

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



**Evaluación de las propiedades en estado endurecido del concreto f'c 210  
kg/cm<sup>2</sup> adicionando nanoplacas de grafeno, Chiclayo**

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

**AUTOR**

**Christian Jhair Bonilla Diaz**

**ASESOR**

**Juan Jacobo Sanchez Bautista**

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

**Chiclayo, 2023**

**Evaluación de las propiedades en estado endurecido del concreto f'c  
210 kg/cm<sup>2</sup> adicionando nanoplacas de grafeno, Chiclayo**

PRESENTADA POR  
**Christian Jhair Bonilla Diaz**

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

**INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

APROBADA POR

Segundo Guillermo Carranza Cieza  
PRESIDENTE

Fidel Ortiz Zapata  
SECRETARIO

Juan Jacobo Sanchez Bautista  
VOCAL

## **Dedicatoria**

A Dios por haberme brindado la salud y bienestar para poder cumplir mis objetivos.  
A mis padres, hermano y abuelos por su absoluto sostén, por su sacrificio, por impulsarme a seguir adelante y esforzarme cada día más.

## **Agradecimientos**

Doy las gracias principalmente a mi familia, siempre estuvieron ayudándome y guiándome en todo momento. También al ingeniero Juan Jacobo Sanchez Bautista por sus consejos y conocimientos compartidos.

---

INFORME DE ORIGINALIDAD

---

24%

INDICE DE SIMILITUD

24%

FUENTES DE INTERNET

8%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

---

FUENTES PRIMARIAS

---

1	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	7%
2	<a href="http://tesis.usat.edu.pe">tesis.usat.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
3	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
4	<a href="http://repositorio.uss.edu.pe">repositorio.uss.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
6	<a href="http://ri.ues.edu.sv">ri.ues.edu.sv</a> Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	1%
8	<a href="http://tesis.ucsm.edu.pe">tesis.ucsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
9	<a href="http://documentop.com">documentop.com</a> Fuente de Internet	1%

---

## Índice

Resumen .....	13
Abstract .....	14
Introducción .....	15
Revisión de literatura .....	18
Materiales y métodos .....	35
Resultados y discusión .....	85
Conclusiones .....	125
Recomendaciones.....	127
Referencias .....	128
Anexos.....	133

## Lista de tablas

Tabla 1: Equivalencias del nanómetro .....	25
Tabla 2: Clasificación de los nanomateriales en base a sus dimensiones .....	26
Tabla 3: Tipos de Cemento Portland.....	29
Tabla 4: Muestras de probetas cilíndricas para ensayo de Resistencia a Compresión con Cemento Tipo I y Tipo V .....	37
Tabla 5: Muestras de probetas cilíndricas para ensayo de Módulo de Elasticidad con Cemento Tipo I y Tipo V.....	37
Tabla 6: Muestras de probetas prismáticas para ensayo de Durabilidad ante Sulfato de Sodio .....	38
Tabla 7: Muestras de dados de concreto para ensayo de Durabilidad ante Sulfato de Magnesio .....	38
Tabla 8: Muestras de núcleos de concreto para ensayo de Durabilidad ante el Desgaste.....	38
Tabla 9: Muestras de probetas cilíndricas para ensayo de Profundidad de penetración de agua bajo presión .....	39
Tabla 10: Operacionalización de variable .....	42
Tabla 11: Husos granulométricos para el agregado fino.....	47
Tabla 12: Husos granulométricos para el agregado fino.....	48
Tabla 13: Huso N°56.....	48
Tabla 14: Tolerancia de tiempo del ensayo a compresión .....	61
Tabla 15: Resistencia requerida cuando no se cuenta con ningún dato estadístico .....	79
Tabla 16: Slump recomendado de acuerdo con el tipo de estructura.....	79
Tabla 17: Contenido de aire atrapado .....	80
Tabla 18: Volumen de agua por m <sup>3</sup> (en lts).....	80
Tabla 19: Relación a/c por resistencia (f <sub>cr</sub> ).....	81
Tabla 20: Peso del agregado por unidad de volumen de concreto .....	81
Tabla 21: Matriz de consistencia.....	83
Tabla 22: Granulometría del agregado fino - Cantera "La Victoria" - Pátapo.....	85
Tabla 23: Granulometría del agregado grueso - Cantera "Tres Tomas" – Mesones Muros ....	87

Tabla 24: Contenido de humedad del agregado fino - Cantera "La Victoria" - Pátapo.....	88
Tabla 25: Contenido de humedad del agregado grueso - Cantera "Tres Tomas" – Mesones Muros .....	89
Tabla 26: Peso específico y Absorción del agregado fino - Cantera "La Victoria" - Pátapo...	89
Tabla 27: Peso específico y Absorción del agregado grueso - Cantera "Tres Tomas" – Mesones Muros .....	90
Tabla 28: Peso volumétrico o unitario suelto y compactado del agregado fino - Cantera "La Victoria" - Pátapo.....	91
Tabla 29: Peso volumétrico o unitario suelto y compactado del agregado grueso - Cantera "Tres Tomas" – Mesones Muros .....	92
Tabla 30: Resistencia a la compresión - Concreto Patrón $f_c$ 210 kg/cm <sup>2</sup> .....	97
Tabla 31: Resistencia a la compresión - Concreto con 0.10% de Nanoplacas de Grafeno $f_c$ 210 kg/cm <sup>2</sup> .....	98
Tabla 32: Resistencia a la compresión - Concreto con 0.15% de Nanoplacas de Grafeno $f_c$ 210 kg/cm <sup>2</sup> .....	99
Tabla 33: Resistencia a la compresión - Concreto con 0.20% de Nanoplacas de Grafeno $f_c$ 210 kg/cm <sup>2</sup> .....	100
Tabla 34: Esfuerzo - Deformación Unitaria. Concreto Patrón (Muestra 01) - Cemento Tipo I .....	102
Tabla 35: Módulo de Elasticidad - Concreto Patrón (Muestra 01) - Cemento Tipo I.....	102
Tabla 36: Esfuerzo - Deformación Unitaria. Concreto Patrón (Muestra 02) - Cemento Tipo I .....	103
Tabla 37: Módulo de Elasticidad - Concreto Patrón (Muestra 02) - Cemento Tipo I.....	103
Tabla 38: Esfuerzo - Deformación Unitaria. Concreto Patrón + 0.10% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 01) - Cemento Tipo I .....	103
Tabla 39: Módulo de Elasticidad - Concreto Patrón + 0.10% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 01) - Cemento Tipo I.....	103
Tabla 40: Esfuerzo - Deformación Unitaria. Concreto Patrón + 0.10% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 02) - Cemento Tipo I .....	104
Tabla 41: Módulo de Elasticidad - Concreto Patrón + 0.10% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 02) - Cemento Tipo I.....	104
Tabla 42: Esfuerzo - Deformación Unitaria. Concreto Patrón + 0.15% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 01) - Cemento Tipo I .....	104

Tabla 43: Módulo de Elasticidad - Concreto Patrón + 0.15% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 01) - Cemento Tipo I.....	104
Tabla 44: Esfuerzo - Deformación Unitaria. Concreto Patrón + 0.15% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 02) - Cemento Tipo I .....	105
Tabla 45: Módulo de Elasticidad - Concreto Patrón + 0.15% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 02) - Cemento Tipo I.....	105
Tabla 46: Esfuerzo - Deformación Unitaria. Concreto Patrón + 0.20% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 01) - Cemento Tipo I .....	105
Tabla 47: Módulo de Elasticidad - Concreto Patrón + 0.20% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 01) - Cemento Tipo I.....	105
Tabla 48: Esfuerzo - Deformación Unitaria. Concreto Patrón + 0.20% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 02) - Cemento Tipo I .....	106
Tabla 49: Módulo de Elasticidad - Concreto Patrón + 0.20% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 02) - Cemento Tipo I.....	106
Tabla 50: Esfuerzo - Deformación Unitaria. Concreto Patrón (Muestra 01) - Cemento Tipo V .....	106
Tabla 51: Módulo de Elasticidad - Concreto Patrón (Muestra 01) - Cemento Tipo V .....	106
Tabla 52: Esfuerzo - Deformación Unitaria. Concreto Patrón (Muestra 02) - Cemento Tipo V .....	107
Tabla 53: Módulo de Elasticidad - Concreto Patrón (Muestra 02) - Cemento Tipo V .....	107
Tabla 54: Esfuerzo - Deformación Unitaria. Concreto Patrón + 0.10% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 01) - Cemento Tipo V .....	107
Tabla 55: Módulo de Elasticidad - Concreto Patrón + 0.10% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 01) - Cemento Tipo V .....	107
Tabla 56: Esfuerzo - Deformación Unitaria. Concreto Patrón + 0.10% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 02) - Cemento Tipo V .....	108
Tabla 57: Módulo de Elasticidad - Concreto Patrón + 0.10% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 02) - Cemento Tipo V .....	108
Tabla 58: Esfuerzo - Deformación Unitaria. Concreto Patrón + 0.15% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 01) - Cemento Tipo V .....	108
Tabla 59: Módulo de Elasticidad - Concreto Patrón + 0.15% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 01) - Cemento Tipo V .....	108
Tabla 60: Esfuerzo - Deformación Unitaria. Concreto Patrón + 0.15% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 02) - Cemento Tipo V .....	109

Tabla 61: Módulo de Elasticidad - Concreto Patrón + 0.15% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 02) - Cemento Tipo V .....	109
Tabla 62: Esfuerzo - Deformación Unitaria. Concreto Patrón + 0.20% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 01) - Cemento Tipo V .....	109
Tabla 63: Módulo de Elasticidad - Concreto Patrón + 0.20% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 01) - Cemento Tipo V .....	109
Tabla 64: Esfuerzo - Deformación Unitaria. Concreto Patrón + 0.20% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 02) - Cemento Tipo V .....	110
Tabla 65: Módulo de Elasticidad - Concreto Patrón + 0.20% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 02) - Cemento Tipo V .....	110
Tabla 66: Comparación del Módulo de Elasticidad Experimental y Teórico - Cemento Tipo I .....	110
Tabla 67: Comparación del Módulo de Elasticidad Experimental y Teórico - Cemento Tipo V .....	111
Tabla 68: Expansión unitaria frente a sulfato de sodio .....	112
Tabla 69: Variación de peso de dados de concreto - Durabilidad ante de sulfato de magnesio .....	114
Tabla 70: Porcentaje de desgaste - Concreto Patrón .....	115
Tabla 71: Porcentaje de desgaste - Concreto Patrón + 0.10% Nanoplacas de Grafeno.....	116
Tabla 72: Porcentaje de desgaste - Concreto Patrón + 0.15% Nanoplacas de Grafeno.....	117
Tabla 73: Porcentaje de desgaste - Concreto Patrón + 0.20% Nanoplacas de Grafeno.....	118
Tabla 74: Penetración para cada diseño .....	119
Tabla 75: APU Cemento Tipo I - Concreto Patrón.....	120
Tabla 76: APU Cemento Tipo I - Concreto Patrón + 0.10% NPG .....	121
Tabla 77: APU Cemento Tipo I - Concreto Patrón + 0.15% NPG .....	121
Tabla 78: APU Cemento Tipo I - Concreto Patrón + 0.20% NPG .....	122
Tabla 79: APU Cemento Tipo V - Concreto Patrón .....	122
Tabla 80: APU Cemento Tipo V - Concreto Patrón + 0.10% NPG.....	123
Tabla 81: APU Cemento Tipo V - Concreto Patrón + 0.15% NPG.....	123
Tabla 82: APU Cemento Tipo V - Concreto Patrón + 0.20% NPG.....	124

