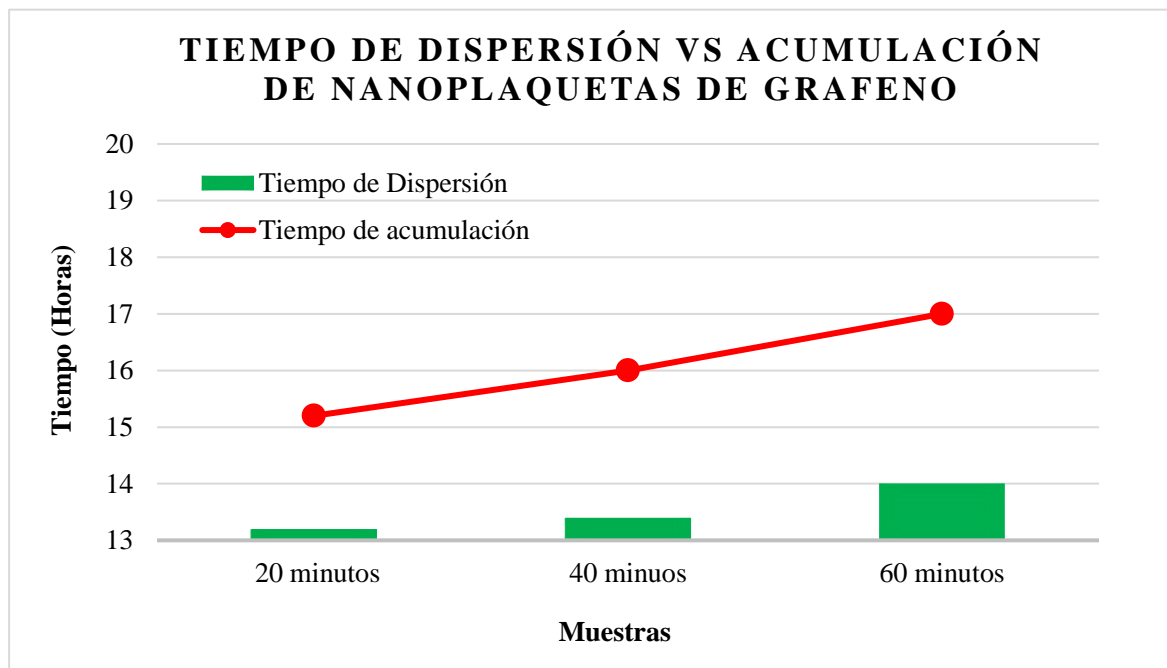


Gráfico 21: Discusión del Tiempo de Dispersión vs Aglomeración de Nanoplaquetas de Grafeno.

En el gráfico anterior se señalan las muestras que se han realizado para dispersar las nanoplaquetas de grafeno mediante ultrasonidos. Como se aprecia en la primera muestra los GNP se dispersaron en 20 minutos convirtiéndose en un nanofluido lo cual este nanofluido inicio su tiempo de decantación a los 5 minutos concluyendo en 120 minutos. En cambio, la muestra que se dispersó en 40 minutos inicio su proceso de decantación a los 10 minutos concluyendo en 140 minutos. Sin embargo, la última muestra que se dispersó en 60 minutos mostró mejores resultados ya que su tiempo de decantación se dio a los 15 minutos terminando a los 180 minutos. Concluyendo que a mayor tiempo de dispersión mediante ultrasonidos la aglomeración de este químico como lo es el GNP ocurrirá lentamente.

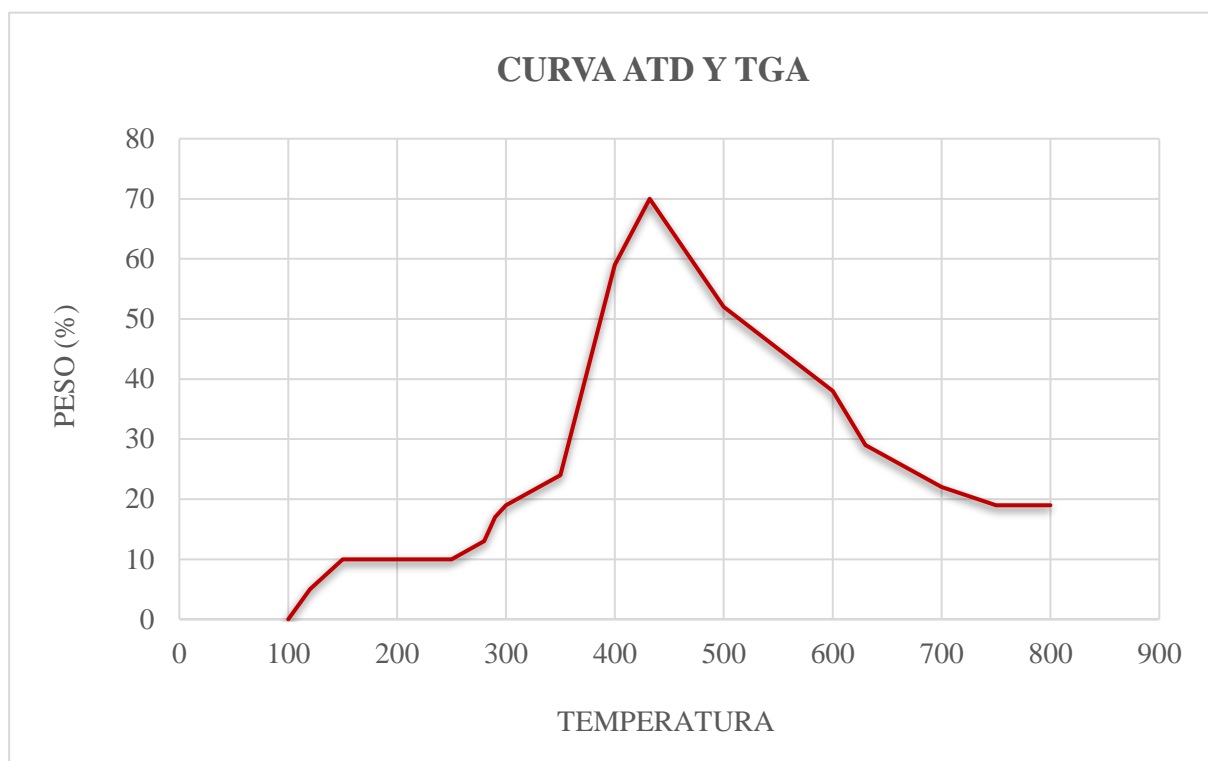
✓ **Ensayo al Aserrín**

Gráfico 22: Curva ATD y TGA.

En el gráfico presentado anteriormente ilustra el análisis termogravimétrico realizado al aserrín, donde se observó una pérdida de masa que ocurre en un rango de temperatura de 400 a 500°C, alcanzando su máximo en una temperatura de 432°C. Se sabe que en esta temperatura se produce la descomposición térmica de la celulosa y la hemicelulosa presentes en el aserrín. Además, se puede observar que a temperaturas superiores a 600°C, la pérdida de masa es menor y se produce la descomposición de la lignina. En resumen, el aserrín pierde masa principalmente en una temperatura de 432°C al ser sometido a la calcinación.

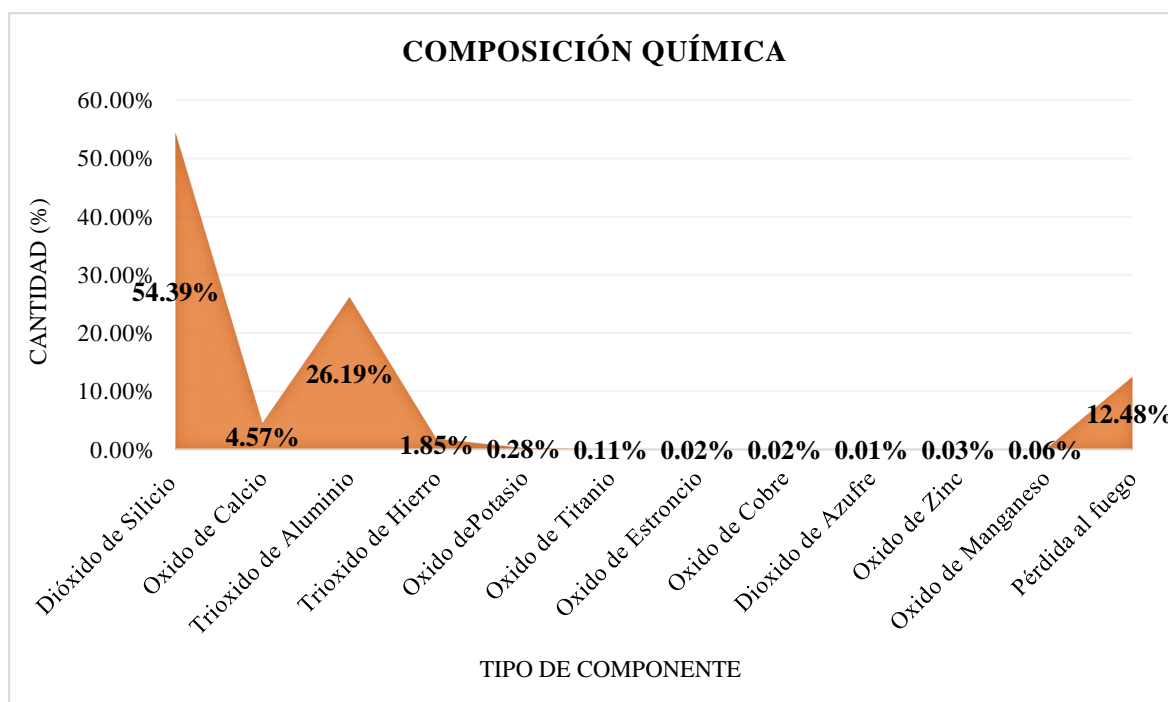


Gráfico 23: Discusión de la Composición Química del Aserrín.

El gráfico previo presenta la información obtenida a través de la técnica de fluorescencia de rayos X, la cual permitió identificar la composición química del aserrín. Los resultados indican que este material contiene un alto porcentaje de dióxido de silicio (54.39%), seguido por trióxido de aluminio (26.19%) y menores proporciones se tiene al trióxido de hierro (1.85%) y óxido de calcio (4.57%). Este análisis sugiere que el aserrín calcinado puede ser utilizado como un material puzolánico.

Un estudio realizado por Espinal y Rimachi [45], indica que la adición de materiales puzolánicos a un concreto con nanopartículas puede mejorar su resistencia a la compresión en más del 4% para un concreto con una resistencia nominal de 350 kg/cm².

Propiedades Mecánicas del adoquín

✓ Ensayo de la Resistencia a la Compresión

Días de ensayo	Muestras				
	Adoquín Convencional (kg/cm ²)	(0.05% NPG-1% A) (kg/cm ²)	(0.05% NPG-1.5% A) (kg/cm ²)	(0.10% NPG-1% A) (kg/cm ²)	(0.10% NPG-1.5% A) (kg/cm ²)
7	326.27	316.39	308.54	327.68	291.67
21	392.67	412.52	401.33	390.51	358.23
28	441.25	481.47	456.92	422.87	398.65

Tabla 28: Discusión de la Resistencia a la Compresión.

En el gráfico anterior se presenta el análisis sobre la resistencia a la compresión de adoquines de concreto convencionales y adicionados con Nanoplaquetas de Grafeno (GNP) y aserrín. El diseño original de los adoquines convencionales establecía una resistencia a la compresión de $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$. Sin embargo, los resultados experimentales demostraron que, a los 7 días de curado, la resistencia fue de 326.27 kg/cm^2 , a los 21 días llegó a 392.67 kg/cm^2 y finalmente a los 28 días alcanzó los 441.25 kg/cm^2 , superando el 5.06% con respecto a la resistencia de diseño.

Por otro lado, los adoquines con una adición de 0.05% GNP y 1% de aserrín mostraron mejores resultados en términos de resistencia. Aunque a los 7 días de curado la resistencia fue menor en comparación con los adoquines convencionales, lograron una resistencia a los 28 días de 481.47 kg/cm^2 , lo que representa un incremento del 9.12% en relación con la resistencia del adoquín convencional ensayado. Con respecto a los adoquines con adición de 0.1% GNP y 1% de aserrín, se observó que la resistencia a los 7 días fue mayor que la de los adoquines con una adición de 0.05% GNP y 1% de aserrín. Sin embargo, la resistencia a los 28 días fue de 422.84 kg/cm^2 , lo que representa un decrecimiento del 4.16% con respecto a la resistencia del adoquín convencional ensayado.

Es importante destacar que los adoquines con una adición de 0.1% GNP y 1.5% de aserrín tuvieron una resistencia inferior a la resistencia del adoquín convencional ensayado, con una resistencia de 291.67 kg/cm² a los 7 días de curado y 398.65 kg/cm² a los 28 días, lo que representa una disminución del 9.65%.

En consecuencia, con respecto a la NTP 399.611 se aprecia que el adoquín de concreto con adiciones de 0.05% GNP y 1% de aserrín tiene mejores resultados superando un 9.12% la resistencia a la compresión con respecto al adoquín convencional evaluado.

✓ Ensayo de la Resistencia a la Flexión

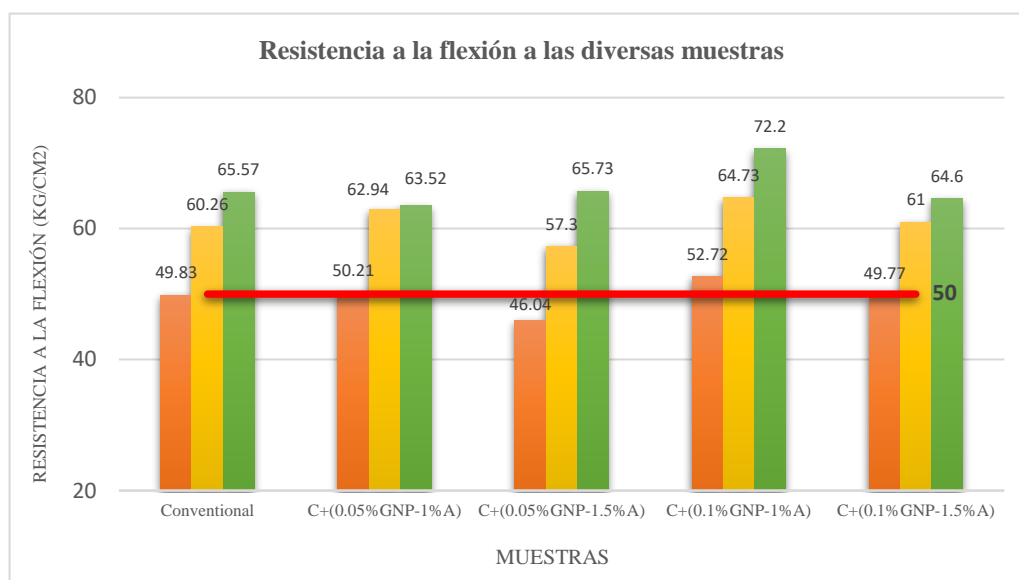


Gráfico 24: Discusión de la Resistencia a la Flexión.