## Lista de ilustraciones

Ilustración 1: Estructura de una lámina de grafeno .....	27
Ilustración 2: Agregado fino .....	32
Ilustración 3: Agregado grueso (grava redondeada y piedra triturada).....	32
Ilustración 4: Tamices de laboratorio .....	49
Ilustración 5: Retirando muestra del horno .....	49
Ilustración 6: Peso del primer retenido - Agregado fino .....	49
Ilustración 7: Peso del primer retenido - Agregado grueso.....	49
Ilustración 8: Muestra húmeda - Agregado fino .....	51
Ilustración 9: Muestra seca - Agregado fino .....	51
Ilustración 10: Muestra húmeda - Agregado grueso .....	52
Ilustración 11: Muestra seca - Agregado grueso .....	52
Ilustración 12: Saturación del agregado grueso durante 24 horas.....	55
Ilustración 13: Secado superficialmente del agregado grueso .....	55
Ilustración 14: Tamizado del agregado fino por la malla N° 04 .....	55
Ilustración 15: Extracción de las burbujas de aire atrapado en la fiola.....	55
Ilustración 16: Peso unitario suelto del agregado fino - Peso "A" .....	57
Ilustración 17: Peso unitario compactado del agregado fino - Peso "A" .....	57
Ilustración 18: Peso unitario suelto del agregado grueso - Peso "A" .....	58
Ilustración 19: Peso unitario compactado del agregado grueso - Peso "A" .....	58
Ilustración 20: Preparación del concreto y verificando del slump de diseño.....	60
Ilustración 21: Fraguado de las muestras del diseño patrón.....	60
Ilustración 22: Desencofrado de probetas y traslado a poza de curado .....	60
Ilustración 23: Proceso de curado .....	60
Ilustración 24: Esquema de tipos de fallas típicos en el ensayo de resistencia a la compresión .....	62
Ilustración 25: Extracción de especímenes culminado el proceso de curado .....	63
Ilustración 26: Instalación de espécimen en la máquina de compresión.....	63

Ilustración 27: Capacidad última.....	63
Ilustración 28: Identificación de tipo de falla.....	63
Ilustración 29: Equipos e instrumentos para medir el módulo de elasticidad .....	65
Ilustración 30: Preparación de los equipos en la probeta .....	65
Ilustración 31: Instalación del espécimen en la máquina de compresión .....	66
Ilustración 32: Valor del dial.....	66
Ilustración 33: Preparación de las muestras .....	68
Ilustración 34: Máquina de comparación de longitud y Calibrador.....	68
Ilustración 35: Calibración .....	69
Ilustración 36: Máquina y probetas prismáticas listas para la toma de medidas.....	69
Ilustración 37: Toma de medidas .....	69
Ilustración 38: Sulfato de sodio.....	69
Ilustración 39: Preparación de especímenes.....	71
Ilustración 40: Sulfato de magnesio .....	71
Ilustración 41: Peso seco tomado a un dado de concreto.....	72
Ilustración 42: Moldes de metal para dados de 50x50x50 mm.....	72
Ilustración 43: Medidas de corte .....	74
Ilustración 44: Cortadora giratoria para extraer los núcleos de concreto.....	74
Ilustración 45: Núcleo de concreto.....	74
Ilustración 46: Rodillo de desgaste .....	74
Ilustración 47: Máquina de desgaste .....	75
Ilustración 48: Inicio del ciclo del primer ciclo de desgaste .....	75
Ilustración 49: Máquina de penetración de agua.....	77
Ilustración 50: Probetas bajo presión de agua.....	77
Ilustración 51: Verificación de presión .....	77
Ilustración 52: Retiro de probetas .....	77
Ilustración 53: Marca de presión ejercida por el agua sobre las probetas.....	78

Ilustración 54: Rotura de probetas .....	78
Ilustración 55: Delimitación de la profundidad previa medición.....	78
Ilustración 56: Toma de profundidad de penetración.....	78
Ilustración 57: Curva granulométrica del agregado fino - Cantera "La Victoria" - Pátapo .....	86
Ilustración 58: Curva granulométrica del grueso - Cantera "Tres Tomas" – Mesones Muros	88
Ilustración 59: Curva de Resistencia $f'c$ 210 kg/cm <sup>2</sup> - Cemento Tipo I .....	101
Ilustración 60: Curva de Resistencia $f'c$ 210 kg/cm <sup>2</sup> - Cemento Tipo V .....	101
Ilustración 61: Curva comparativa de expansión unitaria frente a sulfato de sodio .....	112
Ilustración 62: Pesos de muestras en cada ciclo - Concreto Patrón .....	115
Ilustración 63: Porcentaje de desgaste por ciclo - Concreto Patrón .....	115
Ilustración 64: Pesos de muestras en cada ciclo - Concreto Patrón +0.10% Nanoplacas de grafeno.....	116
Ilustración 65: Porcentaje de desgaste por ciclo - Concreto Patrón + 0.10% Nanoplacas de Grafeno.....	116
Ilustración 66: Pesos de muestras en cada ciclo - Concreto Patrón +0.15% Nanoplacas de .	117
Ilustración 67: Porcentaje de desgaste por ciclo - Concreto Patrón + 0.15% Nanoplacas de Grafeno.....	117
Ilustración 68: Pesos de muestras en cada ciclo - Concreto Patrón +0.20% Nanoplacas de Grafeno.....	118
Ilustración 69: Porcentaje de desgaste por ciclo - Concreto Patrón + 0.20% Nanoplacas de Grafeno.....	118
Ilustración 70: Penetración para cada diseño .....	119

## Resumen

El objetivo primordial de esta investigación es evaluar el impacto que genera la adición de un nanomaterial como lo son las nanoplacas de grafeno (NPG), de esta manera con dicha adición se busca lograr mejorar sus propiedades en estado endurecido. A lo largo de la historia se ha visto como se investigan y proponen gran cantidad de adiciones con el propósito de influir positivamente en las propiedades del concreto, es por ello que este nanomaterial tiene grandes expectativas ya que en base a la recopilación hecha tiene el potencial de ser el material del futuro en el sector construcción. Para constatar esto, se adicionó NPG en tres porcentajes respecto al peso del cemento, siendo estos 0.10%, 0.15% y 0.20%; se elaboraron probetas cilíndricas, prismáticas, núcleos y dados de concreto para determinar propiedades tales como la resistencia a la compresión y durabilidad. Respecto al ensayo de compresión las probetas fueron evaluadas a las edades de 7, 14 y 28 días, y para los ensayos de durabilidad se hizo la evaluación a edades de 28 y 105 días de acuerdo con el tipo de ensayo. Al emplear las adiciones se obtuvo como resultado que para la muestra con 0.10% de NPG resistencia a la compresión otorgó un aumento del 7.61% con un Cemento Tipo I y una mejora del 6.24% con un Cemento Tipo V, en la durabilidad ante sulfato de sodio su expansión fue menor a la patrón, en la durabilidad frente a sulfato de magnesio no presentó alteraciones, para la durabilidad ante el desgaste disminuyó en un 0.02% y para la profundidad de penetración de agua también disminuyó en un 1.25%.

**Palabras clave:** Nanoplacas, grafeno, concreto, compresión, durabilidad

### **Abstract**

The primary objective of this research is to evaluate the impact generated by the addition of a nanomaterial such as graphene nanoplates (NPG), in this way with this addition it is sought to improve its properties in the hardened state. Throughout history it has been seen how a large number of additions are investigated and proposed with the purpose of positively influencing the properties of concrete, which is why this nanomaterial has great expectations since based on the collection made it has the potential to be the material of the future in the construction sector. To verify this, NPG was added in three percentages with respect to the weight of cement, these being 0.10%, 0.15% and 0.20%; Cylindrical specimens, prismatic, cores and concrete dice were made to determine properties such as compressive strength and durability. Regarding the compression test, the specimens were evaluated at the ages of 7, 14 and 28 days, and for the durability tests, the evaluation was made at ages of 28 and 105 days according to the type of test. When using the additions it was obtained as a result that for the sample with 0.10% of NPG compressive strength gave an increase of 7.61% with a Type I Cement and an improvement of 6.24% with a Type V Cement, in the durability before sodium sulfate its expansion was less than the standard, in the durability against magnesium sulfate did not present alterations, for wear durability decreased by 0.02% and for water penetration depth also decreased by 1.25%.

**Keywords:** Nanoplates, graphene, concrete, compression, durability

## Introducción

El uso del concreto viene de muchos años atrás, los griegos y romanos fueron los primeros en usar un aglomerante, el cual presentaba características similares a lo que hoy en día conocemos como concreto. En 1824, J. Asphin y I.C. Jhonson patentaron al cemento portland, ya en 1952 fue cuando se utilizó por primera vez un material (cenizas de carbón) como reemplazo de una parte del cemento. De igual manera en 1963 se elaboraron concretos en los cuales se adicionaban fibra de acero o fibra de vidrio [1].

La razón por la que el concreto fue y viene siendo el material predominante en el sector construcción, es debido a que presenta una gran versatilidad la cual le permite un amplio campo de aplicación en cuanto a todo tipo de estructuras, ya sean represas, canales, pavimentos, puentes o edificios. Además, este es capaz de estar bajo condiciones de extrema severidad [1].

Asimismo, a lo largo de la historia en la evolución del proceso de diseño de mezclas para concreto se ha visto como se adicionan distintos tipos de materiales con la finalidad de que mejore sus propiedades cuando se encuentra en su estado fresco y más aún cuando pasa a su estado endurecido, con el propósito de que cumpla los requerimientos del ingeniero proyectista, sea durable, resistente, económico y sobre todo sea totalmente seguro [1].

Debido al gran uso que se le da y a los requisitos que se le pide, el concreto que tiene como base el diseño de mezcla, debe estar en constante actualización de acuerdo con las nuevas tecnologías, con el fin de lograr la elaboración de mejores concretos y por ende su mejor aprovechamiento. Todo esto significa un gran desafío hacia los ingenieros, ya que es una constante investigación para lograr dichas metas [1].

A causa de estas necesidades, al concreto se le exige una mayor resistencia y flexibilidad, esto nos lleva a la investigación y propuesta de diseños de mezcla más innovadores con nuevas materias que nos permitan cumplir dichas exigencias, no impliquen un mayor gasto económico y sean amigables con el medio ambiente. Debido a todo lo anterior, dentro del grupo de nanopartículas el uso de nanoplacas de grafeno como una alternativa para la mejora de nuestros concretos ha tomado gran interés. Las investigaciones realizadas a las propiedades de las nanoplacas de grafeno aseguran que debido a que estos trabajan a nivel molecular, es posible obtener grandes estructuras a través de una organización molecular [2].

A nivel mundial ya se está investigando el uso de las nanoplacas de grafeno, en Weinheim plantean que, el concreto debe diseñarse a nivel de nanoescala, ya que es verdaderamente en este estado en donde sus propiedades químicas y fisicoquímicas logran una mayor mejora. Logrando obtener un concreto multifuncional innovador diseñado a partir de nanoingeniería,

el cual en sus propiedades presenta mejores resultados haciendo una comparativa a lo obtenido en un concreto representativo [3].

De la misma forma en la ciudad de Lima, existe esta preocupación y necesidad de conocer diseños innovadores para obtener una optimización de las propiedades del concreto. Al estar ubicada en una zona sísmica, es de vital importancia estar al día en cuanto a las innovaciones ingenieriles, por esto se estudió la adición del grafeno como nanomaterial innovador para optimizar las propiedades del concreto estructural [4].

Al igual que los casos anteriores la ciudad de Chiclayo también necesita de estas innovaciones, al ser una Metrópoli Regional del Macrosistema Norte, se encuentra en constante expansión y, por ende, uso de grandes cantidades volumétricas de concreto para sus nuevas edificaciones. Pero lamentablemente, sufrimos de una deficiencia en investigación y por ende contamos con escasas referencias en cuanto al empleo de este nanomaterial, provocando así el desconocimiento de su uso y las posibles mejoras a nuestros concretos, las cuales son tan necesarias en nuestra zona [5].

La solución para la problemática planteada anteriormente es el concreto con adición de nanoplacas de grafeno en cantidades del 0.10%, 0.15% y 0.20% del peso del cemento. Es conocido que la resistencia y durabilidad del concreto está fuertemente relacionado con la estructura, ordenamiento y organización de sus nanopartículas, por lo cual con la adición de estas nanoplacas y debido a las características que presentan, se va a lograr que el concreto mejore sus propiedades y logre dar mejores respuestas ante los esfuerzos que se le sometan. De manera que en la presente investigación la formulación del problema es: ¿Cuál es la influencia de incorporar tres diferentes porcentajes de nanoplacas de grafeno en las propiedades en estado endurecido del concreto  $f'c$  210kg/cm<sup>2</sup>?

El empleo de este nanomaterial será justificado en ciertos aspectos, los cuales servirán como respaldo y se detallan a continuación:

En el aspecto técnico, las nanoplacas de grafeno tienen el potencial de ser el material del futuro la industria de la construcción, su adición en el concreto puede llegar a generar grandes mejoras, entre estas la resistencia a la compresión y la durabilidad. Debido a esto es que es necesario un estudio que garantice que la adición de este nanomaterial puede llegar a aumentar la resistencia a la compresión y la durabilidad, además dichos beneficios incitarían a que otras ciudades vean factible su uso y prefieran aplicarlo en sus futuros proyectos.

Por otra parte, en el aspecto social la aplicación de este nanomaterial logrará la mejora del concreto en nuestras edificaciones y por ende dará más seguridad y confianza a la población que utilice alguna de estas estructuras.

Desde la perspectiva económica, la adición de estas nanoplacas de grafeno al concreto permitirá a largo plazo un gran ahorro en gastos de mantenimiento y reparación en comparativa del concreto convencional, ya que este último presenta una fragilidad inherente y poca resistencia a tracción.

Y finalmente evaluando el aspecto ambiental, en base a que las nanoplacas de grafeno sean añadidas al concreto para mejorar sus propiedades, se puede pensar en un reemplazo del cemento por este nanomaterial o en una reducción volumétrica de concreto, sin llegar a perder resistencia. Esto traería consigo una disminución del consumo de cemento y por ende su producción también disminuiría, lo cual generaría una repercusión favorable sobre el medio ambiente ya que el proceso de producción del cemento es un gran emisor de dióxido de carbono.

Por consiguiente, se formularon los objetivos necesarios para lograr el desarrollo de esta investigación, teniendo como objetivo general evaluar la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto  $f'_c$  210 kg/cm<sup>2</sup> adicionando nanoplacas de grafeno en tres distintos porcentajes. Así mismo se definieron los objetivos específicos, los cuáles son: Determinar las propiedades de los agregados y cemento de la zona en estudio, y establecer el proceso de adición de las nanoplacas de grafeno para la elaboración de los elementos a ensayar; Elaborar el diseño de mezcla patrón y los diseños con la adición de nanoplacas de grafeno en tres distintos porcentajes; Determinar la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto  $f'_c=210\text{kg/cm}^2$  con y sin adición de nanoplacas de grafeno; Comparar la resistencia a compresión y durabilidad de la muestra patrón y de las muestras con adición de nanoplacas de grafeno; y Analizar económicamente la elaboración de las mezclas de concreto con y sin la adición de nanoplacas de grafeno para estimar el costo de producción por m<sup>3</sup> de concreto.

## Revisión de literatura

### *Antecedentes*

#### *Antecedentes Internacionales*

**D. Dimov et al., “Ultra-high Performance Nanoengineered Graphene–Concrete Composites for Multifunctional Applications”, *Advanced Functional Materials*, vol. 28, pp. 01-12, abril 2018.**

En esta investigación [3], afirman que el concreto debe diseñarse a nivel de nanoescala, ya que es verdaderamente en este estado en donde sus propiedades químicas y fisicoquímicas logran una mayor mejora. Consiguiendo un concreto multifuncional innovador diseñado a partir de nanoingeniería, el cual en sus propiedades presenta mejores resultados en comparación con el concreto convencional. Mediante el método de exfoliación mezclando las dispersiones de grafeno, cemento y agua, lograron combinar el grafeno con el concreto. Una vez realizado este método, se elaboraron cubos de concreto de 10x10x10 cm para su posterior medición en las pruebas de laboratorio, buscando obtener la resistencia a ruptura por compresión y la resistencia a flexión entre el lapso de 7 y 28 días que comprende el proceso de curado del concreto. Obteniendo como resultado para ambos días en promedio un incremento del 146% en la resistencia a la compresión y un incremento del 79% de resistencia a la flexión. Los valores alcanzados confirman lo planteado, la nanoingeniería es la nueva tecnología que nos permitirá obtener concreto de elevada resistencia, el empleo de tal material como el grafeno abrirá un amplio campo de aplicaciones estructurales competitivas para el concreto.

**F. Babak, H. Abolfazl, R. Alimorad y G. Parviz, “Preparation and Mechanical Properties of Graphene Oxide: Cement Nanocomposites”, *Hindawi*, vol. 2014, pp. 01-10, junio 2014.**

En esta investigación [6], señalan que el óxido de grafeno (nanotubos de grafeno funcionalizados) como adición en todos los componentes del cemento logrará mejorar las propiedades mecánicas de estos componentes. Los materiales cementosos son los más empleados dentro del sector de la construcción, pero lamentablemente son frágiles y cuentan con una muy baja resistencia a la tracción. Para probar la eficacia de este material se elaboró una muestra con adición del 1.5% en peso de óxido de grafeno y otra sin adición. Pasados los

28 días de curado, se realizó el ensayo a tracción, dando como resultado para la muestra con adición de óxido de grafeno una mejora del 48% en comparación a la muestra sin adición.

**E. A. Navarro Jiménez y H. Forero Romero, “Mejoramiento de la resistencia a compresión del concreto con Nanotubos de Carbono”, Tesis Pregrado, Dpto. Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, jun. 2017.**

En esta investigación [7], mencionan que existe la necesidad de obtener un concreto con mejor desempeño en comparativa al que conocemos hoy en día, es por esto que en muchas empresas constructoras se ha generado un aumento en el interés por la nanotecnología y el posible uso de estos nanomateriales. La adición de nanotubos de carbono logrará una optimización del concreto en cuanto a sus propiedades físicas, este tendrá mejores respuestas frente a mayores cargas y esfuerzos. Para ello en la investigación, se elaboraron 9 muestras de las cuales 3 eran muestras patrón, las siguientes 3 llevaban la adición de nanotubos de carbono en un 0.3% del volumen de cemento y para las 3 muestras finales contenían un 0.5% del volumen de cemento. Dicho nanomaterial fue añadido de forma directa durante el mezclado del concreto, además se realizó el proceso de curado durante 28 días. Culminado el periodo de curado, se realizaron las pruebas de compresión, obteniendo para las muestras con 0.3% de nanotubos un aumento del 11.7% en la resistencia a la compresión en comparación a la muestra patrón, y para las muestras con 0.5% de nanotubos se obtuvo una mejora en un 10.2%. En conclusión, para ambos casos de adición quedó evidenciado la optimización de la resistencia a la compresión y de este modo se da un avance para el posible uso de este nanomaterial en la fabricación de concretos súper resistentes.

**A. A. Abdel Ghafaar, A. S. Faried, M. Mokhtar, M. Morsy y K. M. Osman, “Promoting the physical and the mechanical properties of concrete using nano and waste materials”, *IOP Conference Series. Materials Science and Engineering*, vol. 1171, n.º 1, 2021.**

En esta investigación [8], señalan que el uso de nanomateriales tales como los nanotubos de carbono y óxido de grafeno traerían una considerable mejora sobre la resistencia a la compresión, de igual manera indican un efecto positivo sobre la flexión. Debido a ello se dispusieron a realizar ensayos a compresión y flexión a los 7 y 28 días de curado. Contaron con distintas muestras a ensayar, unas tenían un reemplazo de cemento por residuos de construcción (residuos cerámicos y polvo de mármol) más nanotubo de carbono u óxido de grafeno, y a parte se contaba con una muestra de control (sin ninguna adición o reemplazo)

que sirve para hacer la comparación. Finalmente se obtuvo que con un reemplazo de residuo cerámico más un 0.05% de nanomaterial ambas propiedades mencionadas anteriormente aumentaron en un 11.7% y para el reemplazo con polvo de mármol con el mismo porcentaje de nanomaterial los valores de resistencias aumentaron a 14.6%. Con esto se concluyó que los nanotubos de carbono u óxido de grafeno tiene la capacidad de mejorar las propiedades mecánicas del concreto.

**A. Muciño Vélez, “Concreto nanotecnológico”, *Razón y Palabra*, n° 68, 2012.**

En esta investigación [9], nos cuenta como el concreto dentro del campo de la construcción se convirtió hasta la actualidad en el material predominante, el cual tiene como su principal materia al cemento. Cuando se tiene un material el cuál es producido en grandes cantidades, surgen otras opciones para sustituir o mejorar algunas características de este material. El cemento no es y no debe ser la excepción a esto, ya que su producción genera elevadas emisiones de dióxido de carbono; y es ahí donde debe aparecer la nanotecnología, estos avances tecnológicos deben aportar en la investigación de la estructura del cemento para así lograr su manipulación a nivel molecular y poder evitar tal nivel de contaminación. Además, deben lograr desarrollar nanomateriales amigables con el medio ambiente que puedan sustituir en lo posible al cemento y obtener un concreto con iguales o mejores características que el conocemos hoy en día.

***Antecedentes Nacionales***

**D. E. Bartra Chujutally, “Evaluación de la influencia del grafeno como aditivo nanotecnológico para mejorar la resistencia del concreto  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>”, Tesis Pregrado, Dpto. Ingeniería, Universidad César Vallejo, Tarapoto, Perú, 2018.**

En esta investigación [2], se afirma que en las mezclas de concreto la adición de grafeno provocaría una mayor resistencia a la compresión en comparación al concreto tradicional; además planteaba demostrar que mediante la adición de grafeno es posible la reducción del empleo de cemento, logrando minimizar la polución generada a causa de su proceso de producción. Con esto en la investigación, se elaboraron cuatro diseños de mezcla, la primera de las muestras era la muestra patrón, la segunda llevaba una adición de grafeno igual 1% del peso del cemento, la tercera adicionando 1.5% del peso del cemento y la última muestra llevaba una adición del 2% del peso del cemento. Posteriormente luego de haber pasado 28 días, se realizaron los ensayos de ruptura a compresión a los especímenes cilíndricos de

concreto. Finalmente se obtuvo para la muestra patrón una resistencia de 216.71 kg/cm<sup>2</sup>, para las muestras con adición de 1%, 1.5% y 2% de grafeno se alcanzaron resistencias de 240.08 kg/cm<sup>2</sup>, 241.20 kg/cm<sup>2</sup> y 254.31 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. Con lo anterior se concluye que es factible la adición de grafeno para lograr la optimización y el incremento de la resistencia a la compresión del concreto, ya que se evidencia que en todas las mezclas que contaron con adición se logró mejorar dicha propiedad del concreto.