En el gráfico anterior muestra los resultados de los ensayos realizados en los adoquines de concreto convencionales y los adicionados con GNP y aserrín. Según la norma ITINTEC 339.124 establece que un adoquín de concreto a los últimos días de curado debe tener una resistencia a la flexión mínima de 4.9 MPa o 50 kg/cm². La resistencia a la flexión se ha evaluado en un adoquín de concreto convencional con un diseño de $f'c = 420$ kg/cm², que ha logrado una resistencia de 49.93 kg/cm² a los 7 días, 60.26 kg/cm² a los 21 días y 65.57 kg/cm² a los 28 días, lo que satisface los requisitos de la norma y supera en un 31.14% el valor mínimo especificado.

Por otro lado, los adoquines con adiciones han obtenido valores de resistencia a la flexión de 50.21 kg/cm² y 52.72 kg/cm² para los adoquines con adición de 0.05% GNP-1% de aserrín y

0.1% GNP-1% de aserrín, respectivamente. A los 28 días, el adoquín con 0.05% GNP-1% de aserrín ha alcanzado una resistencia de 63.52 kg/cm^2 , que representa un incremento del 27.04% en comparación con el valor mínimo especificado en la norma, mientras que el adoquín con 0.1% GNP-1% de aserrín ha alcanzado una resistencia de 72.2 kg/cm^2 , que representa un incremento del 44.4% en relación con el valor mínimo especificado en la norma. Los adoquines con las adiciones de 0.05% GNP-1.5% de aserrín y 0.1% GNP-1.5% de aserrín también cumplen con los requisitos de la norma, obteniendo resistencia a los 28 días de 65.73 kg/cm^2 y 64.6 kg/cm^2 , respectivamente, que representa un aumento del 31.46% y 29.2% en relación con el valor mínimo especificado.

En resumen, tanto los adoquines convencionales como los adicionados cumplen con los requisitos de la norma en cuanto a la resistencia a la flexión, y la adición de las sustancias evaluadas no afecta la resistencia, lo que garantiza un rendimiento óptimo del adoquín en las primeras etapas.

✓ Ensayo de la Resistencia al Desgaste por Abrasión

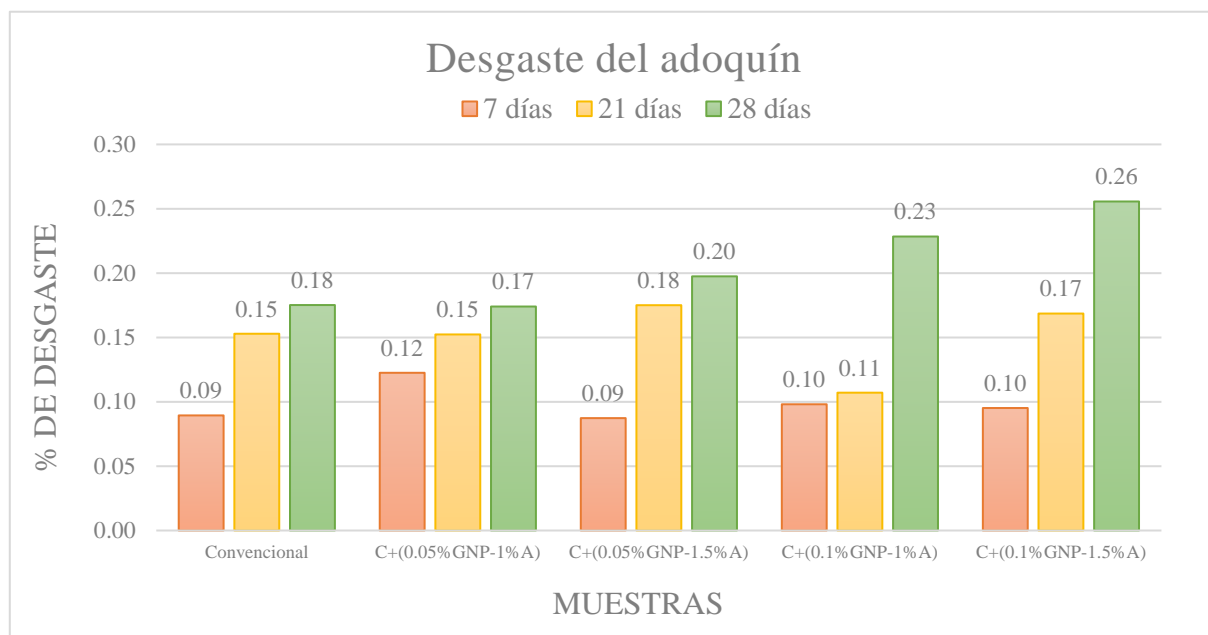


Gráfico 25: Discusión de la Resistencia al Desgaste por Abrasión.

Lo que respecta al gráfico anterior se muestra que se realizaron pruebas de resistencia al desgaste por abrasión en varios tipos de concreto, obteniéndose resultados distintos. En el concreto convencional, se observó un desgaste del 0.09% en su superficie a los 7 días, el cual aumentó al 0.18% a los 28 días. En cambio, en los adoquines de concreto con adiciones de 0.05% GNP-1.5% de aserrín, 0.1% GNP-1% de aserrín, 0.1% GNP-1.5% de aserrín, se mantuvo constante el desgaste en un 0.10% a los 7 días, pero varió a los 28 días en un 0.22%, 0.23% y 0.26% respectivamente. El adoquín con la adición de 0.05% GNP-1% de aserrín obtuvo el mayor desgaste a los 7 días, con un valor de 0.12%, mientras que a los 28 días el que menos desgaste sufrió fue el adoquín con adición de 0.1% GNP-1.5% de aserrín, con un valor de 0.17%. Es importante mencionar que el estado de la superficie del adoquín es un factor determinante en el nivel de desgaste que experimenta, ya que si presenta porosidad es más propenso a sufrir desgaste. En cambio, si la superficie se encuentra en buen estado, se observa una menor incidencia de desgaste.

Según la norma ASTM C 944 no establece un valor mínimo para el concreto durante las pruebas de abrasión, lo que significa que los resultados pueden variar según el comportamiento mecánico del espécimen. Aunque una alta resistencia a la compresión es considerada una característica deseable del concreto, en el estudio realizado por Li, Liu, Wei, Zhao y Yan [46]

han demostrado que esta propiedad no siempre se traduce en una buena resistencia al desgaste por abrasión cuando se tiene una alta resistencia a la compresión. De hecho, se ha descubierto que la resistencia al desgaste depende principalmente de la resistencia del aire adherido entre las partículas de la superficie a la fricción continua. Por lo tanto, la evaluación del desgaste por abrasión no es una medida absoluta de la calidad del concreto, sino que es una variable que debe ser considerada en conjunto con otras propiedades mecánicas para una evaluación completa del material.

Conclusiones

a. Según las características de los principales insumos para el diseño de mezcla:

- ❖ Los ensayos granulométricos realizados a los agregados como el agregado fino y agregado grueso están dentro de los rangos y límites establecidos por la norma NTP 400.012 y NTP 400.037 respectivamente, por ende, estos agregados son óptimos para la elaboración del diseño de mezcla y posteriormente fabricación del concreto.
- ❖ En cuanto al ensayo del aserrín debido a que es un material orgánico se realizó el ensayo químico en la cual brindó información de que la temperatura adecuada para que el aserrín disminuya su contenido de masa se encuentra a temperaturas de 432°C en un periodo de dos horas y también que es un material con alto contenido de dióxido de silicio que tiene funcionamiento como sustancia puzolánica, por ende, esto dará una mejor resistencia al concreto y mayor durabilidad.
- ❖ Al realizar el ensayo de ultrasonido por dispersión de las nanoplaquetas de grafeno podemos concluir que la mejor dispersión se dio en un tiempo máximo de una hora ya que pasando este tiempo se puede dar alteración de las propiedades de las nanoplaquetas.

b. Según la dosificación del concreto convencional:

- ❖ Se realizó el diseño de mezcla para un $f'c=420 \text{ kg/cm}^2$ según el ACI 211.1, en la cual se determinó mediante cálculo que la relación $a/c= 0.33$. La cantidad de agregado fino fue mayor que la cantidad de agregado grueso, esto dependió mucho de los pesos específicos realizados a ambos agregados. Como dosificación nos dio las siguientes proporciones en peso en condiciones húmedas fue 1:1.28:1.072 y en condiciones secas 1:1.26:1.068 para un m^3 de concreto.

c. Según la dosificación óptima de concreto con adiciones de nanoplaquetas de grafeno y aserrín con diferentes porcentajes:

- ❖ Se realizó la dosificación del adoquín según el volumen de la muestra que principalmente fue de 0.0012m^3 , pero con el desperdicio del 10% resultó 0.00132m^3 .

En donde la cantidad de nanoplaqueta de grafeno para 0.05% fue de 11.17gr y para 0.10% es 22.35gr. Para lo que es la cantidad de aserrín a utilizar se realizó los mismos pasos dando como resultado 223.48gr para el 1.00% y 335.22gr fue para el 1.5%. En conclusión, al realizar la combinación de ambas sustancias en una muestra de adoquín de concreto se realizó la adición al concreto de estas sustancias alternando los porcentajes.

d. Según las propiedades mecánicas: resistencia a compresión, flexión y desgaste por abrasión

- ❖ En la prueba de resistencia a la compresión se percibió decrecimiento de resistencia en algunas combinaciones que a pesar de esto con el pasar el tiempo al día de curado llegaron a superar la resistencia del adoquín patrón de 441.25 kg/cm², donde se obtuvo mejoras de un 9.12% (481.47 kg/cm²) y 3.55% (456.92 kg/cm²) de las combinaciones 0.05%GNP-1%A y 0.05%GNP-1.5%A, los cuales da a entender que estas dos combinaciones en el adoquín de concreto pueden ser usadas en pavimento de alto tránsito.
- ❖ En cuanto a la prueba de resistencia a la flexión se observó un crecimiento de 44.4% (72.2 kg/cm²) para una combinación de adiciones de 0.1%GNP-1%A con respecto a lo estipulado en la norma ITINTEC.
- ❖ En cuanto a la resistencia al desgaste por abrasión se observó un desgaste variable según a los días de ensayo debido a varios factores que puede presentarse en la muestra como pequeños agrietamientos. El adoquín que presento mejores resultados con un 0.17% de desgaste fue con las adiciones de 0.05%GNP-1%A esto se da debido a que presenta una mayor resistencia a la compresión.

e. En cuanto a las diferencias del adoquín patrón y adoquines adicionados:

- ❖ Según sus diferencias de ambos adoquines, se observó que existe una mayor resistencia a la compresión en dos combinaciones de las adiciones usando cantidades óptimas con respecto al adoquín de diseño. En cuanto a su resistencia a la flexión se verifico que estos adoquines cumplen con las expectativas tanto así que cumple con lo mínimo

estipulado en la norma. En cuanto a su desgaste se va a ver afectado según la porosidad que tenga la muestra y también según su resistencia a compresión, mostrando que la combinación con las adiciones menores de GNP y aserrín tienen menor desgaste. Por ende, algunos adoquines con adiciones tienen un mejor comportamiento mecánico según las pruebas que se realizaron.

f. En cuanto a la rentabilidad económica:

- ❖ Según las propiedades mecánicas si es factible fabricar estos adoquines de concreto con algunas adiciones por su resistencia a la compresión, flexión y desgaste por abrasión que son óptimos, pero en el ámbito económico se realizó la comparación de nuestros adoquines con empresas del mercado de producción donde se concluye que la empresa UNICON tiene un menor costo por unidad de adoquín respecto a nuestros adoquines elaborados, mientras que la empresa PROMART tiene un elevado costo respecto a nuestro adoquín convencional y algunas adiciones.

Costos del adoquín convencional y adoquines adicionados					
Desc.	A. Conv.	A. Adicionado (0.05% NPG y 1% A)	A. Adicionado (0.05% NPG y 1.5% A)	A. Adicionado (0.10% NPG y 1% A)	A. Adicionado (0.10% NPG y 1.5% A)
Por Millar	S/. 627.95	S/. 760.58	S/. 818.52	S/. 1033.72	S/. 1091.66
Por Unidad	S/. 0.63	S/. 0.76	S/. 0.82	S/. 1.03	S/. 1.09

Tabla 29: Resumen de costos de la elaboración del adoquín.

Costo del adoquín convencional del mercado sin IGV			
Emp.	PROMART	FARE S.A.C	UNICON
Por Millar	S/. 1067.80	S/. 800.00	S/. 574.00
Por Unidad	S/. 1.07	S/. 0.8	S/. 0.6

Tabla 30: Costo del adoquín de las Empresas en el Perú

Recomendaciones

- a.** Se recomienda que el tiempo de vibrado y compactado no exceda los 15 segundos en los adoquines ya que va a tener mejores resultados en sus propiedades.
- b.** Se recomienda que para la fabricación de un concreto con adiciones de GNP y aserrín, es necesario realizar un buen pesaje de los materiales, tiempo de mezclado y la forma del curado del adoquín para que la muestra tenga mejores resultados.
- c.** Se recomienda evaluar estas adiciones en adoquines con otras resistencias y verificar si sus propiedades mecánicas siguen siendo óptimas.
- d.** Se recomienda hacer estudios con otras dosificaciones más bajas de adición de las dos sustancias con la finalidad de verificar si las propiedades mecánicas siguen siendo factibles.
- e.** Recomendar a los futuros investigadores que verifiquen más a fondo las características de los materiales que se han adicionado al adoquín de concreto con el fin de promover el uso de estos materiales en el ámbito de la Ingeniería Civil,
- f.** Se sugiere estudiar el adoquín de concreto con otros tipos de cemento para las distintas resistencias que tiene el adoquín según norma.

Referencias

- [1] Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., «Nanotecnología y concreto,» *Construcción y Tecnología en concreto*, vol. 6, n° 2, p. 2, 2016.
- [2] F.T, Elera Zurita; R, Maldonado Montenegro;, «ADOQUINES DE CONCRETO LIVIANO INCORPORANDO POLIESTIRENO PARA VEREDAS Y AREAS RECREATIVAS JAÉN - 2020,» UNJ, Jaén, 2020.
- [3] Yuanzhao , C; Qian, W; Zhenxia, L; Siqing , D;, «Rhyiological properties of graphene nanoplatelets/rubber crowd composite modified asphalt,» *Construction and Building Materials*, vol. 261, n° 120505, 2020.
- [4] A.D, Ortega Sánchez; H, Gil, «Estudio del comportamiento mecánico de morteros modificados con fibras de aserrín bajo esfuerzos de compresión,» *Ingeniería y Desarrollo*, vol. 37, n° 1, pp. 20-35, Octubre 2019.
- [5] Orhan, K; Veysel , O;, «Thermohydraulic performance evaluation for horizontal tube by using combination of modified coiled wire inserts and graphene nanoplatelet-water nanouids,» *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 123, n° 105206, 2021.
- [6] E.A, Navarro Jiménez; H, Forero Romero;, «Mejoramamiento de la resistencia a compresión del concreto con Nanotubos de Carbono,» Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, 2017.
- [7] V.A, Apaza Mango; K,M, Quispe Mamani;, «MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE NANOTUBOS DE CARBONO,» Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, 2018.
- [8] Tuesta Ramírez, J. H; Vásquez Silva, S;, «"Diseño de mezcla de concreto simple adicionando ceniza de aserrín para mejorar la resistencia a la compresión, Lamas 2021",» Universidad César Vallejo, Tarapoto, 2021.
- [9] M. I, Cabezas Fierro;, «Elaboración de un Manual de Procesos Constructivos del Adoquinado,» Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2014.
- [10] PCR;, «Pavimentos Intertrabados de Adoquines de Hormigón,» Departamento de Promoción y Servicios Técnicos PCR S.A., 2004.
- [11] T, Echaveguren Navarro;, Manual de Diseño de Pavimentos de Adoquines de Hormigón, Chile: Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile, 2013.