**L. Choque Flores, “Mejoramiento de las propiedades mecánicas del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , agregando grafeno”, Tesis Doctoral, Dpto. Ingeniería, Universidad Federico Villareal, Lima, Perú, 2021.**

En esta investigación [4], nos afirma que su estudio aportará conocimiento acerca del concreto tradicional y su posible perfeccionamiento en cuanto a sus propiedades mecánicas gracias a la implementación de innovación nanotecnológica, con esto logrará dar un nuevo enfoque hacia una nueva alternativa de construcción sostenible. Para ello elaboró 5 diseños de mezclas, una muestra base, una segunda muestra adicionando grafeno en un 0.1%, la tercera cuanta con un 0.2% de grafeno, la cuarta lleva un 0.3% de grafeno y la quinta muestra un 0.4% de grafeno. En total se planteaba realizar 120 pruebas de las cuales a 60 se evaluarían a compresión, 30 pruebas a flexión y 30 pruebas a tracción. Pasados 28 días se realizaron los ensayos, para compresión la muestra más significativa fue la de adición con 0.4% de grafeno ya que se obtuvo como valor máximo 285.992 kg/cm<sup>2</sup>, cabe señalar que el resto de las muestras con distintos porcentajes de adición también resultaron con un aumento en su resistencia a la compresión. De igual manera, en los ensayos a flexión y tracción los mejores valores son con la adición de 0.4% de grafeno alcanzando valores máximos de 44.80 kg/cm<sup>2</sup> y 46.30 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. Debido a esto se pudo constatar que, con un control adecuado en el diseño, una correcta dosificación y con la adición de 0.4% de grafeno se puede lograr obtener una elevada resistencia a compresión del concreto, esta es la que más expectativas se tenía.

**H. Ccopa Manami, “Efecto del grafeno como aditivo nanotecnológico en la resistencia al concreto”, Tesis Pregrado, Dpto. Ingeniería, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú, jun. 2017.**

En esta investigación [10], se señala la necesidad de estudiar la repercusión que provocaría la integración de grafeno como aditivo al concreto, ya que una de las principales incógnitas es su impacto en la resistencia de diseño y la trabajabilidad, al ser estas dos unas de las

propiedades más importantes del concreto, existe una gran preocupación de conocer cuáles serían los cambios producidos al añadir dicho aditivo y más aún debido a que la zona en donde se realiza el estudio se ubica a 3800 msnm (Puno). Por ese motivo, se elaboraron un total de 60 briquetas cilíndrica de 6"x12" para su posterior ensayo y en cuanto a los diseños de mezcla, elaboró una muestra estándar y tres mezclas incorporando 0.5%, 1% y 1.5% de grafeno. Al final de los ensayos los resultados indicaron que para la trabajabilidad en las tres muestras resultó en un aumento del 25% y por lo que concierne a la resistencia a la compresión se lograron mejoras de un 19% para el diseño que contaba con una adición del 0.5% de grafeno y para las mezclas con adición de 1% y 1.5% de grafeno sus valores para ambos aumentaron en un 20%. En base a los valores obtenido se llega a concluir que la implementación de grafeno en el concreto llega a aumentar la resistencia a compresión y la trabajabilidad.

### ***Bases teóricas***

#### ***Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates – ASTM C 136***

Esta norma abarca todo el procedimiento de determinación de la distribución de partículas o más conocido como análisis granulométrico tanto del árido fino como del grueso. Publicada el 16 de febrero del 2006 [11].

#### ***Standard Specification for Concrete Aggregates – ASTM C 33***

Esta norma establece los requisitos granulométricos o también conocidos como husos granulométricos tanto para el árido fino como para el grueso. Publicada el 10 de junio del 2003 [12].

#### ***Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying – ASTM C 566***

Esta norma abarca todo el procedimiento aplicado a los agregados para la determinación del contenido de humedad total de estos. Publicada el 10 de junio de 1997 [13].

***Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse – ASTM C 127***

Esta norma engloba todo el procedimiento aplicado al agregado grueso para calcular su densidad, densidad relativa y absorción. Publicada en 01 de junio del 2015 [14].

***Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate – ASTM C 128***

Esta norma engloba todo el procedimiento aplicado al agregado fino para calcular su densidad, densidad relativa y absorción. Publicada el 01 de junio del 2015 [15].

***Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate – ASTM C 29***

Esta norma abarca todo el procedimiento de determinación del peso unitario o peso volumétrico de los agregados en su estado suelto y compactado, además se determina la cantidad de vacíos que poseen. Publicada el 10 de julio del 1997 [16].

***Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field – ASTM C 31***

Esta norma instauro el adecuado proceso para la preparación, curado, resguardo y acarreo de los ejemplares de concreto bajo circunstancias de obra. Publicada el 01 de abril del 2008 [17].

***Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory – ASTM C 192***

Esta norma dispone el adecuado proceso para la preparación, curado, resguardo y acarreo de los ejemplares de concreto bajo circunstancias de laboratorio. Publicada el 10 de agosto del 2002 [18].

***Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens – ASTM C 39***

Esta norma dispone el proceso para determinar la resistencia a compresión de probetas cilíndricas de concreto. Publicada el 01 de febrero del 2014 [19].

***Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression – ASTM C 469***

Esta norma dispone el proceso para determinar el módulo de elasticidad y coeficiente de poisson de probetas cilíndricas de concreto. Publicada el 15 de marzo del 1994 [20].

***Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete – ASTM C 157***

Esta norma establece el proceso para determinar el cambio de longitud de los especímenes en cuestión. Publicada el 01 de octubre del 2008 [21].

***Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution – ASTM C 1012***

Esta norma establece los valores máximos de variación de longitud permitidos frente a una exposición de sulfato de sodio. Publicada el 01 de junio del 2004 [22].

***Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate – ASTM C 88***

Esta norma establece el procedimiento para verificar la inalterabilidad frente a la acción de sulfato de sodio o sulfato de magnesio. Publicada el 10 de marzo de 1999 [23].

***Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating Cutter Method – ASTM C 944***

Esta norma dispone el adecuado proceso para la evaluación de la durabilidad de núcleos o especímenes de concreto frente a la acción de un desgaste relativo. Publicada el 10 de julio del 1999 [24].

***Profundidad de penetración de agua bajo presión – UNE-EN 12390-8***

Esta norma dispone el adecuado proceso para precisar la profundidad de penetración en especímenes cilíndricos de concreto. Publicada en octubre del 2000 [25].

***Nanotecnología***

La nanotecnología es el término usado para determinar las ciencias y/o métodos que se usan a nivel de nanoescala, el cual es una medida sumamente pequeña. Los nanos otorgan la posibilidad de trabajar y/o manipular las estructuras en un nivel molecular o atómico. En conclusión, esta tecnología brinda la posibilidad de realizar un reordenamiento atómico o molecular a ciertos materiales [26].

M. Roco en 1999 también dio una definición a este término, el cuál lo definió como una investigación a nivel atómico, molecular o supramolecular destinados a los materiales en la nanoescala, es decir entre 1-100 nm, de esta manera se logrará la elaboración de estructuras con mejores propiedades [27].

A continuación, se muestra las equivalencias del nanómetro:

*Tabla 1: Equivalencias del nanómetro*

<b>Equivalencias del nanómetro</b>	
Milímetro:	1 mm = 1 000 000 nm
Micrómetro:	1 $\mu\text{m}$ = 1000 nm
Angstrom:	1 $\text{\AA}$ = 1/10 nm
Picómetro:	1 pm = 1/1000 nm


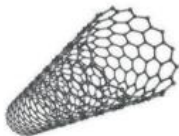
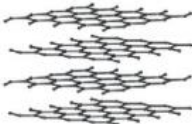

*Fuente: Nanociencia (Feynman, 1959)*

## Nanomateriales

Su definición parte del concepto de nanotecnología, esta última es el diseño, estudio y formación de materiales a nivel molecular, a estos materiales son a los que llamamos nanomateriales. Según la Agencia del Medio Ambiente (EPA) de Estados Unidos, la clasificación de los nanomateriales es de cuatro tipos, dentro de estos tenemos a los que tienen de base al carbono, a estos se les conoce como “fullerenos” y los cilíndricos son llamados “nanotubos” [28].

Para considerarse nanomaterial su tamaño debe oscilar entre 1 – 100 nm, es decir se encuentran en los rangos de microescala y escala atómica, esta última equivale a 0.2 nanómetros [26].

Tabla 2: Clasificación de los nanomateriales en base a sus dimensiones

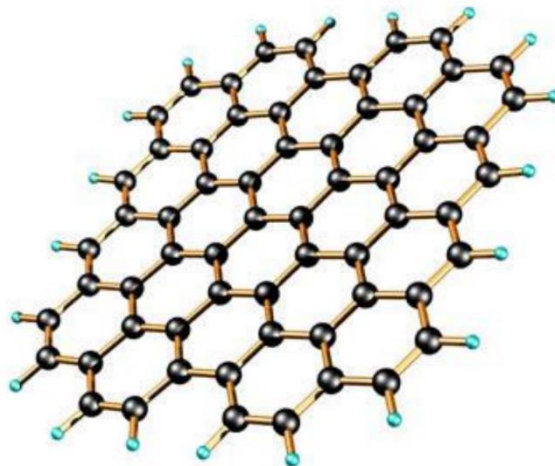
Estructura	Nanomateriales
<p data-bbox="517 947 721 981"><b>Cero dimensional (0D)</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fullerenos</li> <li>- Partículas coloidales</li> <li>- Puntos cuánticos (Qdots)</li> <li>- Nanoclusters</li> <li>- Nanopartículas de Au y Ag</li> </ul>
<p data-bbox="523 1216 715 1249"><b>Uni dimensional (1D)</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nanocables y nanofibras</li> <li>- Nanotubos</li> <li>- Nanovarillas</li> <li>- Fibras poliméricas</li> </ul>
<p data-bbox="534 1496 703 1529"><b>Bi-dimensional (1D)</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Monocapas</li> <li>- Nanorrecubrimiento</li> <li>- Superficies espesor &lt; 100nm</li> <li>- Películas poliméricas (nano)</li> <li>- Superficies espesor &lt; 100nm</li> <li>- Películas multicapa</li> </ul>
<p data-bbox="539 1742 719 1776"><b>Tri-dimensional (1D)</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Materiales nanoestructurales</li> <li>- Policristales</li> <li>- Nanobolas</li> <li>- Nanobobinas</li> <li>- Nanoflores</li> </ul>

Fuente: Michael Ströck

## **Grafeno**

El grafeno viene a estar constituido de átomos de carbono en dos dimensiones, los cuales forman una fina lámina plana dando así origen al grafeno.

*Ilustración 1: Estructura de una lámina de grafeno*



*Fuente: Info Grafeno*

Este material cuenta con unas características únicas tales como su gran conductividad eléctrica, su amplia superficie, una gran conductividad térmica y dureza. Estas características lo vuelven un material de alto interés científico, además resulta ser amigable con el medio ambiente, ya que proviene del grafito y este es una sustancia natural.

Teniendo en cuenta que la nanotecnología abarca de 1 – 100 nm, el grafeno es considerado nanomaterial debido a que su tamaño es de 50 nm [29].

### ***Propiedades del grafeno***

A continuación, se mencionan las propiedades más relevantes del grafeno:

- Al tener espesor de un átomo de carbono, el grafeno es considerado el material más delgado.
- Cuenta con una gran área específica, la cual es aproximadamente igual a 2700 m<sup>2</sup>/gr.
- Es apreciado como el cristal con mayor elasticidad.
- Cuenta con la mayor relación resistencia/peso.
- En comparación con el diamante, tiene más dureza lo cual lo convierte en el material más duro.

- Su conductividad es de hasta diez veces más que la del cobre y el aluminio. Además, también es mayor a la del diamante, lo cual hace que sea el mayor conductor térmico.
- Es capaz de soportar la densidad de corriente hasta en 1 millón de veces más en comparación al cobre.
- Es impermeable ante los gases.
- Presenta la mayor movilidad de electrones, la cual es cien veces más que el silicio.

Las propiedades del grafeno son sin duda alguna sorprendentes y más aún su alta resistencia mecánica, de esta manera su adición al concreto resulta ser viable [30].

### ***Nanoplacas de grafeno***

Las nanoplacas de grafeno vienen a ser una representación del grafeno ya que este cuenta con una estructura bidimensional, es decir, las nanoplacas de grafeno son unas láminas con espesor igual a un nanómetro y están conformadas por átomos de carbono los cuales forman una red hexagonal sobre un mismo plano dando así origen a las nanoplacas [31].

### ***Concreto***

#### ***Definición general***

Es el conglomerante producto de la mezcla de los agregados (tanto fino como grueso), agua y cemento. En el momento que el cemento hace contacto con el agua se genera una respuesta química la cual hace que la mezcla vaya endureciendo. La cantidad de cada uno de estos componentes va a depender de la resistencia requerida [32].

#### ***Componentes***

##### ***Cemento***

Debido a las diferentes exigencias y necesidades químicas y/o físicas se elaboran distintos tipos de cemento portland para responder adecuadamente a estas exigencias., brinda ocho tipos de cementos portland. La american society for testing and materials

(ASTM) en su normal C 150 de nombre “Especificación estándar para cementos portland”, señala los distintos tipos de cemento portland, siendo un total de ocho:

*Tabla 3: Tipos de Cemento Portland*

<b>TIPO</b>	<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>USO</b>
I	Normal	De uso común, cuando no se requieren propiedades particulares que provoquen la necesidad de otro tipo de cemento.
IA	Normal	De uso común, con incorporador de aire.
II	Moderado	Puede ser de uso común o también cuando se requiera una moderada resistencia acción de sulfatos o se necesita un moderado calor de hidratación.
IIA	Moderado	Igual uso y características del Tipo II más incorporador de aire.
III	Elevadas resistencias	De uso donde se necesite lograr una alta resistencia a una edad temprana.
IIIA	Elevadas resistencias	Mismo uso y características del Tipo III más incorporador de aire.
IV	Bajo calor de hidratación	De uso cuando se necesita obtener un calor de hidratación muy bajo.
V	Elevada resistencia ante la acción de sulfatos	Puede ser de uso general y también cuando se requiera una alta resistencia frente a la agresión de sulfatos.

*Fuente: ASTM C 150*

### ***Tipo I***

El cemento portland tipo I es de uso común y corriente, puede ser usado cuando no se necesiten construcciones con características y/o propiedades en particular que necesiten una protección especial ante agentes externos agresivos (ataque de cloruros o sulfatos) que signifiquen un peligro hacia este. Entre las construcciones donde se usa comúnmente este tipo de cemento tenemos: falso piso, contrapiso, piso, pavimentos rígidos, elementos estructurales, prefabricados, etc. [33].

### ***Tipo II***

Se usa cemento portland tipo II cuando se requiere una moderada resistencia al ataque de sulfatos, es decir su uso es cuando se encuentran sulfatos levemente mayores a lo usual, siempre y cuando dichas concentraciones de sulfatos no lleguen a ser severas (cuando se llegan a una concentración de sulfatos alta o severa, se debe usar cemento tipo V a causa de tener una alta resistencia al ataque de sulfatos). Entre las construcciones donde se usa comúnmente este tipo de cemento tenemos: Uso en tuberías de drenaje [33].

Otro uso es cuando se necesita un moderado calor de hidratación, ya que tiene menores valores en paridad al cemento tipo I. De esta manera si se especifican límites en cuanto al calor de hidratación, el cemento tipo II puede ser una alternativa, gracias a esta característica se puede emplear en construcciones de gran volumen de concreto, en zonas calurosas, presas o represas de concreto, etc. [33].

### ***Tipo III***

La particularidad fundamental de este tipo de cemento es que logra llegar a elevadas resistencias a los 3 y 7 días, siendo estas edades muy tempranas. El cemento portland tipo III cuenta con esta característica gracias a que en el proceso de molienda se obtiene un cemento más fino. Por lo tanto, su uso se da cuando es necesario el rápido desencofrado de la estructura o cuando se necesita la pronta habilitación de la estructura, tal como sucede en las carretas o autopistas [33].

### ***Tipo IV***

La gran característica del cemento portland tipo IV es que al momento de fraguar produce muy bajo calor de hidratación en comparación con el resto de los cementos, pero cabe señalar que al mismo modo presenta un desarrollo lento de resistencia en comparación al resto de cementos. De esta manera su uso va dirigido a obras donde se exija tener un calor de hidratación mínimo, es decir este tipo de cemento va destinado a obras donde exista un uso masivo de concreto, tal es el caso de presas o represas de concreto [33].

Durante el proceso de mezclado se da el encuentro entre el cemento y el agua, el contacto de estos da inicio a la hidratación y posteriormente da origen al calor

de hidratación. Durante las siguientes 3 horas se da el endurecimiento del concreto y al transcurso de 28 días se va dando el desarrollo de la resistencia [33].

### ***Tipo V***

Si un elemento de concreto estará en constante contacto con agua o estará ubicado en un ambiente salino, el uso de cemento portland tipo V es indispensable ya que cuenta con una resistencia muy alta hacia los sulfatos [33].

### ***Agua***

El agua es uno de los componentes de mayor uso en obras, sus usos van desde el lavado de agregados hasta su uso en la preparación de la mezcla del concreto, otro uso muy esencial es para el proceso de curado. Al contar con todas esas responsabilidades el agua debe estar totalmente limpia de cualquier agente que pueda llegar a provocar daños. De preferencia deberá ser agua potable. Se debe evitar el uso de agua que este contaminada por sustancias dañinas, como lo son los ácidos, aceites, sales, entre otros [34].

### ***Agregados***

El control del calidad y tipo de los agregados es un procedimiento esencial en la preparación del concreto y no se debe minimizar. Los agregados pueden ser granulares, naturales o artificiales, y ocupan entre el 60% al 75% de una unidad volumétrica de concreto. Estos altos porcentajes lo convierten en un regulador volumétrico del concreto y por ende las propiedades del concreto en estado fresco como endurecido se ven gran influenciadas por estos porcentajes [35].

Los agregados pueden finos o gruesos, y deben cumplir con los requisitos estipulados por la ASTM C 33.

### ***Agregado fino***

Los agregados finos podrán consistir en arena natural o piedra triturada, o una combinación de ambas. Sus partículas deberán ser inferiores a 5 mm (0.2”), de contornos angulares, duros, densos y resistentes. Cabe señalar que el agregado fino debe estar limpio en su totalidad, ya que la presencia de materia orgánica u otros elementos nocivos podrían provocar problemas en un futuro [35].

*Ilustración 2: Agregado fino*



*Fuente: Luis Cavazos, 2004*

### ***Agregado grueso***

El agregado grueso podrá consistir en grava natural o piedras trituradas. Sus partículas deberán ser superiores a 5 mm (0.2") y particularmente entre 9.5 mm a 37.5 mm (3/8" – 1 1/2"), de contornos angular o semi-angular, duras, densos, resistentes y de textura esencialmente rugosa. Cabe señalar que el agregado grueso debe estar limpio en su totalidad, ya que la presencia de materia orgánica u otros elementos nocivos podrían provocar problemas en un futuro [35].

*Ilustración 3: Agregado grueso (grava redondeada y piedra triturada)*



*Fuente: Luis Cavazos, 2004*

### ***Curado del concreto***

Para adquirir la resistencia requerida en el diseño de un concreto, uno de los factores esenciales es el curado. Posterior al vaciado de la mezcla el procedimiento a seguir es el curado, el cual se aplica en las primeras etapas de endurecimiento del concreto. Es decir, se da el término curado al procedimiento que se realiza para mantener hidratado del concreto, es un control de la temperatura y humedad desde la superficie hasta el dentro del concreto. En conclusión, su objetivo primordial es mantener saturado al concreto [36].

### ***Diseños de mezcla***

Viene a ser la adaptación de técnicas, métodos y/o prácticas de conocimientos científicos acerca de los componentes que comprenda y la correlación que se presente entre estos. Todo esto con el propósito de obtener un resultado que cumpla los requerimientos establecidos por el ingeniero proyectista de acuerdo con el proyecto constructivo [37].

### ***Método ACI***

El American Concrete Institute – ACI [38] establece una secuencia para desarrollar el diseño de mezcla. Presenta una serie de tablas obtenidas de forma empírica, las cuales nos permitirán calcular para cada componente la cantidad necesaria de acuerdo con el uso o fin que se le planea dar al concreto. El procedimiento por seguir según el ACI-211 es el siguiente:

- i. Determinación de la resistencia requerida ( $f'_{cr}$ ).
- ii. Escoger el Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso (TMN).
- iii. Escoger asentamiento (Slump).
- iv. Definir el contenido de aire.
- v. Definir el contenido de agua.
- vi. Definir la relación agua/cemento, para su selección se tendrá en cuenta si se toma por resistencia requerida o por durabilidad.
- vii. Calcular la cantidad de cemento.
- viii. Cálculo de los pesos de los agregados: Seleccionar el peso del agregado grueso por unidad de volumen de concreto, proporcionado a través del valor

de b/bo. Posteriormente calcular los volúmenes absolutos para obtener el volumen absoluto del agregado fino y peso en seco.

- ix. Presentación del diseño de mezcla en condiciones secas.
- x. Corrección del diseño por el aporte de humedad de los agregados.
- xi. Cálculo del agua efectiva
- xii. Presentar diseño de mezcla en condiciones húmedas.
- xiii. Calcular las proporciones en peso y cantidad de materiales por tanda (por bolsa de cemento).

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

#### ***Resistencia a la compresión***

Se entiende como resistencia a la compresión a la máxima cantidad de resistencia del concreto de soportar carga axial. Esta medida es la que utiliza para diseñar todo tipo de edificios u otras estructuras. Su valor se obtiene realizando ensayos en probetas cilíndricas de diámetro de 6” equivalente a 15 cm y una altura de 12” o su equivalente a 30 cm [39].

#### ***Durabilidad***

El American Concrete Institute (ACI) lo precisa como la facultad del concreto para resistir ante la abrasión, ataques físicos o químicos, el intemperismo u otro tipo de deterioro. Un concreto bien elaborado será durable en el tiempo, es decir conservará su forma y calidad al estar expuesto al ambiente [40].

También se puede decir que es la propiedad del concreto la cual le brinda la capacidad de soportar diversos ataques durante su vida útil, los cuales podrían significar una degradación de este. Dichos ataques pueden ser químicos, físicos, la abrasión, radiaciones y la meteorización [41].

## **Materiales y métodos**

### ***Tipo y nivel de Investigación***

#### ***Tipo de investigación***

##### ***Según la orientación***

Es considerada aplicada, ya que estuvo destinada a lograr adquirir nuevos conocimientos en base al objetivo de analizar la resistencia y durabilidad del concreto  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> con adición de nanoplacas de grafeno.

##### ***Según la técnica de contrastación***

Es considerada experimental, debido a que una de las variables fue manipulada con la finalidad de que la otra variable mejore.

##### ***Según la direccionalidad***

Es prospectiva, ya que en primero se estudió la causa y más adelante se mostraron los efectos.

##### ***Según el tipo de fuente de recolección de datos***

Es prolectiva, ya que la información se recolectó en simultáneo con la ocurrencia de los ensayos y la obtención de los resultados.

##### ***Según la comparación de las poblaciones***

Será comparativa, debido a que se necesita una comparación de variables y de esta manera poder verificar la hipótesis, en el antes y después de haber realizado la adición.

#### ***Nivel de investigación***

Es de nivel descriptivo, puesto que mediante esta investigación se evaluó la adición de nanoplacas de grafeno en distintos porcentajes, logrando así describir y comparar el comportamiento del concreto convencional y el concreto con adición de nanoplacas de grafeno.

### ***Diseño de investigación***

La investigación es experimental. Se contó con muestras experimentales para realizar ensayos y posteriormente se realizó una verificación del comportamiento de las propiedades del concreto con la adición de este nuevo nanomaterial.