- [12] INACAL;, «NTP 399.611: Unidades de Albañilería. Adoquines de concreto para pavimentos. Requisitos.» INACAL, Lima, 2017.
- [13] J. I, Reyes Mejía;, «REACCIÓN ASISTIDA POR MICROONDAS PARA LA OBTENCIÓN DE HIDROCARBUROS A PARTIR DE ASERRÍN DE MADERA,» Universidad Central del Ecuador, Quito, 2013.
- [14] A, Monroy Rodríguez;, «Integración de aserrín en la fabricación de bloques de concreto,» Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Monterrey, 1999.
- [15] S, Monteoliva;, «La madera: propiedades y productos forestales,» 2009.
- [16] L. J, Bellido Yarleque;, «PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO LIGERO CON INCORPORACIÓN DE VIRUTAS DE MADERA,» Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, 2018.
- [17] Todo en madera shop, «Propiedades Térmicas de la madera,» 2018. [En línea]. Available: <https://bit.ly/3Ttvr5i>.
- [18] I, Lasanta;, «ESTUDIO DE ADICIONES DE BISMUTO EN ALEACIONES ZINC-ALUMINIO,» UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID , Madrid, 2013.
- [19] G, Ginés; Ranz, I;, «Utilización de un equipo portátil de fluorescencia de rayos x para el estudio de metales pesados en suelos: puesta a punto y aplicación a vertederos,» Universidad de Alcalá, Madrid, 2010.
- [20] D. A, Mojica López;, «La Nanotecnología en la Infraestructura Civil Estado del Conocimiento y Prospectiva,» Universidad Piloto de Colombia, Bogota, 2014.
- [21] L, Cornejo;, «Nuevas Tecnologías y Materiales,» Nuevas Tecnologías y Materiales, 14 Julio 2015. [En línea]. Available: <https://bit.ly/3lGLRrW>.
- [22] A, Srivastava; K, Singh;, «NANOTECHNOLOGY IN CIVIL ENGINEERING AND CONSTRUCTION: A REVIEW ON STATE OF THE ART AND FUTURE PROSPECTS,» *Proceedings of Indian Geotechnical Conference*, n° 24, pp. 1077-1080, 2011.
- [23] M, Kanda; A, Sharma;, «NANOTECHNOLOGIES IN CIVIL ENGINEERING,» *International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering*, vol. 5, n° 3, pp. 62-65, 2018.
- [24] A, Arnedo;, «El Grafeno: propiedades, características y aplicaciones,» Blog SEAS, 22 octubre 2012. [En línea]. Available: <https://bit.ly/3wIB2Ma>.

- [25] Ming, Y. S; Tung, Y. C; Tsung-Han, H; Yi-Luen, L; Chin-Lung, C; Hsiharng, Y; Ming-Chuen, Y;, «Mechanical Properties and Tensile Fatigue of Graphene Nanoplatelets Reinforced Polymer Nanocomposites,» Hindawi Publishing Corporation, Taiwán, 2013.
- [26] Bhadauria, A; Singh, L; Laha, T;, «Combined strengthening effect of nanocrystalline matrix and graphene nanoplatelet reinforcement on the mechanical properties of spark plasma sintered aluminum based nanocomposites,» *Materials Science & Engineering A*, vol. 749, pp. 14-26, 2019.
- [27] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, «Seguridad y Salud en el trabajo con Nanomateriales,» Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Madrid, 2015.
- [28] Materials for Scientific and Industrial Research and Manufacturing, «NANOPLAQUETAS DE GRAFENO FUNCIONALIZADO (GNP),» 2018. [En línea]. Available: https://nanopdf.com/download/nanoplaquetas-de-grafeno-funcionalizado-gnp_pdf.
- [29] E. G, Ordoñez Casanova;, «Estudio experimental y teórico de nanotubos de carbono de pocas paredes.,» CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS DE POSGRADO, CHIHUAHUA, 2013.
- [30] J, Seguro;, «construyendoseguro,» Aceros Arequipa, 2022. [En línea]. Available: <https://bit.ly/3LKDupQ>.
- [31] Ing. Arrieta, J; Ing. Peñaherrera, E;, Fabricación de Bloques de Concreto con una mesa vibratoria, Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2001.
- [32] SUOJAUS, «SUOJAUS.MX,» 2018. [En línea]. Available: <http://bit.ly/3GrHRqA>.
- [33] INACAL, «NTP 400.012: Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.,» INACAL, LIMA, 2013.
- [34] INACAL, «NTP 339.185: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.,» INACAL, LIMA, 2013.
- [35] INACAL, « NTP 400.017: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados,» INACAL, LIMA, 2011.

- [36] INACAL, «NTP 400.021: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso,» INACAL, Lima, 2013.
- [37] INACAL, «NTP 400.022: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino,» INACAL, Lima, 2013.
- [38] INACAL, «NTP 339.035: HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland.,» INACAL, Lima, 2009.
- [39] INACAL, «NTP 399.604: UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto,» INACAL, Lima, 2002.
- [40] ITINTEC, «ITINTEC 339.124: Adoquines de concreto prefabricados para pavimentos,» ITINTEC, Lima, 1988.
- [41] Comité ACI, «ACI 211.1: Práctica estándar para seleccionar proporciones para Concreto normal, pesado y en masa,» ACI, Estados Unidos, 2002.
- [42] ASTM Internacional, «ASTM C 944-99: Método de Ensayo Estándar para Resistencia a la Abrasión en Superficies de Concreto o Mortero por el Método de Corte Rotativo,» ASTM, El Salvador, 2003.
- [43] CEMEX, «Artículos de construcción,» CEMEX, 05 abril 2019. [En línea]. Available: <https://bit.ly/3yWZVoX>.
- [44] INACAL, «NTP 400.037: AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto,» INACAL, Lima, 2014.
- [45] Espinal, J. G.; Rimachi, G., «Influencia de la adición de nanosílice (SiO₂) y dióxido de titanio (TiO₂) en las propiedades del concreto modificado con baja dosificación de nanopartículas,» Universidad Peruana Unión, Lima, 2020.
- [46] Li, T.; Liu, X.; Wei, Z.; Zhao, Y.; and Yan, D., «Study on the wear-resistant mechanism of concrete based on wear theory,» *theory*, vol. 271, n° 121594, pp. 1-7, 2021.
- [47] A, Barrera Ochoa, «El Aserrín como material expresivo en el diseño interior,» Universidad del Azuay, Cuenca, 2016.
- [48] INACAL, «NTP 400.011: AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos),» INACAL, Lima, 2008.

[49] INACAL, «NTP 339.088: Concreto. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Pórtland. Requisitos.,» INACAL, Lima, 2014.

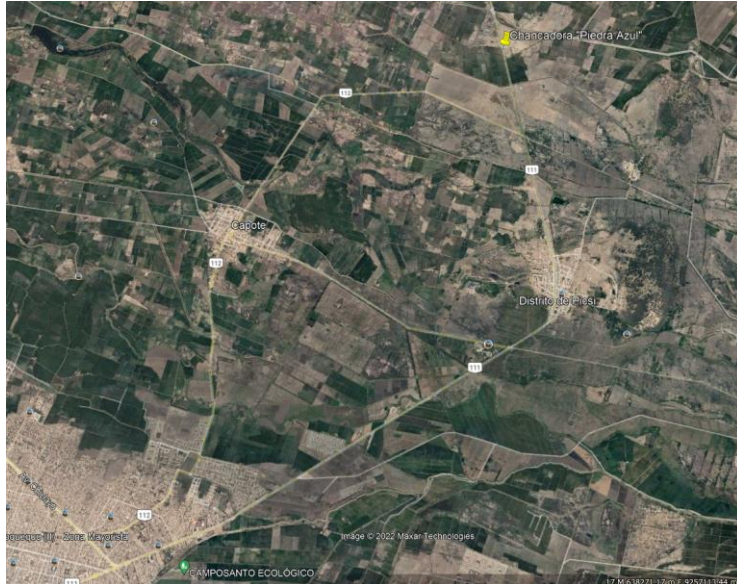


Ilustración 28: Ubicación de la Chancadora "Piedra Azul"

Fuente: Google Earth



Ilustración 29: Recolección Agregado Grueso (Confitillo).



Ilustración 30: Ubicación del Aserradero para recolección de aserrín.

Fuente: Google Earth



Ilustración 31: Entrada al aserradero.



Ilustración 32: Máquina para obtención de aserrín.



Ilustración 33: Aserrín calcinado según recomendaciones de análisis químico.

➤ Anexo N°02: Elaboración de Adoquín



Ilustración 34: Determinación de Slump



Ilustración 35: Mezcladora de Concreto de Bandeja Plana Eléctrica



Ilustración 36: Máquina Bloquera Rosa Cometa



Ilustración 37: Elaboración del Concreto



Ilustración 38: Elaboración del Adoquín



Ilustración 39: Fraguado del Adoquín



Ilustración 40: Curado de Adoquines

➤ **Anexo N°03: Ensayos del Adoquín**

➤ **Ensayo de Resistencia a la Compresión**



Ilustración 41: Medición de la muestra para ensayar.



Ilustración 42: Ensayo de Resistencia a la Compresión.



Ilustración 43: Rotura de la muestra sometida a Compresión.



Ilustración 44: Resumen resultados de Resistencia a la Compresión.

➤ **Ensayo de Resistencia a la Flexión**



Ilustración 45: Medición de la muestra para ensayar.



Ilustración 46: Ensayo de Resistencia a la Flexión.



Ilustración 47: Muestra después del ensayo realizado a Flexión.



Ilustración 48: Resumen resultados de Resistencia a la Flexión.

➤ **Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión**

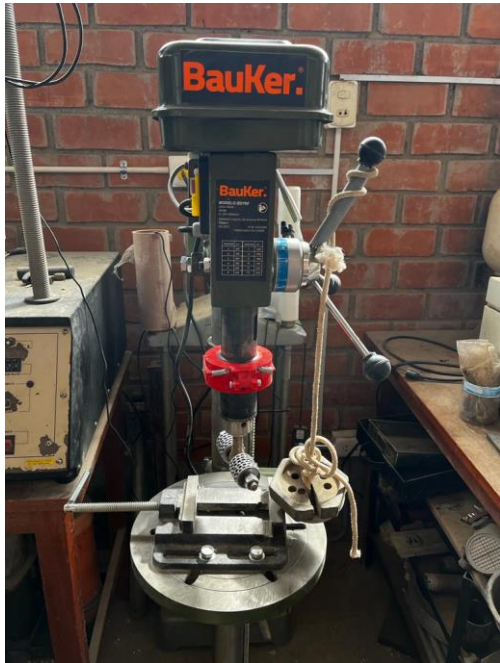


Ilustración 49: Máquina de la Resistencia al Desgaste por Abrasión



Ilustración 50: Muestra sujeta en la Máquina de Desgaste



Ilustración 51: Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión.



Ilustración 52: Pesado de una Muestra Adicionada.

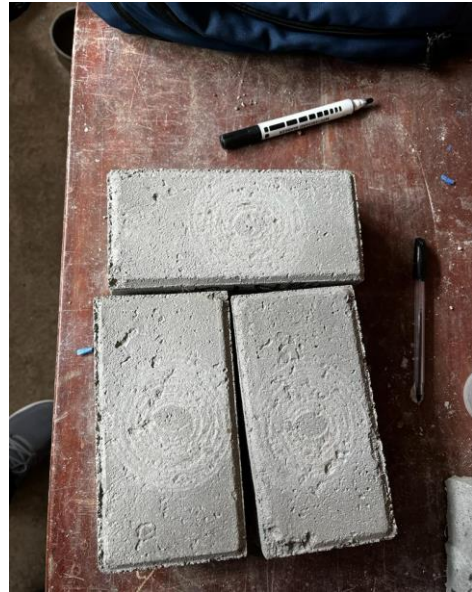


Ilustración 53: Muestras al culminar los ciclos de desgaste.

➤ Anexo N°04: Documentos de Valides de Ensayos

➤ Ensayo de Agregados

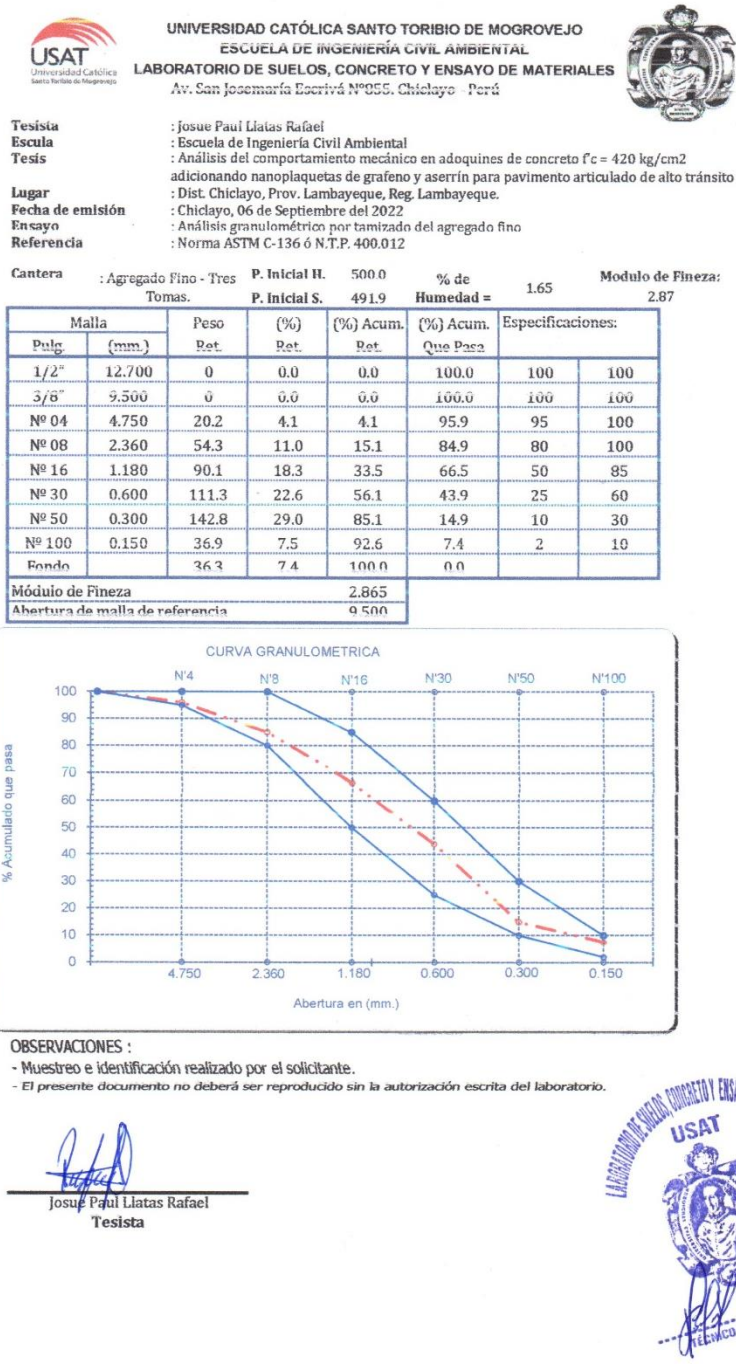


Ilustración 54: Granulometría del Agregado Fino.