### ***Población, muestra, muestreo***

#### ***Población***

Para esta investigación se ha considerado como población a las probetas cilíndricas, probetas prismáticas, dados de concreto y núcleos de concreto.

#### ***Muestra***

Se determinó la muestra a partir de la experiencia con la población, se contó con un total de 4 diferentes muestras, siendo la primera una muestra patrón de  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, las siguientes tres llevaron una adición de nanoplacas de grafeno en cantidades de 0.10%, 0.15% y 0.20% del peso de cemento.

#### ***Muestreo***

Se consideró un muestreo no probabilístico del tipo intencional. Teniendo como base las muestras, se elaboraron probetas cilíndricas las cuales se les aplicará el ensayo de compresión, módulo de elasticidad, y también para el ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión. Por otro lado, se elaboraron probetas prismáticas y dados de concreto los cuales fueron sometidos a los ensayos de durabilidad ante sulfato de sodio y sulfato de magnesio respectivamente. Además, se contó con núcleos de concreto para el ensayo de durabilidad al desgaste. A continuación, se describen las muestras de concreto por cada ensayo a realizar:

Tabla 4: Muestras de probetas cilíndricas para ensayo de Resistencia a Compresión con Cemento Tipo I y Tipo V

ENSAYO	TIPO	EDADES			TOTAL
		7 días	14 días	28 días	
Resistencia a la compresión	Cemento Tipo I				
	Muestra patrón	2	2	2	6
	Adición de 0.10% de nanoplacas de grafeno	2	2	2	6
	Adición de 0.15% de nanoplacas de grafeno	2	2	2	6
	Adición de 0.20% de nanoplacas de grafeno	2	2	2	6
	Cemento Tipo V				
	Muestra patrón	2	2	2	6
	Adición de 0.10% de nanoplacas de grafeno	2	2	2	6
	Adición de 0.15% de nanoplacas de grafeno	2	2	2	6
	Adición de 0.20% de nanoplacas de grafeno	2	2	2	6
Total:				48	

Fuente: Pertenencia del autor

Tabla 5: Muestras de probetas cilíndricas para ensayo de Módulo de Elasticidad con Cemento Tipo I y Tipo V

ENSAYO	TIPO	EDADES	TOTAL
		28 días	
Módulo de Elasticidad y Coeficiente de Poisson	Cemento Tipo I		
	Muestra patrón	2	2
	Adición de 0.10% de nanoplacas de grafeno	2	2
	Adición de 0.15% de nanoplacas de grafeno	2	2
	Adición de 0.20% de nanoplacas de grafeno	2	2
	Cemento Tipo V		
	Muestra patrón	2	2
	Adición de 0.10% de nanoplacas de grafeno	2	2
	Adición de 0.15% de nanoplacas de grafeno	2	2
	Adición de 0.20% de nanoplacas de grafeno	2	2
Total:			16

Fuente: Pertenencia del autor

*Tabla 6: Muestras de probetas prismáticas para ensayo de Durabilidad ante Sulfato de Sodio*

ENSAYO	TIPO	EIDADES		TOTAL
		105 días		
	Muestra patrón	3		3
Durabilidad al Sulfato de Sodio	Adición de 0.10% de nanoplacas de grafeno	3		3
	Adición de 0.15% de nanoplacas de grafeno	3		3
	Adición de 0.20% de nanoplacas de grafeno	3		3
			Total:	12

*Fuente: Pertenencia del autor*

*Tabla 7: Muestras de dados de concreto para ensayo de Durabilidad ante Sulfato de Magnesio*

ENSAYO	TIPO	EIDADES		TOTAL
		28 días		
	Muestra patrón	3		3
Durabilidad ante el Sulfato de Magnesio	Adición de 0.10% de nanoplacas de grafeno	3		3
	Adición de 0.15% de nanoplacas de grafeno	3		3
	Adición de 0.20% de nanoplacas de grafeno	3		3
				Total:

*Fuente: Pertenencia del autor*

*Tabla 8: Muestras de núcleos de concreto para ensayo de Durabilidad ante el Desgaste*

ENSAYO	TIPO	EIDADES		TOTAL
		28 días		
	Muestra patrón	3		3
Durabilidad ante el desgaste	Adición de 0.10% de nanoplacas de grafeno	3		3
	Adición de 0.15% de nanoplacas de grafeno	3		3
	Adición de 0.20% de nanoplacas de grafeno	3		3
				Total:

*Fuente: Pertenencia del autor*

*Tabla 9: Muestras de probetas cilíndricas para ensayo de Profundidad de penetración de agua bajo presión*

ENSAYO	TIPO	EDADES		TOTAL
		28 días		
Profundidad de penetración de agua bajo presión	Muestra patrón	3		3
	Adición de 0.10% de nanoplacas de grafeno	3		3
	Adición de 0.15% de nanoplacas de grafeno	3		3
	Adición de 0.20% de nanoplacas de grafeno	3		3
			Total:	12

*Fuente: Pertenencia del autor*

### ***Criterio de selección***

### ***Criterio de inclusión***

La presente investigación tiene los siguientes criterios de inclusión:

- Las nanoplacas de grafeno utilizadas para la evaluación fueron proporcionadas por la universidad.
- El sulfato de sodio y sulfato de magnesio usados fueron de uso comercial.
- El agregado fino ha sido procedente de la cantera “La Victoria” del distrito de Pátapo y el agregado grueso ha sido procedente de la cantera “Tres Tomas” del distrito de Mesones Muro.
- Se realizaron ensayos a los agregados para obtener su granulometría, porcentaje de absorción, contenido de humedad, peso específico y pesos unitario seco suelto y compactado.
- El diseño de mezcla del concreto se elaboró acorde a lo indicado por el ACI – 211.
- Para la elaboración del concreto se usó Cemento Tipo I en todos los ensayos y algunos ensayos ya descritos se usó adicionalmente Cemento Tipo V.
- El agua usada fue agua potable de la ciudad de Chiclayo.
- Se realizó una adición directa del nanomaterial, siendo introducido progresivamente en el agua del diseño y mezclado en el mismo (Anexo 02).
- Para las probetas cilíndricas se realizó el proceso de curado durante 28 días.
- Para las probetas prismáticas se realizó el proceso de curado durante 07 días.

En lo que respecta a los ensayos de resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, durabilidad ante sulfato de sodio, durabilidad ante sulfato de magnesio, durabilidad al desgaste y profundidad de penetración de agua bajo presión, se tiene los siguientes criterios:

#### ***Ensayo de resistencia a compresión***

Se tiene como referencia lo estipulado en la norma ASTM C 39, esta nos señala que el número de especímenes cilíndricos para la elaboración del ensayo debe ser 2 como mínimo. Para esta investigación se consideraron 2 probetas cilíndricas. Además, nos indica que las probetas deben ser cilíndricas de diámetro de 6” equivalente a 15 cm y una altura de 12” o su equivalente a 30 cm.

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

Se tiene como referencia lo indicado en la norma ASTM C 469, esta nos indica que el número de probetas necesarias para la elaboración del ensayo debe ser igual a 2, la primera probeta servirá para medir la carga máxima a la que puede ser sometida y la segunda será evaluada con el 40% de la carga máxima calculada anteriormente. Además, nos indica que las probetas deben ser cilíndricas de diámetro de 6” equivalente a 15 cm y una altura de 12” o su equivalente a 30 cm.

#### ***Ensayo de durabilidad ante sulfato de sodio***

Se tiene como referencia lo estipulado en la norma ASTM C 157 y ASTM C 1012, en estas se nos indica que el número de barras de concreto o probetas prismáticas para la elaboración del ensayo debe ser 3 como mínimo y el rango de valores máximos permisibles. Para esta investigación se considerarán 3 probetas prismáticas. Además, nos indica que las probetas deben tener dimensiones de 25x25x285 mm.

#### ***Ensayo de durabilidad ante sulfato de magnesio***

Se tiene como referencia lo estipulado en la norma ASTM C 88, la cual será una adaptación hacia el concreto partiendo de la idea que el concreto es un tipo de piedra ficticia. Teniendo en cuenta esto se deberán elaborar dados de concreto de 50x50x50 cm, de los cuales para cada muestra se contó con 3 dados con la finalidad de obtener un resultado factible.

### ***Ensayo de durabilidad ante el desgaste***

Se tiene como referencia lo estipulado en la norma ASTM C 944, en esta se nos indica que el número de núcleos o especímenes de concreto para la elaboración del ensayo debe ser 3 como mínimo. Para esta investigación se considerarán 3 núcleos para cada una de las muestras. Además, nos indica que los núcleos deben ser de diámetro igual a 150 mm y deben tener una altura no mayor a 100 mm.

### ***Ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión***

Se tiene como base lo estipulado en la norma UNE-EN 12390-8, esta nos indica que el número de probetas cilíndricas para la elaboración del ensayo debe ser 3 como mínimo. Para esta investigación se considerarán 3 probetas cilíndricas para cada una de las muestras. Además, nos indica que las probetas deben ser cilíndricas de diámetro de 6" equivalente a 15 cm y una altura de 12" o su equivalente a 30 cm.

### ***Criterio de exclusión***

Toda variable y ensayo que no se hayan mencionados, quedaron excluidos de la presente investigación.

### ***Hipótesis y Operacionalización de variables***

#### ***Hipótesis***

La adición de nanoplacas de grafeno logrará mejorar la resistencia a compresión del concreto  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> y además no afectará su durabilidad.

#### ***Operacionalización de variables***

##### ***Variable Independiente***

Nanoplacas de grafeno

##### ***Variable Dependiente***

Propiedades del concreto en estado endurecido.

*Tabla de operacionalización de variables*

*Tabla 10: Operacionalización de variable*

VARIABLE		DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDAD DE MEDICIÓN	MÉTODO DE MEDICIÓN (INSTRUMENTOS O NORMATIVAS)
TIPO	DESCRIPCIÓN				
INDEPENDIENTE	NANOPLACAS DE GRAFENO	Dosificación del concreto con adición de nanoplacas de grafeno	Adición de 0.10%, 0.15% y 0.20% del peso del cemento	%	-
DEPENDIENTE	PROPIEDADES DEL CONCRETO	ESTADO ENDURECIDO	Resistencia a la compresión	kg/cm <sup>2</sup>	ASTM C 39
			Módulo de Elasticidad	kg/cm <sup>2</sup>	ASTM C 469
			Durabilidad ante sulfato de sodio	%	ASTM C 1012 ASTM C 157
			Durabilidad ante sulfato de magnesio	g	ASTM C 88
			Durabilidad ante el desgaste	%	ASTM C 944
			Profundidad de penetración de agua bajo presión	mm	UNE-EN 12390-8
INTERVINIENTE	NANOPLACAS DE GRAFENO	PROPIEDADES FÍSICAS	Densidad	g/cm <sup>3</sup>	Ficha técnica del nanomaterial
	CEMENTO	TIPOS DE CEMENTOS	Tipo I	-	ASTM C 150
			Tipo V	-	ASTM C 150
	AGREGADOS	PROPIEDADES	Granulometría	%	ASTM C 136
			Contenido de humedad	%	ASTM C 566
			Porcentaje de absorción	%	ASTM C 127 ASTM C 128
			Peso específico	kg/m <sup>3</sup>	ASTM C 127 ASTM C 128
			Peso unitario seco y compactado	kg/m <sup>3</sup>	ASTM C 29

*Fuente: Pertenencia del autor*

### ***Técnica e instrumentos de recolección de datos***

La técnica de investigación fue la “Observación Directa”, ya que al mismo tiempo en el que se realizaron los ensayos de compresión, módulo de elasticidad, durabilidad ante sulfato de sodio, durabilidad ante sulfato de magnesio, durabilidad ante el desgaste y profundidad de penetración de agua bajo presión se observaron y tomaron nota de los valores obtenidos de acuerdo con sus unidades correspondientes. Como instrumento de recolección de datos se contó con una ficha de observación en la que se registraron todos los resultados de cada uno de los ensayos.

### ***Procedimientos***

A continuación, se muestra brevemente el procedimiento que se siguió para la elaboración de esta investigación:

- i. Inicialmente obtuvimos las nanoplacas de grafeno, las cuales fueron proporcionadas por la universidad y una vez obtenidas fueron trasladadas al laboratorio en donde a su debido tiempo formaron parte de la mezcla para posteriormente realizar los ensayos propuestos.
- ii. Luego se hizo la compra de los insumos necesarios para la obtención de concreto, tal como son el Cemento Tipo I, Cemento Tipo V, Sulfato de Sodio, Sulfato de Magnesio y los agregados procedentes de las canteras ya mencionadas, posteriormente todos estos fueron trasladados al laboratorio.
- iii. Ya en el laboratorio se inició con los ensayos de agregados, de este obtuvimos las características de: granulometría, contenido de humedad, porcentaje de absorción, peso específico y pesos unitario seco suelto y compactado.
- iv. Una vez obtenidos los resultados de los agregados, procedimos a realizar los diseños de mezcla de concreto para la muestra patrón y las muestras con adición de nanoplacas de grafeno.
- v. Con todos los materiales obtenidos y los diseños de mezclas de concreto elaborados, se prosiguió a realizar las mezclas propuestas y el llenado de los moldes de probetas cilíndricas y prismáticas. El proceso de curado duró 28 días para las probetas cilíndricas y 7 días para las probetas prismáticas.

- vi. Luego de esto se pasó a la fase de ensayos en la que se realizaron de acuerdo con los días establecidos, en estos medimos las propiedades del concreto en estado endurecido para todas las muestras:
- Para el ensayo de resistencia a compresión las probetas se ensayaron en una prensa hidráulica a los 7, 14 y 28 días.
  - Para el ensayo de módulo de elasticidad las probetas se ensayaron a la edad de los 28 días.
  - Para el ensayo de durabilidad ante sulfato de sodio, pasados los 7 días de curado las probetas prismáticas de concreto fueron sumergidas en una solución de agua y sulfato de sodio donde permanecieron en reposo durante 105 días. Los resultados fueron obtenidos en el lapso del mismo tiempo.
  - Para el ensayo de durabilidad ante sulfato de magnesio, a la edad de 28 días los dados fueron sometidos a cinco ciclos de inmersión en una solución con el sulfato y posteriormente secados mediante el horno.
  - Para el ensayo de durabilidad ante el desgaste los núcleos de concreto se ensayaron en la máquina de desgaste a los 28 días.
  - Para el ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión los especímenes de concreto se ensayaron en la máquina de presión de agua a una edad no menor de 28 días.
- vii. Finalizados todos los ensayos, se llenaron los valores en la ficha de información para así poder compararlos y corroborar lo formulado en la hipótesis.

Para un mayor detalle se muestra a continuación todo lo concerniente a los ensayos realizados y los pasos a realizar para el diseño de mezcla:

### ***Ensayos de laboratorio***

#### ***Ensayos de los agregados***

##### ***Granulometría de agregado fino y grueso***

###### a) Definición

Cuando se tienen materiales destinados a ser usados o ya vienen siendo empleados como áridos, a estos se les realiza un análisis granulométrico ya que gracias a esto se logra calcular la gradación de estos agregados. Este ensayo es esencial cuando se

requiere un adecuado control del cumplimiento en la distribución de las partículas, de tal modo que los datos obtenidos nos permitan lograr una correcta producción de conglomerados en los que estén incluidos dichos áridos. En esencia, el análisis granulométrico viene a ser el medio por el cual determinamos el tamaño de las partículas de nuestro agregado, siendo estos tamaños muy influyentes sobre las propiedades del concreto.

b) Normativa

MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA DETERMINAR EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS ÁRIDOS FINOS Y GRUESOS - ASTM C 136

c) Instrumentos y equipos

Los instrumentos y equipos necesarios son los siguientes:

- Vasijas metálicas
- Cucharón metálico
- Balanza, esta debe contar con ciertos requisitos en cuanto a lectura y precisión. Para el agregado fino tiene que contar con lecturas iguales a 0.1 g y para la precisión deberá ser igual a 0.1 g o 0.1% del total del agregado a ensayar. De igual manera, para el agregado grueso tanto para la lectura como para la precisión deberá ser de 0.5 g o 0.1% del total del agregado a ensayar.
- Tamices normados correspondiente a cada tipo de agregado
- Horno, el cual debe tener la capacidad de permanecer a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.

d) Procedimiento

- Para el agregado fino:

Iniciamos seleccionando nuestra muestra, la cual según la ASTM C 136 debe ser de una cantidad mínima igual a 300 g, para nuestro caso se tomó un total de 500 g (previamente secado en el horno durante 24 h).

Seguido a esto, se seleccionan los tamices correspondientes para el ensayo de agregado fino, los cuales son: 3/8", N° 04, N° 08, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100 y fondo.

Posteriormente vertimos nuestro agregado en los tamices, los cuales en conjunto deben ser zarandeados de manera circular para lograr así que cada tamiz retenga el agregado correspondiente de acuerdo con el tamaño de su malla.

Terminado el proceso anterior, se revisa cada tamiz para visualizar el agregado retenido en cada uno de estos para luego ser vertidos en un recipiente y ser pesados en la balanza (esta debe estar tarada).

Finalmente, ya con los datos obtenidos se procede a realizar los cálculos y elaborar la curva granulométrica, para así verificar que esta no sobrepase los husos granulométricos (curvas límites normalizadas).

- Para el agregado grueso:

Iniciamos seleccionando nuestra muestra, la cual según la ASTM C 136 debe ser de una cantidad mínima igual a 5000 g, para nuestro caso se tomó un total de 5000 g (previamente secado en el horno durante 24 h).

Seguido a esto, se seleccionan los tamices correspondientes para el ensayo de agregado grueso, los cuales son: 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", N° 04 y fondo.

Posteriormente vertimos nuestro agregado en los tamices, los cuales en conjunto deben ser zarandeados de manera circular para lograr así que cada tamiz retenga el agregado correspondiente de acuerdo con el tamaño de su malla.

Terminado el proceso anterior, se revisa cada tamiz para visualizar el agregado retenido en cada uno de estos para luego ser vertidos en un recipiente y ser pesados en la balanza (esta debe estar tarada).

Finalmente, ya con los valores conseguidos se procede a elaborar los cálculos y graficar la curva granulométrica, para así verificar que esta no sobrepase los husos granulométricos (curvas límites normalizadas).

e) Cálculo

En primer lugar, debemos calcular el porcentaje de peso retenido mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de peso retenido} = \frac{W_r}{W_s} \times 100\%$$

Donde:

$W_r$  = Peso retenido

$W_s$  = Peso seco de la muestra

Para el cálculo de este valor, al porcentaje que pasa por la malla anterior se le debe restar el porcentaje retenido en la malla donde se está efectuando el cálculo.

Por otra parte, tenemos la siguiente ecuación empleada para hallar el módulo de fineza:

$$MF = \frac{\sum \% \text{retenidos acumulados (3" + 1 1/2" + 3/4" + 3/8" + N°4 + N°8 + N°16 + N°30 + N°50 + N°100)}}{100}$$

Luego de estos cálculos se grafica la curva granulométrica, para la cual se debe tener ciertas consideraciones:

- En cuanto al agregado fino se debe tener como referencia a lo estipulado en el ASTM C 33 o en el ACI 911.1, en estos nos brindan ciertos requisitos granulométricos tal como el límite total del porcentaje pasante por cada tamiz.

*Tabla 11: Husos granulométricos para el agregado fino*

TAMIZ STANDARD (ABERTURA CUADRADA)			ASTM C-33 LIMITE TOTAL % PASANTE	
3/8"	9.520	mm	100	100
N° 4	4.750	mm	95	100
N° 8	2.360	mm	80	100
N° 16	1.180	mm	50	85
N° 30	0.600	mm	25	60
N° 50	0.300	mm	10	30
N° 100	0.150	mm	2	10

*Fuente: ASTM C 33*

- Así mismo en el agregado grueso se tiene como referencia al ASTM C33, en este se nos proporciona los requisitos granulométricos tal como los husos, los cuales son los límites en los que debemos evaluar nuestro agregado.

Tabla 12: Husos granulométricos para el agregado fino

Número De Tamaño	Tamaño Nominal (Tamices con abertura cuadrada)	Cantidades más finas que Cada Tamiz de Laboratorio (Abertura Cuadrada), Porcentaje Masa												
		100 mm (4 pulg)	90 mm (3½ pulg)	75 mm (3 pulg)	63 mm (2½ pulg)	50 mm (2 pulg)	37.5 mm (1½ pulg)	25 mm (1 pulg)	19 mm (¾ pulg)	12.5 mm (½ pulg)	9.5 mm (¾ pulg)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)
1	90 a 37.5 mm	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
2	63 a 37.5 mm	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
3	50 a 25 mm	...	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...
357	50 a 4.75 mm	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	...	0 a 5	...	...
4	37.5 a 19 mm	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...
467	37.5 a 4.75 mm	...	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	0 a 5	...	...
5	25 a 12.5 mm	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...	...
56	25 a 9.5 mm	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	...	...
57	25 a 4.75 mm	...	...	...	...	...	100	95 a 100	...	25 a 60	...	0 a 10	0 a 5	...
6	19 a 9.5 mm	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	...	...
67	19 a 4.75 mm	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	...	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...
7	12.5 a 4.745 mm	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	...
8	9.5 a 2.36 mm	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 30	0 a 5	0 a 5

Fuente: ASTM C 33

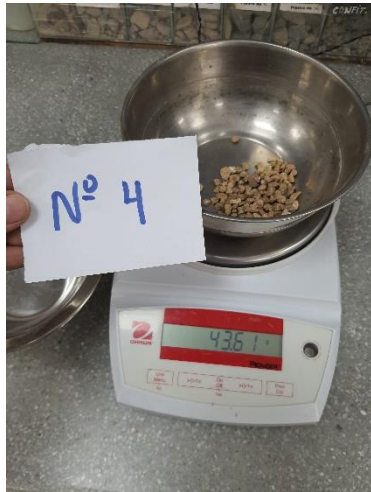
Para nuestro caso se ha tomado el Huso N°56, dado que el tamaño nominal es de 1" hasta 3/8". A continuación, se muestra el huso optado con sus respectivos límites:

Tabla 13: Huso N°56

HUSO N°56 (1" - 3/8")			
pulg.	mm.	Límite ASTM C33	
3"	75	-	-
2"	50	-	-
1 1/2"	38.1	100	100
1"	25	90	100
3/4"	19	40	85
1/2"	12.5	10	40
3/8"	9.5	0	15
N° 4	4.75	0	5
N° 8	2.36	-	-
N° 16	1.18	-	-

Fuente: ASTM C 33

## f) Imágenes de la realización del ensayo

*Ilustración 4: Tamices de laboratorio**Ilustración 5: Retirando muestra del horno**Ilustración 6: Peso del primer retenido - Agregado fino**Ilustración 7: Peso del primer retenido - Agregado grueso*

*Fuente: Pertenencia del autor*

**Contenido de humedad**

## a) Definición

El presente ensayo nos ayudará en la determinación de la cantidad de agua que posee nuestro agregado estando este en su estado natural. Se determinará tanto la

humedad superficial como la humedad presente en los poros de nuestro agregado, sin embargo, existen casos en que los minerales de ciertos agregados se encuentran combinados químicamente con el agua, dicha cantidad de agua no está comprendida dentro de este ensayo.

b) Normativa

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD EVAPORABLE DEL AGREGADO POR SECADO - ASTM C 566

c) Instrumentos y equipos

Los instrumentos y equipos necesarios son los siguientes:

- Vasijas metálicas
- Cucharón metálico
- Balanza, esta debe contar con ciertos requisitos en cuanto a lectura y precisión. Para el agregado fino tiene que contar con lecturas iguales a 0.1 g y para la precisión deberá ser igual a 0.1 g o 0.1% del total del agregado a ensayar. De igual manera, para el agregado grueso tanto para la lectura como para la precisión deberá ser de 0.5 g o 0.1% del total del agregado a ensayar.
- Horno, el cual debe tener la capacidad de permanecer a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.

d) Procedimiento

- Para el agregado fino:  
Como primer paso se deberá tomar una muestra representativa, la cual deberá ser de un total entre 500 g - 1000 g.  
Luego dicha muestra tomada, se colocará dentro del horno durante un lapso de 24 h a una temperatura de 110 °C.  
Finalmente, ya con el tiempo transcurrido y habiendo retirado la muestra del horno, este agregado fino ya seco tendrá que ser pesado.
- Para el agregado grueso:  
Como primer paso se deberá tomar una muestra representativa, la cual deberá ser un total de 5000 g.