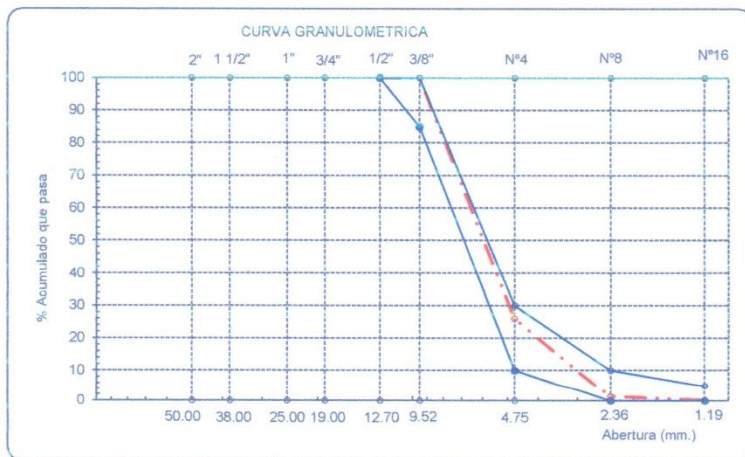


UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855. Chiclayo - Perú



Tesista : Josue Paul Llatas Rafael
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Análisis del comportamiento mecánico en adoquines de concreto $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$ adicionando nanoplaquetas de grafeno y aserrín para pavimento articulado de alto
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 06 de Septiembre del 2022
Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso
Referencia : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

Malla		Peso	(%)	P. Inicial H.	1048.3	% de	Especificaciones	
Pulg.	(mm.)	Ret.	Ret.	P. Inicial S.	1044	Humedad =	USO B	
					Que Pasa			
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0			
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0			
1"	25.00	0.0	0.0	0.0	100.0			
3/4"	19.00	0.0	0.0	0.0	100.0			
1/2"	12.70	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	
3/8"	9.52	0.0	0.0	0.0	100.0	85.0	100.0	
1/4"	6.33	284.8	27.3	27.3	72.7			
Nº 04	4.75	488.9	46.8	74.1	25.9	10.0	30.0	
Nº 08	2.36	257.0	24.6	98.7	1.3	0.0	10.0	
Nº 16	1.19	12.0	1.1	99.9	0.1	0.0	5.0	
Fondo		1	0.1	100.0	0.0			
Tamaño Máximo			3/8"	0.52				
Tamaño Máximo Nominal			1/4"	6.33				



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


 Josue Paul Llatas Rafael
 Tesista



Ilustración 55: Granulometría del Agregado Grueso (Confitillo).



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



Tesista : Josue Paul Llatas Rafael
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Análisis del comportamiento mecánico en adoquines de concreto $f'c = 420$ kg/cm² adicionando nanoplaquetas de grafeno y aserrín para pavimento articulado de alto tránsito
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque
Fecha de emisión : Chiclayo, 06 de Septiembre del 2022
Ensayo : Contenido de humedad del agregado fino
Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Cantera : Agregado Fino - Tres Tomas.

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	584.6	584.6
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	576.5	576.5
C.- Peso de recipiente	(gr.)	84.6	84.6
D.- Contenido de humedad	(%)	1.65	1.65
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	1.65	

OBSERVACIONES :

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


 Josue Paul Llatas Rafael
 Tesista



Ilustración 56: Contenido de Humedad del Agregado Fino.



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



Tesista : Josue Paul Llatas Rafael
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Análisis del comportamiento mecánico en adoquines de concreto $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$ adicionando nanoplaquetas de grafeno y aserrín para pavimento articulado de alto tránsito
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambaveque, Req. Lambaveque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 06 de Septiembre del 2022
Ensayo : Contenido de humedad del agregado grueso
Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Cantera : Confitillo - Chancadora Piedra Azul

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	566.8	566.8
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	564.8	564.8
C.- Peso de recipiente	(gr.)	66.8	66.8
D.- Contenido de humedad	(%)	0.4	0.4
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.40	

OBSERVACIONES :

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

Josue Paul Llatas Rafael
 Tesista



Ilustración 57: Contenido de Humedad del Agregado Grueso (Confitillo).



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



Tesista : Josue Paul Llatas Rafael
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Análisis del comportamiento mecánico en adoquines de concreto $f_c = 420 \text{ kg/cm}^2$ adicionando nanoplaquetas de grafeno y aserrín para pavimento articulado de alto tránsito
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 06 de Septiembre del 2022
Ensayo : Peso unitario del agregado fino
Referencia : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

Cantera : Agregado Fino - Tres Tomas.

1.- PESO UNITARIO SUELTO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	17675	17681
2.- Peso del recipiente	(gr.)	8460.0	8460.0
3.- Peso del material		9215	9221
4.- Constante ó Volumen	(m^3)	0.00544	0.00544
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m^3)	1693	1694
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m^3)	1666	

2.- PESO UNITARIO COMPACTADO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	18692	18677
2.- Peso del recipiente	(gr.)	8460.0	8460.0
3.- Peso del material		10232	10217
4.- Constante ó Volumen	(m^3)	0.00544	0.00544
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m^3)	1880	1877
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m^3)	1848	

OBSERVACIONES :

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


 Josue Paul Llatas Rafael
 Tesista



Ilustración 58: Peso Unitario del Agregado Fino.



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



Tesista : Josue Paul Llatas Rafael
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Análisis del comportamiento mecánico en adoquines de concreto $f'c = 420$ kg/cm² adicionando nanoplaquetas de grafeno y aserrín para pavimento articulado de alto tránsito
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 06 de Septiembre del 2022
Ensayo : Peso unitario del agregado grueso
Referencia : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

Cantera : Confitillo - Chancadora Piedra Azul

A.- PESO UNITARIO SUELTO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	15538	15540
2.- Peso del recipiente	(gr.)	8464.0	8464.0
3.- Peso del material		7074	7076
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00544	0.00544
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m ³)	1299	1300
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m ³)	1294	

B.- PESO UNITARIO COMPACTADO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	16531	16520
2.- Peso del recipiente	(gr.)	8464.0	8464.0
3.- Peso del material		8067.0	8056.0
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00544	0.00544
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m ³)	1482	1480
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m ³)	1475	

OBSERVACIONES :

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


 Josue Paul Llatas Rafael
 Tesista



Ilustración 59: Peso Unitario del Agregado Grueso (Confitillo).



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



Tesista : Josue Paul Llatas Rafael
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Análisis del comportamiento mecánico en adoquines de concreto $f_c = 420 \text{ kg/cm}^2$ adicionando nanoplaquetas de grafeno y aserrín para pavimento articulado de alto tránsito
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 06 de Septiembre del 2022
Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado fino
Referencia : Norma ASTM C-128 ó N.T.P. 400.022

Cantera : Agregado Fino - Tres Tomas.

I.- Datos.

1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + Peso del Agua	(g)	985.2	985.2
2.- Pes Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	681.1	681.1
3.- Peso del Agua	(g)	304.1	304.1
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasco	(g)	676.9	676.9
5.- Peso del Frasco	(g)	181.1	181.1
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	495.8	495.8
7.- Volumen del frasco	(g)	500	500

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.531
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.552
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.586
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.85

OBSERVACIONES :

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


 Josue Paul Llatas Rafael
 Tesista



Ilustración 60: Peso específico y grado de absorción del Agregado Fino.



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



Tesista : Josue Paul Llatas Rafael
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Análisis del comportamiento mecánico en adoquines de concreto $f'c = 420$ kg/cm² adicionando nanoplaquetas de grafeno y aserrín para pavimento articulado de alto tránsito
Lugar : Dist. Chiclayo. Prov. Lambaveque. Rea. Lambaveque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 06 de Septiembre del 2022
Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado grueso
Referencia : Norma ASTM C-127 ó N.T.P. 400.021

Cantera : Confitillo - Chancadora Piedra Azul

I.- Datos.

1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	507	507
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	514	514
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso del canasti	(g)	460	460
4.- Peso de la canastilla	(g)	126	126
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	324	324

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.664
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.701
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.766
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	1.38

OBSERVACIONES :

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


 Josue Paul Llatas Rafael
 Tesista



Ilustración 61: Peso específico y grado de absorción del Agregado Grueso (Confitillo).

➤ Diseño de Mezcla



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



Tesista : Josue Paul Llatas Rafael
Tesis : Análisis del comportamiento mecánico en adoquines de concreto $f'c = 420$ kg/cm² adicionando nanoplaquetas de grafeno y aserrín para pavimento articulado de alto tránsito
Ensayo : Diseño de Mezcla de Concreto
Referencia : ACI 211

DISEÑO DE MEZCLA $f'c = 420$ kg/cm²

Tipo de Cemento: Pacasmayo Tipo MS $f'c = 420$ kg/cm²

I.) Datos de los Agregados:

GRUESO : Confitillo - Chancadora Piedra Azul

- 01.- Tamaño máximo nominal
- 02.- Peso Unitario suelto seco
- 03.- Peso Unitario compactado seco
- 04.- Peso específico de masa seco
- 05.- Contenido de humedad
- 06.- Contenido de absorción
- 07.- Módulo de fineza (adimensional)

FINO : Agregado Fino - Tres Tomas.

3/8"	-----	pulg.
1294	1666	kg/cm ²
1475		kg/cm ³
2.664	2.531	kg/cm ²
0.40	1.65	%
1.38	0.85	%
-----	2.865	

II.) Datos de la Mezcla y otros

- 08.- Resistencia especificada a los 28 días
- 09.- Contenido de aire atrapado
- 10.- Relación agua cemento
- 11.- Volumen unitario del agua
- 12.- Volumen del agregado grueso
- 13.- Peso específico del cemento

$f'c$	518	kg/cm ²
R_{ac}	3	%
	0.330	
	207	L/m ³
	0.454	m ³
	3150	kg/cm ³

III.) Cálculo de volúmenes absolutos

a) Cemento	627.053 kg/m ³	0.199 m ³
b) Agua	207 Lt/m ³	0.207 m ³
c) Aire	3 %	0.030 m ³
d) Agregado Grueso	669.650 kg/m ³	0.251 m ³
		0.687 m ³

IV.) Contenido de Agregado Fino

Vol. Absoluto AF	0.313 m ³
e) Agregado Fino	792.203 kg/m ³

V.) Corrección por Humedad

a) Agregado Grueso	672.329 kg/m ³
b) Agregado Fino	805.274 kg/m ³

VI.) Aporte de agua

Aporte	-0.225 Lt/m ³
Agua efectiva	207.225 Lt/m ³

VII.) Resultado Final de Diseño

a) Cemento	627.053 kg/m ³
b) Agua	207.225 Lt/m ³
c) Agregado Grueso	672.329 kg/m ³
d) Agregado Fino	805.274 kg/m ³

VIII.) Dosificación

Proporción en peso :	1.00	1.28	1.07	14.05	Its
Proporción en volumen :	1.00	1.26	1.07	14.03	Its

IX.) Pesos para una Tanda - Elemento (Adoquines)

Medidas	10x20x6cm	Volumen	0.0012
Cantidad	27	Vol. Total	0.032

X.) Proporción en pesos

a) Cemento	22.07	kg
b) Agua	7.294	Lts
c) Agregado Grueso	22.07	kg
d) Agregado Fino	28.35	kg


Josue Paul Llatas Rafael
Tesista



Ilustración 62: Diseño de Mezcla Patrón.



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



Tealista : Josue Paul Llatas Rafael
Tesis : Análisis del comportamiento mecánico en adoquines de concreto $f'c = 420$ kg/cm² adicionando nanoplaquetas de grafeno y aserrín para pavimento articulado de alto tránsito
Ensayo : Diseño de Mezcla de Concreto
Referencia : ACI 211

DISEÑO DE MEZCLA $f'c = 420$ kg/cm² - ADICIÓN (0.05% NPG - 1.0% A)

Tipo de Cemento: Pacasmayo Tipo MS **$f'c =$** 420 kg/cm²

I.) Datos de los Agregados:

GRUESO : Confitillo - Chancadora Piedra Azul

- 01.- Tamaño máximo nominal
- 02.- Peso Unitario suelto seco
- 03.- Peso Unitario compactado seco
- 04.- Peso específico de masa seco
- 05.- Contenido de humedad
- 06.- Contenido de absorción
- 07.- Módulo de fineza (adimensional)

FINO : Agregado Fino - Tres Tomas.

3/8"	-----	pulg.
1294	1666	kg/cm ³
1475	-----	kg/cm ³
2.664	2.531	kg/cm ³
0.40	1.65	%
1.38	0.85	%
-----	2.865	

II.) Datos de la Mezcla y otros

- 08.- Resistencia especificada a los 28 días
- 09.- Contenido de aire atrapado
- 10.- Relación agua cemento
- 11.- Volumen unitario del agua
- 12.- Volumen del agregado grueso
- 13.- Peso específico del cemento

$f'c$	518	kg/cm ²
R_{ac}	3	%
	0.330	
	207	L/m ³
	0.454	m ³
	3150	kg/cm ³

III.) Cálculo de volúmenes absolutos

a) Cemento	627.053 kg/m ³	0.199	m ³
b) Agua	207 Lt/m ³	0.207	m ³
c) Aire	3 %	0.030	m ³
d) Acreado Grueso	669.650 kg/m ³	0.251	m ³
		0.687	m ³

IV.) Contenido de Agregado Fino

Vol. Absoluto AF	0.313 m ³
e) Agregado Fino	792.203 kg/m ³

V.) Corrección por Humedad

a) Acreado Grueso	672.329 kg/m ³
b) Agregado Fino	805.274 kg/m ³

VI) Aporte de agua

Aporte	-0.225 Lt/m ³
Agua efectiva	207.225 Lt/m ³

VII.) Resultado Final de Diseño

a) Cemento	627.053 kg/m ³
b) Agua	207.225 Lt/m ³
c) Agregado Grueso	672.329 kg/m ³
d) Agregado Fino	805.274 kg/m ³

VIII.) Dosificación

Proporción en peso :	1.00	1.28	1.07	14.05 lts
Proporción en volumen :	1.00	1.26	1.07	14.03 lts

IX.) Pesos para una Tanda - Elemento (Adoquines)

Medidas	10x20x6cm	Volumen	0.0012
Cantidad	27	Vol. Total	0.032

X.) Cantidad de Adiciones

Nanoplaqueta Grafeno	11.17	gr
Aserrín	223.48	gr

XI.) Proporción en pesos

a) Cemento	22.07	kg	e) Nanoplaqueta Grafeno	11.17	gr
b) Agua	6.494	Lts	f) Aserrín	223.48	gr
c) Agregado Grueso	23.67	kg			
d) Agregado Fino	28.35	kg			


Josue Paul Llatas Rafael
Tealista



Ilustración 63: Diseño de Mezcla Adicionado (0.05% NPG - 1.0% A).



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



Tesista : Josue Paul Llatas Rafael
Tesis : Análisis del comportamiento mecánico en adoquines de concreto $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$ adicionando nanopláquetas de grafeno y aserrín para pavimento articulado de alto tránsito
Ensayo Referencia : Diseño de Mezcla de Concreto : ACI 211

DISEÑO DE MEZCLA $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$ - ADICIÓN (0.05% NPG - 1.5% A)

Tipo de Cemento: Pacasmayo Tipo MS **$f'c =$** 420 kg/cm^2

I.) Datos de los Agregados:

GRUESO : Confitillo - Chancadora Piedra Azul

- 01.- Tamaño máximo nominal
- 02.- Peso Unitario suelto seco
- 03.- Peso Unitario compactado seco
- 04.- Peso específico de masa seco
- 05.- Contenido de humedad
- 06.- Contenido de absorción
- 07.- Módulo de fineza (adimensional)

FINO : Agregado Fino - Tres Tomas.

3/8"	-----	puig.
1.294	1.666	kg/cm^3
1.475	-----	kg/cm^3
2.664	2.531	kg/cm^3
0.40	1.65	%
1.38	0.85	%
-----	2.865	

II.) Datos de la Mezcla y otros

- 08.- Resistencia especificada a los 28 días
- 09.- Contenido de aire atrapado
- 10.- Relación agua cemento
- 11.- Volumen unitario del agua
- 12.- Volumen del agregado grueso
- 13.- Peso específico del cemento

$f'c$	420	kg/cm^2
R_{ac}	3	%
	0.330	
	207	L/m^3
	0.454	m^3
	3150	kg/cm^3

III.) Cálculo de volúmenes absolutos

a) Cemento	627.053	kg/m^3	0.199	m^3
b) Agua	207	L/m^3	0.207	m^3
c) Aire	3	%	0.030	m^3
d) Agregado Grueso	669.650	kg/m^3	0.251	m^3
			0.687	m^3

IV.) Contenido de Agregado Fino

Vol. Absoluto AF	0.313	m^3
e) Agregado Fino	792.203	kg/m^3

V.) Corrección por Humedad

a) Agregado Grueso	672.329	kg/m^3
b) Agregado Fino	805.274	kg/m^3

VI) Aporte de agua

Aporte	-0.225	L/m^3
Agua efectiva	207.225	L/m^3

VII.) Resultado Final de Diseño

a) Cemento	627.053	kg/m^3
b) Agua	207.225	L/m^3
c) Agregado Grueso	672.329	kg/m^3
d) Agregado Fino	805.274	kg/m^3

VIII.) Dosificación

Proporción en peso :	1.00	1.28	1.07	14.05	Its
Proporción en volumen :	1.00	1.26	1.07	14.03	Its

IX.) Pesos para una Tanda - Elemento (Adoquines)

Medidas	10x20x6cm	Volumen	0.0012
Cantidad	77	Vol. Total	0.032

X.) Cantidad de Adiciones

Nanopláqueta Grafeno	11.17	gr
Aserrín	335.22	gr

X.) Proporción en pesos

a) Cemento	22.07	kg	e) Nanopláqueta Grafeno	11.17	gr
b) Agua	6.494	Lts	f) Aserrín	335.22	gr
c) Agregado Grueso	23.67	kg			
d) Agregado Fino	28.35	kg			


 Josue Paul Llatas Rafael
 Tesista



Ilustración 64: Diseño de Mezcla Adicionado (0.05% NPG - 1.5% A).



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



Tesista : Josue Paul Llatas Rafael
Tesis : Análisis del comportamiento mecánico en adoquines de concreto $f_c = 420 \text{ kg/cm}^2$ adicionando nanoplaquetas de grafeno y aserrín para pavimento articulado de alto tránsito
Ensayo Referencia : Diseño de Mezcla de Concreto : ACI 211

DISEÑO DE MEZCLA $f_c = 420 \text{ kg/cm}^2$ - ADICIÓN (0.10% NPG - 1.0% A)

Tipo de Cemento: Pacasmayo Tipo M5 **$f_c =$** 420 kg/cm^2

I.) Datos de los Agregados:

GRUESO : **Confitillo - Chancadora Piedra Azul**

- 01.- Tamaño máximo nominal
- 02.- Peso Unitario suelto seco
- 03.- Peso Unitario compactado seco
- 04.- Peso específico de masa seco
- 05.- Contenido de humedad
- 06.- Contenido de absorción
- 07.- Módulo de fineza (adimensional)

FINO : **Agregado Fino - Tres Tomas.**

3/8"	-----	pulg.
1.294	1666	kg/cm^3
1.475		kg/cm^3
2.664	2.531	kg/cm^3
0.40	1.65	%
1.38	0.85	%
-----	2.865	

II.) Datos de la Mezcla y otros

- 08.- Resistencia especificada a los 28 días
- 09.- Contenido de aire atrapado
- 10.- Relación agua cemento
- 11.- Volumen unitario del agua
- 12.- Volumen del agregado grueso
- 13.- Peso específico del cemento

f_c	518	kg/cm^2
$R_{a/c}$	3	%
	0.330	
	207	L/m^3
	0.454	m^3
	3150	kg/cm^3

III.) Cálculo de volúmenes absolutos

a) Cemento	627.053 kg/m^3	0.199 m^3
b) Agua	207 L/m^3	0.207 m^3
c) Aire	3 %	0.030 m^3
d) Agregado Grueso	669.650 kg/m^3	0.251 m^3
		0.687 m^3

IV.) Contenido de Agregado Fino

Vnl. Absoluta AF	0.313 m^3
e) Agregado Fino	792.203 kg/m^3

V.) Corrección por Humedad

a) Agregado Grueso	672.329 kg/m^3
b) Agregado Fino	805.274 kg/m^3

VI.) Aporte de agua

Aporte	-0.225 L/m^3
Agua efectiva	207.225 L/m^3

VII.) Resultado Final de Diseño

a) Cemento	627.053 kg/m^3
b) Agua	207.225 L/m^3
c) Agregado Grueso	672.329 kg/m^3
d) Agregado Fino	805.274 kg/m^3

VIII.) Distribución:

Proporción en peso :	1.00	1.28	1.07	14.05	Its
Proporción en volumen :	1.00	1.26	1.07	14.03	Its

IX.) Pesos para una Tanda - Elemento (Adoquines)

Medidas	10x20x6cm	Volumen	0.0012
Cantidad	27	Vol. Total	0.032

X.) Cantidad de Adiciones

Nanoplaqueta Grafeno	22.35	gr
Aserrín	223.48	gr

X.) Proporción en pesos

a) Cemento	22.07	kg	e) Nanoplaqueta Grafeno	22.35	gr
b) Agua	5.694	Lts	f) Aserrín	223.48	gr
c) Agregado Grueso	23.67	kg			
d) Agregado Fino	28.35	kg			

Josue Paul Llatas Rafael
 Tesista



Ilustración 65: Diseño de Mezcla Adicionado (0.10% NPG - 1.0%A).



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



Tesista : Josue Paul Llatas Rafael
Tesis : Análisis del comportamiento mecánico en adoquines de concreto $f_c = 420 \text{ kg/cm}^2$ adicionando nanoplaquetas de grafeno y aserrín para pavimento articulado de alto tránsito
Ensayo : Diseño de Mezcla de Concreto
Referencia : ACI 211

DISEÑO DE MEZCLA $f_c = 420 \text{ kg/cm}^2$ - ADICIÓN (0.10% NPG - 1.5% A)

Tipo de Cemento: Pacasmayo Tipo MS **f'c =** 420 kg/cm^2

I.) Datos de los Agregados:

GRUESO : Confitillo - Chancadora Piedra Azul

- 01.- Tamaño máximo nominal
- 02.- Peso Unitario suelto seco
- 03.- Peso Unitario compactado seco
- 04.- Peso específico de masa seco
- 05.- Contenido de humedad
- 06.- Contenido de absorción
- 07.- Módulo de fineza (adimensional)

FINO : Agregado Fino - Tres Tomas.

3/8"	-----	pulg.
1294	1666	kg/cm^3
1475	-----	kg/cm^3
2.664	2.531	kg/cm^3
0.40	1.65	%
1.38	0.85	%
-----	2.865	

II.) Datos de la Mezcla y otros

- 08.- Resistencia especificada a los 28 días
- 09.- Contenido de aire atrapado
- 10.- Relación agua cemento
- 11.- Volumen unitario del agua
- 12.- Volumen del agregado grueso
- 13.- Peso específico del cemento

$f'c$	518	kg/cm^2
	3	%
$R_{a/c}$	0.330	
	207	L/m^3
	0.454	m^3
	3150	kg/cm^3

III.) Cálculo de volúmenes absolutos

a) Cemento	627.053 kg/m^3	0.199 m^3
b) Agua	207 L/m^3	0.207 m^3
c) Aire	3 %	0.030 m^3
d) Agregado Grueso	669.650 kg/m^3	0.251 m^3
		0.687 m^3

IV.) Contenido de Agregado Fino

Vol. Absoluto Ar	0.313 m^3
e) Agregado Fino	792.203 kg/m^3

V.) Corrección por Humedad

a) Agregado Grueso	672.329 kg/m^3
b) Agregado Fino	805.274 kg/m^3

VI) Aporte de agua

Aporte	-0.225 L/m^3
Agua efectiva	207.225 L/m^3

VII.) Resultado Final de Diseño

a) Cemento	627.053 kg/m^3
b) Agua	207.225 L/m^3
c) Agregado Grueso	672.329 kg/m^3
d) Agregado Fino	805.274 kg/m^3

VIII.) Dosificación

Proporción en peso :	1.00	1.28	1.07	14.05 Its
Proporción en volumen :	1.00	1.26	1.07	14.03 Its

IX.) Pesos para una Tanda - Elemento (Adoquines)

Medidas	10x20x6cm	Volumen	0.0012
Cantidad	77	Vol. Total	0.032

X.) Cantidad de Adiciones

Nanoplaqueta Grafeno	22.35	gr
Aserrín	335.22	gr

XI.) Proporción en pesos

a) Cemento	22.07	kg	e) Nanoplaqueta Grafeno	22.35	gr
b) Agua	5.694	Lts	f) Aserrín	335.22	gr
c) Agregado Grueso	23.67	kg			
d) Agregado Fino	28.35	kg			


 Josue Paul Llatas Rafael
 Tesista



Ilustración 66: Diseño de Mezcla Adicionado (0.10% NPG - 1.5% A).

➤ Ensayo Químico del Aserrín

LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.

ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES RUC: 20605355189

REPORTE DE MEDICION Y ANALISIS DE MUESTRA POR EL ANALISIS TERMICO DIFERENCIAL

SOLICITANTE	JOSUE PAUL LLATAS RAFAEL
TESIS	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO EN ADOQUINES DE CONCRETO F'c = 420 KG/CM2 ADICIONANDO NANOPLAQUETAS DE GRAFENO Y ASERRÍN PARA PAVIMENTO ARTICULADO DE ALTO TRÁNSITO
MUESTRA	CENIZA DE ASERRÍN
FECHA	20 DE SETIEMBRE DEL 2022

MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO

1. MUESTRA: CENIZA DE ASERRÍN (10. GR)

Nº DE MUESTRAS	CANTIDAD DE MUESTRA ENSAYADA	PROCEDENCIA
1	350 MG	

2. ENSAYOS A APLICAR

- ANÁLISIS TERMICO DIFERENCIAL ATD
- ANÁLISIS TERMOTERMIGRÁFICO TGA

3. EQUIPO EMPLEADO Y CONDICIONES

- ANALIZADOR TÉRMICO SIMULTANEO TG_DTA_DSC CAP. MAX 1600°C
SETSYS_EVOLUTION, CUMPLE CON NORMAS ASTM ISO 11357; ASTM E967, ASTM E968, ASTM E793, ASTM D3895, ASTM D3417, ASTM D3418, DIN 51004, DIN 51007, DIN 53765.
- TASA DE CALENTAMIENTO: 20 °C/MIN
- GAS DE TRABAJO – FLUJO: NITROGENO, 10 ML/MIN
- RANGO DE TRABAJO 25 – 920°C
- MASA DE MUESTRA ANALIZADA: 35 MG

JEFE DE LABORATORIO ING. CARLOS VALQUI MENDOZA
ANALISTA RESPONSABLE ING. CARLOS VALQUI MENDOZA

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL

CELULAR: 944 077 288 - 949 959 632 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperusac@gmail.com

Ilustración 67: Equipos empleados para los análisis químicos realizados al aserrín.

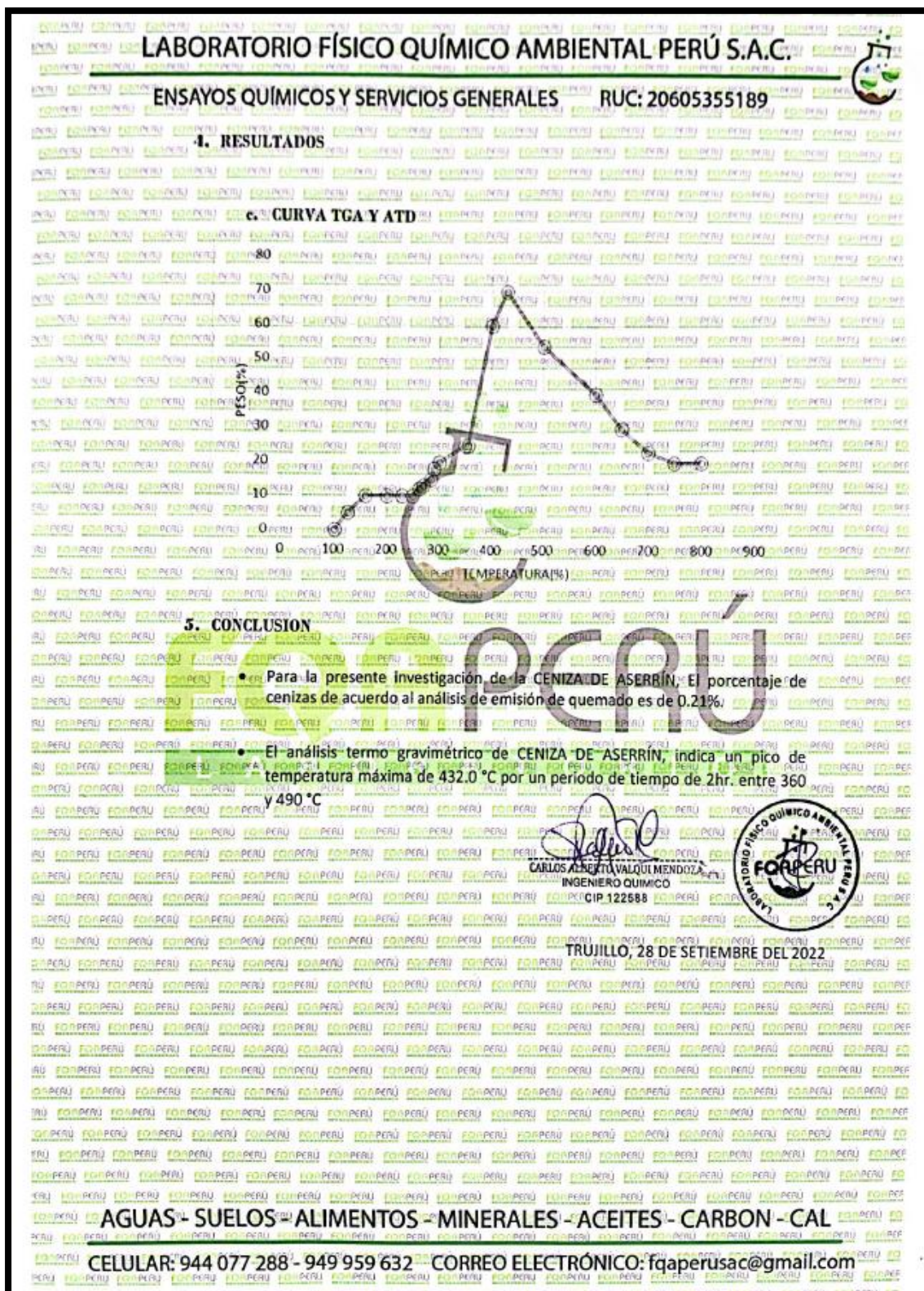


Ilustración 68: Resultados químicos realizados al aserrín (Curva TGA y ATD).

LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.

ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES RUC: 20605355189

REPORTE DE MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE

MUESTRA POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X

SOLICITANTE	JOSUE PAUL LLATAS RAFAEL
TESIS	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO EN ADOQUINES DE CONCRETO F'C = 420 KG/CM2 ADICIONANDO NANOPLAQUETAS DE GRAFENO Y ASERRÍN PARA PAVIMENTO ARTICULADO DE ALTO TRÁNSITO
MUESTRA	CENIZA DE ASERRÍN
FECHA	20 DE SETIEMBRE DEL 2022

MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO

I. CONSIDERACIONES EXPERIMENTALES

CONDICIONES DE LA MEDICIÓN:
 El análisis se realizó en un espectrómetro de fluorescencia total de rayos x marca
BRUKER, MODELO S2-PICOFOX.
 Fuente de rayos x: tubo de Mo.
 Tiempo de medida: 2000 segundos.

ESTANDAR INTERNACIONAL PARA

CUANTIFICACION: Elemento: Galio (Ga)
 Concentración: lg/l.

2. CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA ANALIZADA

Se analizó 250 mg de la muestra de CENIZA DE ASERRÍN, la cual fue tamizada previamente a malla 200.

3. METODO

• **BASADO EN LA NORMA** : ASTM C25
 • **VOLUMETRIA** : USAQ-ME06

JEFE DE LABORATORIO : ING. CARLOS VALQUI MENDOZA
ANALISTA RESPONSABLE : ING. CARLOS VALQUI MENDOZA

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL

CELULAR: 944 077-288 - 949 959 632 - CORREO ELECTRÓNICO: fqaperusac@gmail.com

Ilustración 69: Métodos empleados para los análisis químicos realizados al aserrín.

LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.


ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES RUC: 20605355189


4. RESULTADOS

COMPOSICION QUIMICA	RESULTADOS (%)	METODO UTILIZADO
DIOXIDO DE SILICIO (Si O ₂)	54.39	Espectrometría de fluorescencia de rayos x
OXIDO DE CALCIO (Ca O)	4.57	
TRIOXIDO DE ALUMINIO (Al ₂ O ₃)	26.19	
TRIOXIDO DE HIERRO (Fe ₂ O ₃)	1.85	
OXIDO DE POTASIO (K ₂ O)	0.28	
OXIDO DE TITANIO (Ti O)	0.110	
OXIDO DE ESTRONCIO (Sr O)	0.017	
OXIDO DE COBRE (Cu O)	0.02	
DIOXIDO DE AZUFRE (SO ₂)	0.005	
OXIDO DE ZINC (Zn O)	0.027	
OXIDO DE MANGANESO (Mn O)	0.060	
PÉRDIDA AL FUEGO	12.48	

5. CONCLUSION

Al realizar la comparación del espectro de la muestra analizada con las energías características de los elementos de la tabla periódica a partir del sodio, se encontraron principalmente, sílice (Si) y Aluminio (Al) con un alto porcentaje. Y en menores porcentajes se encontró; Calcio (Ca), Potasio (K), hierro (Fe), titanio (Ti), estroncio (Sr), cobre (Cu), azufre (S), zinc (Zn) y manganeso (Mn).


CARLOS ALBERTO VALQUI MENDOZA
 INGENIERO QUIMICO
 CIP 122588



TRUJILLO, 28 DE SETIEMBRE DEL 2022.

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL

CELULAR: 944 077 288 - 949 959 632 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperusac@gmail.com

Ilustración 70: Composición química del aserrín.

➤ **Ensayo de Resistencia a la Compresión**



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



Tesista : Josue Paul Llatas Rafael
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Análisis del comportamiento mecánico en adoquines de concreto $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$ adicionando nanoplaquetas de grafeno y aserrín para pavimento articulado de alto tránsito
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Ensayo : UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto - Resistencia a Compresión
Referencia : N.T.P. 399.604

Muestra (N°)	Descripción	Fecha		Edad (días)	Área (cm ²)	Carga		Promedio (Kg/cm ²)	Promedio (%)
		Vaciado	Rotura			kg	kg/cm ²		
M1	Concreto Patrón	12/10/2022	19/10/2022	7	201	68760	342.09	326.27	77.68%
M2					203.01	64390	317.18		
M3					201	64230	319.55		
M4	Concreto Patrón	12/10/2022	02/11/2022	21	203.01	79940	393.77	392.67	93.49%
M5					202	79830	395.20		
M6					200	77810	389.05		
M7	Concreto Patrón	12/10/2022	09/11/2022	28	200	87230	436.15	441.25	105.06%
M8					201	89370	444.63		
M9					203.01	89930	442.98		

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.


 Josue Paul Llatas Rafael
 Tesista



Ilustración 71: Resistencia a Compresión del Adoquín Patrón.



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



Tesista : Josue Paul Llatas Rafael
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Análisis del comportamiento mecánico en adoquines de concreto $f'c = 420$ kg/cm² adicionando nanoplaquetas de grafeno y aserrín para pavimento articulado de alto tránsito
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Ensayo : UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto - Resistencia a Compresión
Referencia : N.T.P. 399.604

Muestra (N°)	Descripción	Fecha		Edad (días)	Área (cm ²)	Carga		Promedio (Kg/cm ²)	Promedio (%)
		Vaciado	Rotura			kg	kg/cm ²		
M1	0.05% NPG y 1% A	12/10/2022	19/10/2022	7	203.01	63050	310.58	316.39	75.33%
M2					201	63370	315.27		
M3					201	64990	323.33		
M4	0.05% NPG y 1% A	12/10/2022	02/11/2022	21	202	84960	420.59	412.52	98.22%
M5					201	83800	416.92		
M6					202	80810	400.05		
M7	0.05% NPG y 1% A	12/10/2022	09/11/2022	28	201	96070	477.96	481.47	114.64%
M8					203.01	97910	482.29		
M9					202	97800	484.16		

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.


 Josue Paul Llatas Rafael
 Tesista



Ilustración 72: Resistencia a Compresión del Adoquín Adicionado (0.05%NPG - 1.0%A).



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



Tesista : Josue Paul Llatas Rafael
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Análisis del comportamiento mecánico en adoquines de concreto $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$ adicionando nanoplaquetas de grafeno y aserrín para pavimento articulado de alto tránsito
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Ensayo : UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto - Resistencia a Compresión
Referencia : N.T.P. 399.604

Muestra (N°)	Descripción	Fecha		Edad (días)	Área (cm ²)	Carga		Promedio (Kg/cm ²)	Promedio (%)
		Vaciado	Rotura			kg	kg/cm ²		
M1	0.05% NPG y 1.5% A	12/10/2022	19/10/2022	7	201	66130	329.00	308.54	73.46%
M2					203.01	54920	270.53		
M3					203.01	66200	326.09		
M4	0.05% NPG y 1.5% A	12/10/2022	02/11/2022	21	200	80520	402.60	401.33	95.55%
M5					202	81530	403.61		
M6					201	79950	397.76		
M7	0.05% NPG y 1.5% A	12/10/2022	09/11/2022	28	203.01	94520	465.59	456.92	108.79%
M8					200	91530	457.65		
M9					201	89950	447.51		

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.


 Josue Paul Llatas Rafael
 Tesista



Ilustración 73: Resistencia a Compresión del Adoquín Adicionado (0.05%NPG - 1.5%A).



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



Tesista : Josue Paul Llatas Rafael
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Análisis del comportamiento mecánico en adoquines de concreto $f'c = 420$ kg/cm² adicionando nanoplaquetas de grafeno y aserrín para pavimento articulado de alto tránsito
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Ensayo : UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto - Resistencia a Compresión
Referencia : N.T.P. 399.604

Muestra (N°)	Descripción	Fecha		Edad (días)	Área (cm ²)	Carga		Promedio (Kg/cm ²)	Promedio (%)
		Vaciado	Rotura			kg	kg/cm ²		
M1	0.10% NPG y 1% A	12/10/2022	19/10/2022	7	200	58570	292.85	327.68	78.02%
M2					202	71190	352.43		
M3					200	67550	337.75		
M4	0.10% NPG y 1% A	12/10/2022	02/11/2022	21	203.01	78060	384.51	390.51	92.98%
M5					202	80950	400.74		
M6					201	77640	386.27		
M7	0.10% NPG y 1% A	12/10/2022	09/11/2022	28	202	85060	421.09	422.87	100.68%
M8					201	86550	430.60		
M9					203.01	84640	416.93		

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.


 Josue Paul Llatas Rafael
 Tesista



Ilustración 74: Resistencia a Compresión del Adoquín Adicionado (0.10%NPG - 1.0%A).



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



Tesista : Josue Paul Llatas Rafael
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Análisis del comportamiento mecánico en adoquines de concreto $f'c = 420$ kg/cm² adicionando nanoplaquetas de grafeno y aserrín para pavimento articulado de alto tránsito
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Ensayo : UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto - Resistencia a Compresión
Referencia : N.T.P. 399.604

Muestra (N°)	Descripción	Fecha		Edad (días)	Área (cm ²)	Carga		Promedio (Kg/cm ²)	Promedio (%)
		Vaciado	Rotura			kg	kg/cm ²		
M1	0.10% NPG y 1.5% A	12/10/2022	19/10/2022	7	203.01	66660	328.36	291.67	69.45%
M2					200	51150	255.75		
M3					200	58180	290.90		
M4	0.10% NPG y 1.5% A	12/10/2022	02/11/2022	21	203.01	70180	345.70	358.23	85.29%
M5					201	75180	374.03		
M6					203.01	72060	354.96		
M7	0.10% NPG y 1.5% A	12/10/2022	09/11/2022	28	200	80150	400.75	398.65	94.92%
M8					201	78460	390.35		
M9					202	81780	404.85		

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.


 Josue Paul Llatas Rafael
 Tesista



Ilustración 75: Resistencia a Compresión del Adoquín Adicionado (0.10%NPG - 1.5%A).

➤ Ensayo de Resistencia a la Flexión



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



Tesista : Josue Paul Llatas Rafael
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Análisis del comportamiento mecánico en adoquines de concreto $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$ adicionando nanoplaquetas de grafeno y aserrín para pavimento articulado de alto tránsito
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Ensayo : Adoquines de concreto prefabricado para pavimentos - Resistencia a la Flexión
Referencia : ITINTEC 399.124

Muestra (N°)	Descripción	Fecha		Edad (días)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Luz (mm)	Carga (kg)	R. Flexión		Promedio (Kg/cm2)	Promedio (MPa)
		Vaciado	Rotura						Mpa	kg/cm2		
M1	Concreto Patrón	12/10/2022	19/10/2022	7	100	62	150	930	5.34	54.47	49.83	4.89
M2					100	61	151	750	4.48	45.68		
M3					100	61	151	810	4.84	49.34		
M4	Concreto Patrón	12/10/2022	02/11/2022	21	100	62	151	1210	6.99	71.34	60.26	5.91
M5					101	61	151	970	5.73	58.50		
M6					100	62	150	870	5.00	50.96		
M7	Concreto Patrón	12/10/2022	09/11/2022	28	101	61	150	1050	6.17	62.90	65.57	6.43
M8					100	61	150	1150	6.82	69.58		
M9					101	62	151	1100	6.30	64.21		

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.


 Josue Paul Llatas Rafael
 Tesista



Ilustración 76: Resistencia a Flexión del Adoquín Patrón.



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



Tesista : Josue Paul Llatas Rafael
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Análisis del comportamiento mecánico en adoquines de concreto $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$ adicionando nanoplaquetas de grafeno y aserrín para pavimento articulado de alto tránsito
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Ensayo : Adoquines de concreto prefabricado para pavimentos - Resistencia a la Flexión
Referencia : ITINTEC 399.124

Muestra (N°)	Descripción	Fecha		Edad (días)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Luz (mm)	Carga (kg)	R. Flexión		Promedio (Kg/cm ²)	Promedio (MPa)
		Vaciado	Rotura						Mpa	kg/cm ²		
M1	0.05% NPG y 1% A	12/10/2022	19/10/2022	7	100	61	151	790	4.72	48.12	50.21	4.92
M2					101	61	151	1010	5.97	60.91		
M3					101	61	151	690	4.08	41.61		
M4	0.05% NPG y 1% A	12/10/2022	02/11/2022	21	100	62	150	970	5.57	56.81	62.94	6.17
M5					100	61	150	1130	6.70	68.37		
M6					101	62	151	1090	6.24	63.63		
M7	0.05% NPG y 1% A	12/10/2022	09/11/2022	28	101	61	151	930	5.50	56.08	63.52	6.23
M8					100	61	150	1190	7.06	72.00		
M9					101	62	151	1070	6.12	62.46		

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.


 Josue Paul Llatas Rafael
 Tesista



Ilustración 77: Resistencia a Flexión del Adoquín Adicionado (0.05%NPG - 1.0%A).



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



Tesista : Josue Paul Llatas Rafael
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Análisis del comportamiento mecánico en adoquines de concreto $f_c = 420 \text{ kg/cm}^2$ adicionando nanoplaquetas de grafeno y aserrín para pavimento articulado de alto tránsito
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Ensayo : Adoquines de concreto prefabricado para pavimentos - Resistencia a la Flexión
Referencia : ITINTEC 399.124

Muestra (N°)	Descripción	Fecha		Edad (días)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Luz (mm)	Carga (kg)	R. Flexión		Promedio (Kg/cm ²)	Promedio (MPa)
		Vaciado	Rotura						Mpa	kg/cm ²		
M1	0.05% NPG y 1.5% A	19/10/2022	19/11/2022	7	101	61	150	880	5.17	52.72	46.04	4.51
M2					101	62	151	750	4.29	43.78		
M3					101	61	151	690	4.08	41.61		
M4	0.05% NPG y 1.5% A	02/11/2022	19/11/2022	21	101	61	151	910	5.38	54.88	57.30	5.62
M5					100	61	150	1150	6.82	69.58		
M6					100	62	150	810	4.65	47.44		
M7	0.05% NPG y 1.5% A	09/11/2022	19/11/2022	28	100	62	151	1250	7.23	73.70	65.73	6.44
M8					101	62	150	1100	6.25	63.79		
M9					100	61	151	980	5.85	59.69		

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.


 Josue Paul Llatas Rafael
 Tesista



Ilustración 78: Resistencia a Flexión del Adoquín Adicionado (0.05%NPG - 1.5%A).



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



Tesista : Josue Paul Llatas Rafael
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Análisis del comportamiento mecánico en adoquines de concreto $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$ adicionando nanoplaquetas de grafeno y aserrín para pavimento articulado de alto
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Ensayo : Adoquines de concreto prefabricado para pavimentos - Resistencia a la Flexión
Referencia : ITINTEC 399.124

Muestra (N°)	Descripción	Fecha		Edad (días)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Luz (mm)	Carga			Promedio (Kg/cm ²)	Promedio (MPa)
		Vaciado	Rotura					kg	Mpa	kg/cm ²		
M1	0.10% NPG y 1% A	12/10/2022	19/10/2022	7	101	61	151	780	4.61	47.04	52.72	5.17
M2					101	62	150	1000	5.69	57.99		
M3					101	62	151	910	5.21	53.12		
M4	0.10% NPG y 1% A	12/10/2022	02/11/2022	21	100	62	150	1090	6.26	63.84	64.73	6.35
M5					100	61	151	1160	6.93	70.65		
M6					101	61	151	990	5.85	59.70		
M7	0.10% NPG y 1% A	12/10/2022	09/11/2022	28	101	62	151	1120	6.41	65.38	72.20	7.08
M8					100	61	151	1340	8.00	81.62		
M9					101	62	150	1200	6.82	69.59		

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.


 Josue Paul Llatas Rafael
 Tesista



Ilustración 79: Resistencia a Flexión del Adoquín Adicionado (0.10%NPG - 1.0%A).



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



Tesista : Josue Paul Llatas Rafael
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Análisis del comportamiento mecánico en adoquines de concreto $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$ adicionando nanoplaquetas de grafeno y aserrín para pavimento articulado de alto tránsito
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Ensayo : Adoquines de concreto prefabricado para pavimentos - Resistencia a la Flexión
Referencia : ITINTEC 399.124

Muestra (N°)	Descripción	Fecha		Edad (días)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Luz (mm)	Carga		R. Flexión		Promedio (Kg/cm ²)	Promedio (MPa)
		Vaciado	Rotura					kg	Mpa	kg/cm ²			
M1	0.10% NPG y 1.5% A	12/10/2022	19/10/2022	7	100	61	150	740	4.39	44.77	49.77	4.88	
M2					100	61	151	940	5.61	57.25			
M3					101	62	151	810	4.64	47.28			
M4	0.10% NPG y 1.5% A	12/10/2022	02/11/2022	21	101	62	151	1280	7.33	74.72	61.00	5.98	
M5					100	61	150	950	5.64	57.48			
M6					101	62	151	870	4.98	50.79			
M7	0.10% NPG y 1.5% A	12/10/2022	09/11/2022	28	100	61	151	1250	7.46	76.14	64.60	6.33	
M8					101	62	151	1020	5.84	59.54			
M9					101	61	150	970	5.70	58.11			

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.


 Josue Paul Llatas Rafael
 Tesista



Ilustración 80: Resistencia a Flexión del Adoquín Adicionado (0.10%NPG - 1.5%A).

➤ **Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión**


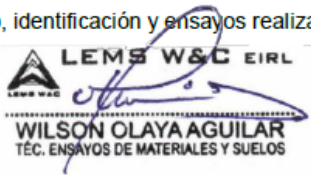

 LEMS W&C EIRL Certificado INDECOPI N°00137704 RNP Servicios S0608589		Prolongación Bolognesi Km. 3.5 Chiclayo – Lambayeque R.U.C. 20480781334 Email: lemswoeir@gmail.com									
Solicitante	: JOSUE PAUL LLATAS RAFAEL										
Proyecto / Obra	: TESIS: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO EN ADOQUINES DE CONCRETO F'C = 420 KG/CM2 ADICIONANDO NANOPLAQUETAS DE GRAFENO Y ASERRÍN PARA PAVIMENTO ARTICULADO DE ALTO TRÁNSITO										
Ubicación	: Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.										
Fecha de Ensayo	: Miércoles, 19 de octubre del 2022.										
ENSAYO	: Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method (Método normalizado para la resistencia a la abrasión del concreto o superficies de mortero mediante el ensayo del rodillo giratorio).										
NORMA	: ASTM C944 / C944M - 12										
Muestra	Descripción o nombre de la muestra	Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (días)	Tiempo Abrasión (Minutos)	ciclo	Carga (N)	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Desgaste (g)	Desgaste (%)
M-1	Concreto Patrón	12-oct	19-oct	7	2	3	98	2988	2985	3	0.10
M-2		12-oct	19-oct	7	2	3	98	3006	3004	2	0.07
M-3		12-oct	19-oct	7	2	3	98	2961	2958	3	0.10
OBSERVACIONES :											
- Muestreo, identificación y ensayos realizados por el solicitante.											
 WILSON OLAYA AGUILAR TÈC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS						 Miguel Angel Ruiz Perales INGENIERO CIVIL CIP. 246904					

Ilustración 81: Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión a los 7 días del Adoquín Patrón

Solicitante : JOSUE PAUL LLATAS RAFAEL
Proyecto / Obra : TESIS: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO EN ADOQUINES DE CONCRETO F'C = 420 KG/CM2 ADICIONANDO NANOPLAQUETAS DE GRAFENO Y ASERRÍN PARA PAVIMENTO ARTICULADO DE ALTO TRÁNSITO

Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.

Fecha de Ensayo : Miércoles, 19 de octubre del 2022.

ENSAYO : Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method (Método normalizado para la resistencia a la abrasión del concreto o superficies de mortero mediante el ensayo del rodillo giratorio).

NORMA : ASTM C944 / C944M - 12

Muestra	Descripción o nombre de la muestra	Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (días)	Tiempo Abrasión (Minutos)	ciclo	Carga (N)	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Desgaste (g)	Desgaste (%)
M-1	Adicionado 0.05% NPG y 1% A	12-oct	19-oct	7	2	3	98	3025	3022	3	0.10
M-2		12-oct	19-oct	7	2	3	98	3009	3005	4	0.13
M-3		12-oct	19-oct	7	2	3	98	2952	2948	4	0.14

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificación y ensayos realizados por el solicitante.




LEMS W&C EIRL
WILSON OLAYA AGUILAR
TÉC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS



Miguel Angel Ruiz Perales
INGENIERO CIVIL
CIP. 246904

Ilustración 82: Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión a los 7 días del Adoquín Adicionado (0.05% NPG y 1% A)

	 LEMS W&C EIRL Certificado INDECOPI N°00137704 RNP Servicios S0608589	Prolongación Bolognesi Km. 3.5 Chiclayo – Lambayeque R.U.C. 20480781334 Email: lemswceirl@gmail.com
--	--	--

Solicitante	: JOSUE PAUL LLATAS RAFAEL
Proyecto / Obra	: TESIS: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO EN ADOQUINES DE CONCRETO F'c = 420 KG/CM2 ADICIONANDO NANOPLAQUETAS DE GRAFENO Y ASERRÍN PARA PAVIMENTO ARTICULADO DE ALTO TRÁNSITO
Ubicación	: Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.
Fecha de Ensayo	: Miércoles, 19 de octubre del 2022.

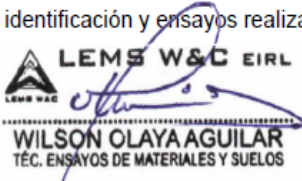
ENSAYO : Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method (Método normalizado para la resistencia a la abrasión del concreto o superficies de mortero mediante el ensayo del rodillo giratorio).

NORMA : ASTM C944 / C944M - 12


Muestra	Descripción o nombre de la muestra	Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (días)	Tiempo Abrasión (Minutos)	ciclo	Carga (N)	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Desgaste (g)	Desgaste (%)
M-1	Adicionado 0.05% NPG y 1.5% A	12-oct	19-oct	7	2	3	98	3103	3100	3	0.10
M-2		12-oct	19-oct	7	2	3	98	3094	3091	3	0.10
M-3		12-oct	19-oct	7	2	3	98	2927	2925	2	0.07

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificación y ensayos realizados por el solicitante.



WILSON OLAYA AGUILAR
TÉC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS



Miguel Angel Ruiz Perales
INGENIERO CIVIL
CIP. 246904

Ilustración 83: Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión a los 7 días del Adoquín Adicionado (0.05% NPG y 1.5% A)

Solicitante : JOSUE PAUL LLATAS RAFAEL
Proyecto / Obra : TESIS: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO EN ADOQUINES DE CONCRETO F'C = 420 KG/CM2 ADICIONANDO NANOPLAQUETAS DE GRAFENO Y ASERRÍN PARA PAVIMENTO ARTICULADO DE ALTO TRÁNSITO
Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.
Fecha de Ensayo : Miércoles, 19 de octubre del 2022.

ENSAYO : Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method (Método normalizado para la resistencia a la abrasión del concreto o superficies de mortero mediante el ensayo del rodillo giratorio).

NORMA : ASTM C944 / C944M - 12

Muestra	Descripción o nombre de la muestra	Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (días)	Tiempo Abrasión (Minutos)	ciclo	Carga (N)	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Desgaste (g)	Desgaste (%)
M-1	Adicionado 0.1% NPG y 1% A	12-oct	19-oct	7	2	3	98	3022	3019	3	0.10
M-2		12-oct	19-oct	7	2	3	98	3113	3110	3	0.10
M-3		12-oct	19-oct	7	2	3	98	3043	3040	3	0.10

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificación y ensayos realizados por el solicitante.



LEMS W&C EIRL
WILSON OLAYA AGUILAR
 TÉC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS



Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

Ilustración 84: Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión a los 7 días del Adoquín Adicionado (0.10% NPG y 1% A)

Solicitante : JOSUE PAUL LLATAS RAFAEL
Proyecto / Obra : TESIS: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO EN ADOQUINES DE CONCRETO F'C = 420 KG/CM2 ADICIONANDO NANOPLAQUETAS DE GRAFENO Y ASERRÍN PARA PAVIMENTO ARTICULADO DE ALTO TRÁNSITO
Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.
Fecha de Ensayo : Miércoles, 19 de octubre del 2022.

ENSAYO : Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method (Método normalizado para la resistencia a la abrasión del concreto o superficies de mortero mediante el ensayo del rodillo giratorio).

NORMA : ASTM C944 / C944M - 12

Muestra	Descripción o nombre de la muestra	Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (días)	Tiempo Abrasión (Minutos)	ciclo	Carga (N)	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Desgaste (g)	Desgaste (%)
M-1	Adicionado 0.1% NPG y 1.5% A	12-oct	19-oct	7	2	3	98	3123	3120	3	0.10
M-2		12-oct	19-oct	7	2	3	98	3109	3106	3	0.10
M-3		12-oct	19-oct	7	2	3	98	3227	3224	3	0.09

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificación y ensayos realizados por el solicitante.



LEMS W&C EIRL
WILSON OLAYA AGUILAR
TÉC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS



Miguel Angel Ruiz Perales
INGENIERO CIVIL
CIP. 246904

Ilustración 85: Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión a los 7 días del Adoquín Adicionado (0.10% NPG y 1.5% A).

Solicitante : JOSUE PAUL LLATAS RAFAEL
Proyecto / Obra : TESIS: "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO EN ADOQUINES DE CONCRETO F'C = 420 KG/CM2 ADICIONANDO NANOPLAQUETAS DE GRAFENO Y ASERRÍN PARA PAVIMENTO ARTICULADO DE ALTO TRÁNSITO".

Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.

Fecha de Ensayo : Miércoles, 02 de noviembre del 2022.

ENSAYO : Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method (Método normalizado para la resistencia a la abrasión del concreto o superficies de mortero mediante el ensayo del rodillo giratorio).

NORMA : ASTM C944 / C944M - 12

Muestra	Descripción o nombre de la muestra	Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (días)	Tiempo Abrasión (Minutos)	ciclo	Carga (N)	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Desgaste (g)	Desgaste (%)
M-1	Concreto Patrón	12-oct	02-nov	21	2	3	98	3041	3036	5	0.16
M-2		12-oct	02-nov	21	2	3	98	3043	3038	5	0.16
M-3		12-oct	02-nov	21	2	3	98	3079	3075	4	0.13

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificación y ensayos realizados por el solicitante.



LEMS W&C EIRL
WILSON OLAYA AGUILAR
TÉC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS



Miguel Angel Ruiz Perales
INGENIERO CIVIL
CIP. 246904

Ilustración 86: Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión a los 21 días del Adoquín Patrón.

Solicitante : JOSUE PAUL LLATAS RAFAEL
Proyecto / Obra : TESIS: "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO EN ADOQUINES DE CONCRETO F'c = 420 KG/CM2 ADICIONANDO NANOPLAQUETAS DE GRAFENO Y ASERRÍN PARA PAVIMENTO ARTICULADO DE ALTO TRÁNSITO".
Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.
Fecha de Ensayo : Miércoles, 02 de noviembre del 2022.

ENSAYO : Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method (Método normalizado para la resistencia a la abrasión del concreto o superficies de mortero mediante el ensayo del rodillo giratorio).

NORMA : ASTM C944 / C944M - 12

Muestra	Descripción o nombre de la muestra	Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (días)	Tiempo Abrasión (Minutos)	ciclo	Carga (N)	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Desgaste (g)	Desgaste (%)
M-1	Adicionado 0.05% NPG y 1% A	12-oct	02-nov	21	2	3	98	3099	3095	4	0.13
M-2		12-oct	02-nov	21	2	3	98	3041	3036	5	0.16
M-3		12-oct	02-nov	21	2	3	98	3058	3053	5	0.16

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificación y ensayos realizados por el solicitante.

 **LEMS W&C EIRL**

WILSON OLAYA AGUILAR
 TÉC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS


 **Miguel Angel Ruiz Perales**
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

Ilustración 87: Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión a los 21 días del Adoquín Adicionado (0.05% NPG y 1% A)

Solicitante : JOSUE PAUL LLATAS RAFAEL
Proyecto / Obra : TESIS: "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO EN ADOQUINES DE CONCRETO F'C = 420 KG/CM2 ADICIONANDO NANOPLAQUETAS DE GRAFENO Y ASERRÍN PARA PAVIMENTO ARTICULADO DE ALTO TRÁNSITO".
Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.
Fecha de Ensayo : Miércoles, 02 de noviembre del 2022.

ENSAYO : Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method (Método normalizado para la resistencia a la abrasión del concreto o superficies de mortero mediante el ensayo del rodillo giratorio).

NORMA : ASTM C944 / C944M - 12

Muestra	Descripción o nombre de la muestra	Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (días)	Tiempo Abrasión (Minutos)	ciclo	Carga (N)	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Desgaste (g)	Desgaste (%)
M-1	Adicionado 0.05% NPG y 1.5% A	12-oct	02-nov	21	2	3	98	2995	2989	6	0.20
M-2		12-oct	02-nov	21	2	3	98	3062	3056	6	0.20
M-3		12-oct	02-nov	21	2	3	98	3103	3099	4	0.13

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificación y ensayos realizados por el solicitante.



LEMS W&C EIRL
WILSON OLAYA AGUILAR
 TÉC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS



Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

Ilustración 88: Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión a los 21 días del Adoquín Adicionado (0.05% NPG y 1.5% A)

Solicitante : JOSUE PAUL LLATAS RAFAEL
Proyecto / Obra : TESIS: "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO EN ADOQUINES DE CONCRETO F'C = 420 KG/CM2 ADICIONANDO NANOPLAQUETAS DE GRAFENO Y ASERRÍN PARA PAVIMENTO ARTICULADO DE ALTO TRÁNSITO".

Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.

Fecha de Ensayo : Miércoles, 02 de noviembre del 2022.

ENSAYO : Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method (Método normalizado para la resistencia a la abrasión del concreto o superficies de mortero mediante el ensayo del rodillo giratorio).

NORMA : ASTM C944 / C944M - 12

Muestra	Descripción o nombre de la muestra	Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (días)	Tiempo Abrasión (Minutos)	ciclo	Carga (N)	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Desgaste (g)	Desgaste (%)
M-1	Adicionado 0.1% NPG y 1% A	12-oct	02-nov	21	2	3	98	3014	3011	3	0.10
M-2		12-oct	02-nov	21	2	3	98	3248	3245	3	0.09
M-3		12-oct	02-nov	21	2	3	98	3092	3088	4	0.13

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificación y ensayos realizados por el solicitante.



LEMS W&C EIRL
WILSON OLAYA AGUILAR
 TÉC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS



Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

Ilustración 89: Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión a los 21 días del Adoquín Adicionado (0.10% NPG y 1 % A)

Solicitante : JOSUE PAUL LLATAS RAFAEL
Proyecto / Obra : TESIS: "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO EN ADOQUINES DE CONCRETO F'C = 420 KG/CM2 ADICIONANDO NANOPLAQUETAS DE GRAFENO Y ASERRÍN PARA PAVIMENTO ARTICULADO DE ALTO TRÁNSITO".

Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.

Fecha de Ensayo : Miércoles, 02 de noviembre del 2022.

ENSAYO : Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method (Método normalizado para la resistencia a la abrasión del concreto o superficies de mortero mediante el ensayo del rodillo giratorio).

NORMA : ASTM C944 / C944M - 12

Muestra	Descripción o nombre de la muestra	Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (días)	Tiempo Abrasión (Minutos)	ciclo	Carga (N)	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Desgaste (g)	Desgaste (%)
M-1		12-oct	02-nov	21	2	3	98	3146	3141	5	0.16
M-2	Adicionado 0.1% NPG y 1.5% A	12-oct	02-nov	21	2	3	98	3146	3141	5	0.16
M-3		12-oct	02-nov	21	2	3	98	3194	3188	6	0.19

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificación y ensayos realizados por el solicitante.




LEMS W&C EIRL
WILSON OLAYA AGUILAR
 TÉC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS



Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

Ilustración 90: Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión a los 21 días del Adoquín Adicionado (0.10% NPG y 1.5 % A)



LEMS W&C EIRL
Certificado INDECOPI N°00137704 RNP Servicios S0608589

Prolongación Bolognesi Km. 3.5
Chiclayo – Lambayeque
R.U.C. 20480781334
Email: lemswceir@gmail.com

Solicitante : JOSUE PAUL LLATAS RAFAEL
Proyecto / Obra : TESIS: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO EN ADOQUINES DE CONCRETO F'C = 420 KG/CM2 ADICIONANDO NANOPLAQUETAS DE GRAFENO Y ASERRÍN PARA PAVIMENTO ARTICULADO DE ALTO TRÁNSITO"


Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.
Fecha de Ensayo : Miércoles, 09 de noviembre del 2022.

ENSAYO : Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method (Método normalizado para la resistencia a la abrasión del concreto o superficies de mortero mediante el ensayo del rodillo giratorio).


NORMA : ASTM C944 / C944M - 12

Muestra	Descripción o nombre de la muestra	Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (días)	Tiempo Abrasión (Minutos)	ciclo	Carga (N)	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Desgaste (g)	Desgaste (%)
M-1	Concreto Patrón	12-oct	09-nov	28	2	3	98	3053	3046	7	0.23
M-2		12-oct	09-nov	28	2	3	98	3037	3032	5	0.16
M-3		12-oct	09-nov	28	2	3	98	3039	3035	4	0.13

OBSERVACIONES :
- Muestreo, identificación y ensayos realizados por el solicitante.



WILSON OLAYA AGUILAR
TÉC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS



Miguel Angel Ruiz Perales
INGENIERO CIVIL
CIP. 246904

Ilustración 91: Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión a los 28 días del Adoquín Patrón.

Solicitante : JOSUE PAUL LLATAS RAFAEL
Proyecto / Obra : TESIS: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO EN ADOQUINES DE CONCRETO F'C = 420 KG/CM2 ADICIONANDO NANOPLAQUETAS DE GRAFENO Y ASERRÍN PARA PAVIMENTO ARTICULADO DE ALTO TRÁNSITO"
Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.
Fecha de Ensayo : Miércoles, 09 de noviembre del 2022.

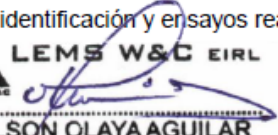
ENSAYO : Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method (Método normalizado para la resistencia a la abrasión del concreto o superficies de mortero mediante el ensayo del rodillo giratorio).

NORMA : ASTM C944 / C944M - 12

Muestra	Descripción o nombre de la muestra	Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (días)	Tiempo Abrasión (Minutos)	ciclo	Carga (N)	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Desgaste (g)	Desgaste (%)
M-1	Adicionado 0.05% NPG y 1% A	12-oct	09-nov	28	2	3	98	3028	3022	6	0.20
M-2		12-oct	09-nov	28	2	3	98	3097	3092	5	0.16
M-3		12-oct	09-nov	28	2	3	98	3077	3072	5	0.16

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificación y ensayos realizados por el solicitante.



LEMS W&C EIRL
WILSON OLAYA AGUILAR
 TÉC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS



Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

Ilustración 92: Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión a los 28 días del Adoquín Adicionado (0.05% NPG y 1% A)

Solicitante : JOSUE PAUL LLATAS RAFAEL
Proyecto / Obra : TESIS: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO EN ADOQUINES DE CONCRETO F'C = 420 KG/CM2 ADICIONANDO NANOPLAQUETAS DE GRAFENO Y ASERRÍN PARA PAVIMENTO ARTICULADO DE ALTO TRÁNSITO"
Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.
Fecha de Ensayo : Miércoles, 09 de noviembre del 2022.

ENSAYO : Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method (Método normalizado para la resistencia a la abrasión del concreto o superficies de mortero mediante el ensayo del rodillo giratorio).

NORMA : ASTM C944 / C944M - 12

Muestra	Descripción o nombre de la muestra	Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (días)	Tiempo Abrasión (Minutos)	ciclo	Carga (N)	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Desgaste (g)	Desgaste (%)
M-1	Adicionado 0.05% NPG y 1.5% A	12-oct	09-nov	28	2	3	98	3045	3038	7	0.23
M-2		12-oct	09-nov	28	2	3	98	2903	2897	6	0.21
M-3		12-oct	09-nov	28	2	3	98	3208	3203	5	0.16

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificación y ensayos realizados por el solicitante.



LEMS W&C EIRL
WILSON OLAYA AGUILAR
 TÉC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS



Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

Ilustración 93: Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión a los 28 días del Adoquín Adicionado (0.05% NPG y 1.5% A).

Solicitante : JOSUE PAUL LLATAS RAFAEL
Proyecto / Obra : TESIS: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO EN ADOQUINES DE CONCRETO F'C = 420 KG/CM2 ADICIONANDO NANOPLAQUETAS DE GRAFENO Y ASERRÍN PARA PAVIMENTO ARTICULADO DE ALTO TRÁNSITO"
Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.
Fecha de Ensayo : Miércoles, 09 de noviembre del 2022.

ENSAYO : Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method (Método normalizado para la resistencia a la abrasión del concreto o superficies de mortero mediante el ensayo del rodillo giratorio).

NORMA : ASTM C944 / C944M - 12

Muestra	Descripción o nombre de la muestra	Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (días)	Tiempo Abrasión (Minutos)	ciclo	Carga (N)	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Desgaste (g)	Desgaste (%)
M-1	Adicionado 0.1% NPG y 1% A	12-oct	09-nov	28	2	3	98	3039	3032	7	0.23
M-2		12-oct	09-nov	28	2	3	98	3086	3078	8	0.26
M-3		12-oct	09-nov	28	2	3	98	3066	3060	6	0.20

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificación y ensayos realizados por el solicitante.



LEMS W&C EIRL
WILSON OLAYA AGUILAR
TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS



Miguel Angel Ruiz Perales
INGENIERO CIVIL
CIP. 246904

Ilustración 94: Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión a los 28 días del Adoquín Adicionado (0.10% NPG y 1 % A).

Solicitante : JOSUE PAUL LLATAS RAFAEL
Proyecto / Obra : TESIS: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO EN ADOQUINES DE CONCRETO F'c = 420 KG/CM2 ADICIONANDO NANOPLAQUETAS DE GRAFENO Y ASERRÍN PARA PAVIMENTO ARTICULADO DE ALTO TRÁNSITO"

Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Dpto. Lambayeque.

Fecha de Ensayo : Miércoles, 09 de noviembre del 2022.


ENSAYO : Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method (Método normalizado para la resistencia a la abrasión del concreto o superficies de mortero mediante el ensayo del rodillo giratorio).

NORMA : ASTM C944 / C944M - 12

Muestra	Descripción o nombre de la muestra	Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (días)	Tiempo Abrasión (Minutos)	ciclo	Carga (N)	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Desgaste (g)	Desgaste (%)
M-1		12-oct	09-nov	28	2	3	98	3189	3182	7	0.22
M-2	Adicionado 0.1% NPG y 1.5% A	12-oct	09-nov	28	2	3	98	3136	3127	9	0.29
M-3		12-oct	09-nov	28	2	3	98	3072	3064	8	0.26

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificación y ensayos realizados por el solicitante.



LEMS W&C EIRL
WILSON OLAYA AGUILAR
 TÉC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS



Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

Ilustración 95: Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión a los 28 días del Adoquín Adicionado (0.10% NPG y 1.5 % A).

➤ Anexo N° 05: Fichas técnicas

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
Carbon content		>99 at% (EDS)
Ash content		<1wt%
Lateral size		1-2 μm (HRTEM)
Thickness		1-6 nm (HRTEM)
Conductivity		800-1100 S/cm
Moisture content		<2 wt%
D50 Grain size		~56.17 μm
Tap density		0.10-0.15 g/cm^3
Apparent density		0.06-0.09 g/cm^3
Appearance		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

2 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.

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>

Ilustración 96: Ficha técnica de la Nanoplaqueta de Grafeno.

NO.		Model/Photo	Description	UNIT PRICE	QTY.(set)	AMOUNT
1			10L ultrasonic cleaner Inner tank size:300 x 240 x 150 mm Frequency:40KHZ Heating power:200W Material: SUS304 American plug 110V	US\$285.0	1	US\$285.0
express shipping cost(by UPS)						\$326.00
Sum for Goods						US\$285.0
TOTAL should pay						US\$611.0

Remark :

Terms of trading : EXW

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

Payment terms: 100% in advance by T/T

Via PAYPAL:

Email address: ultrasonic.china@gmail.com

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

Ilustración 97: Proforma de compra de la Máquina de Ultrasonidos.



Cemento Portland tipo MS(MH)

Requisitos Normalizados

NTP 334.082 / ASTM C1157

REQUERIMIENTOS FÍSICOS

ENSAYOS	TIPO	VALOR	UNIDAD	NORMAS DE ENSAYO	RESULTADO (2)
Contenido de aire	Máximo	12	%	NTP 334.048	6
Finura					
Superficie específica	-	-	cm ² /g	NTP 334.002	5530
Retenido M325	-	-	%	NTP 334.045	2.2
Expansión en autoclave	Máximo	0.80	%	NTP 334.004	0.03
Resistencia a la compresión					
3 días	Mínimo	11.0 (1600)	MPa (psi)	NTP 334.051	22.9 (3320)
7 días	Mínimo	18.0 (2610)	MPa (psi)	NTP 334.051	33.3 (4830)
28 días ⁽¹⁾	Mínimo	28.0 (4060)	MPa (psi)	NTP 334.051	44.0 (6380)
Tiempo de Fraguado Vicat					
Fraguado inicial	Mínimo	45	Minutos	NTP 334.006	173
Fraguado final	Máximo	420	Minutos	NTP 334.006	300
Expansión Barra de mortero a 14 días	Máximo	0.020	%	NTP 334.093	0.007
Expansión por sulfatos a 6 meses	Máximo	0.10	%	NTP 334.094	0.01
Calor de hidratación a 3 días	Máximo	335	kJ/kg	NTP 334.171	234

(1) Requisito opcional

(2) Valores Promedios Referenciales

VENTAJAS



Presentaciones: Bolsas de 42.5 kg, granel y big bag de 1TM.



Fecha de vencimiento: para aprovechar de mejor manera sus propiedades

Ilustración 98: Ficha técnica del cemento tipo MS