Luego dicha muestra tomada, se colocará dentro del horno durante un lapso de 24 h a una temperatura de 110 °C.

Finalmente, ya con el tiempo transcurrido y habiendo retirado la muestra del horno, este agregado grueso ya seco tendrá que ser pesado.

e) Cálculo

Para calcular el contenido de humedad evaporable se deberá realizar a través de la ecuación que se muestra a continuación:

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{(W - D)}{D} \times 100$$

Donde:

W = Peso en gramos de la muestra estando este es su estado natural.

D = Peso en gramos de la muestra después de haber sido retirada del horno.

Y para calcular la humedad superficial, a la humedad evaporable se le deberá restar la absorción.

f) Imágenes de la realización del ensayo

*Ilustración 8: Muestra húmeda - Agregado fino*



*Ilustración 9: Muestra seca - Agregado fino*



*Ilustración 10: Muestra húmeda - Agregado grueso*



*Ilustración 11: Muestra seca - Agregado grueso*



*Fuente: Pertenencia del autor*

### ***Peso específico y Absorción***

#### a) Definición

En cada muestra de áridos el peso específico es calculado en estado seco y húmedo, a resultados más altos nos dará a entender que nuestro agregado está en condiciones ideales. Además, si nuestro agregado tiene una porosidad alta significará que es muy absorbente.

#### b) Normativa

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA), Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO – ASTM C 127

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA), Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO – ASTM C 128

#### c) Instrumentos y equipos

Las herramientas y aparatos indispensables son los siguientes:

- Vasijas metálicas
- Balde
- Canastilla
- Fiola
- Balanza, esta debe contar con ciertos requisitos en cuanto a lectura y precisión. Para el agregado fino tiene que contar con lecturas iguales a 0.1 g y para la precisión deberá ser igual a 0.1 g o 0.1% del total del agregado a ensayar. De igual manera, para el agregado grueso tanto para la lectura como para la precisión deberá ser de 0.5 g o 0.1% del total del agregado a ensayar.
- Horno, el cual debe tener la capacidad de permanecer a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.

d) Procedimiento

- Para el agregado fino:  
Como primer paso se deberá tomar una muestra representativa, la cual deberá ser de un total de 500 g, esta previamente debió ser tamizada por la malla N° 04.  
Luego dicha muestra tomada se coloca dentro de la fiola y esta se llena con agua destilada.  
Ya con la muestra dentro de la fiola y llena con agua destilada, se debe agitar constantemente con el propósito de extraer todas las burbujas de aire atrapado. Posteriormente, ya habiendo extraído todas las burbujas de aire, a la fiola se deja reposar durante 24 horas.  
Pasadas las 24 horas, se vierte la muestra en un recipiente, el cual deberá ser pesado antes y después de haber vertido la muestra, para que luego sea colocado dentro del horno durante un lapso de 24 horas a una temperatura de 110 °C.  
Finalmente, ya con el tiempo transcurrido y habiendo retirado la muestra del horno, tendrá que ser pesada.
- Para el agregado grueso:  
Como primer paso se deberá tomar una muestra representativa, del cual todo el material que pase por la malla N° 04 no será tomado en cuenta.

Ya habiendo obtenido la muestra, se deberá lavar con el fin de eliminar impurezas para posteriormente sumergirla en un balde con agua durante un lapso de 24 horas.

Pasadas las 24 horas debemos pesar la muestra, no sin antes habiéndola retirado del agua y dejándola expuesta a temperatura ambiente para que seque.

Posteriormente, ya teniendo la muestra saturada superficialmente seca, se debe colocar en la canastilla par así obtener su peso en agua.

Luego dicha muestra, se colocará dentro del horno durante un lapso de 24 horas a una temperatura de 110 °C.

Finalmente, ya con el tiempo transcurrido y habiendo retirado la muestra del horno, este agregado grueso se deberá dejar expuesto a temperatura ambiente para que así logré enfriarse y posterior a ello ser pesado.

e) Cálculo

Se emplean las siguientes ecuaciones para el cálculo del grado de absorción y peso específico del agregado grueso y fino:

- Grado de absorción para ambos agregados

$$GRADO DE ABSORCIÓN = \frac{(PSSS - PS) \times 100}{PS}$$

- Peso específico del agregado grueso

$$PESO ESPECÍFICO = \frac{PS}{PSSS - PW}$$

- Peso específico del agregado fino

$$PESO ESPECÍFICO = \frac{PS}{PSSS - PA}$$

Donde:

PS = Peso de la muestra seca al horno

PSSS = Peso de la muestra saturada superficialmente seca

PA = Peso del agua destilada

PW = Peso de la muestra sumergida

## f) Imágenes de la realización del ensayo

*Ilustración 12: Saturación del agregado grueso durante 24 horas*



*Ilustración 13: Secado superficialmente del agregado grueso*



*Ilustración 14: Tamizado del agregado fino por la malla N° 04*



*Ilustración 15: Extracción de las burbujas de aire atrapado en la fiola*



*Fuente: Pertenencia del autor*

### ***Peso volumétrico o unitario***

#### a) Definición

Este ensayo nos brindará el valor del peso de una muestra en específico dentro de un recipiente con volumen conocido, es decir obtendremos el valor de la densidad de masa comúnmente conocido como peso unitario, el cual se obtendrá en estado suelto y compactado.

#### b) Normativa

MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD APARENTE ("PESO UNITARIO") E ÍNDICE DE HUECOS EN LOS ÁRIDOS – ASTM C 29

#### c) Instrumentos y equipos

Los instrumentos y equipos necesarios son los siguientes:

- Cucharón metálico
- Brocha
- Molde de probeta
- Varilla
- Martillo de goma
- Balanza

#### d) Procedimiento

- Peso volumétrico suelto

En primer lugar, se debe pesar el molde de probeta totalmente vacío.

Acto seguido se comienza a llenar el molde con el material respectivo, este debe ser vertido desde una altura aproximadamente igual a 20 cm (no exceder de 50 cm de altura).

Una vez lleno se procede a enrasar con ayuda de la varilla.

Finalmente, se limpian los excedentes con la brocha y procedemos a pesar.

- Peso volumétrico compactado:

En primer lugar, se debe pesar el molde de probeta totalmente vacío.

Acto seguido se comienza a llenar el molde con el material respectivo, este debe ser vertido desde una altura aproximadamente igual a 20 cm (no exceder de 50 cm de altura). Se debe llenar progresivamente en 3 capas, en cada una de estas antes de pasar a la siguiente, se debe varillar 25 veces y dar 15 golpes con el martillo de goma.

En cuanto este repleto se procede a enrasar empleando una varilla.

Finalmente, deben limpiarse los excedentes con la brocha y procedemos a pesar.

e) Cálculo

Para calcular el peso unitario seco suelto y compactado del agregado fino y grueso se deberá realizar a través de las siguientes ecuaciones:

$$PESO\ UNITARIO = \frac{PM}{VM}$$

Donde:

PM = Peso de la muestra

VM = Volumen del molde

f) Imágenes de la realización del ensayo

*Ilustración 16: Peso unitario suelto del agregado fino - Peso "A"*



*Ilustración 17: Peso unitario compactado del agregado fino - Peso "A"*



*Ilustración 18: Peso unitario suelto del agregado grueso - Peso "A"*



*Ilustración 19: Peso unitario compactado del agregado grueso - Peso "A"*



*Fuente: Pertenencia del autor*

### ***Ensayos del concreto en estado fresco***

#### ***Elaboración y curado de probetas de cilíndricas***

##### **a) Definición**

Este ensayo nos indica los requerimientos mínimos a realizar durante la elaboración de los especímenes de concreto (probetas), de la misma manera se dan pautas para el proceso de curado, protección y transporte; todo esto bajo circunstancias tanto de laboratorio como de campo (obra).

##### **b) Normativa**

PRÁCTICA NORMALIZADA PARA LA PREPARACIÓN Y CURADO DE ESPECÍMENES DE ENSAYO DE CONCRETO EN LA OBRA – ASTM C 31

PRÁCTICA ESTÁNDAR PARA HACER Y CURAR ESPECÍMENES DE PRUEBA DE CONCRETO EN EL LABORATORIO – ASTM C 192

##### **c) Instrumentos y equipos**

Los instrumentos y equipos necesarios son los siguientes:

- Baldes

- Badilejo rectangular
- Cucharón metálico
- Varilla metálica
- Martillo de goma
- Moldes de probetas cilíndricas y prismáticas
- Cono de Abrams
- Balanza
- Mezcladora de concreto

#### d) Procedimiento

Como primer paso se deberá habilitar los moldes de las probetas, estos se deben encontrar limpios y libres de cualquier residuo (especialmente en el interior del molde).

Luego se debe a pesar todos los materiales necesarios de acuerdo con lo calculado en nuestro diseño de mezcla.

Posteriormente, todos los materiales serán colocados dentro de la mezcladora de concreto hasta lograr obtener nuestra mezcla de concreto.

Después realizamos el ensayo de asentamiento, en el cual se usará el Cono de Abrams para medir y verificar que logremos obtener el slump calculado.

Ya habiendo obtenido el slump, empezamos a llenar los moldes, de los cuales se deben llenar progresivamente en 3 capas, en cada una de estas antes de pasar a la siguiente, se debe varillar 25 veces y dar 15 golpes con el martillo de goma.

Luego con ayuda del badilejo debemos enrasar tratando de dejar la superficie lo más plana posible.

Finalmente, después de haber culminado el llenado de todas las probetas, debemos esperar 24 horas para realizar el desencofrado y acto seguido ser colocadas dentro de una poza de curado (verificar que el nivel del agua este por encima de la parte superior de las probetas).

#### e) Cálculo

No se realiza ningún cálculo

## f) Imágenes de la realización del ensayo

*Ilustración 20: Preparación del concreto y verificando del slump de diseño*



*Ilustración 21: Fraguado de las muestras del diseño patrón*



*Ilustración 22: Desencofrado de probetas y traslado a poza de curado*



*Ilustración 23: Proceso de curado*



*Fuente: Pertenencia del autor*

## *Ensayos del concreto en estado endurecido*

### *Ensayo de resistencia a la compresión*

#### a) Definición

Este ensayo nos permite hallar la capacidad de resistencia a la compresión que son capaces de soportar nuestras probetas cilíndricas de concreto, de esta manera obtenemos el valor de una propiedad mecánica fundamental expresada en unidades de  $\text{kg/cm}^2$ .

Se debe tener en cuenta que para la resistencia de  $210 \text{ kg/cm}^2$ , las probetas deben ser cilíndricas de diámetro de 6" equivalente a 15 cm y una altura de 12" o su equivalente a 30 cm.

#### b) Normativa

MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA ESFUERZO DE COMPRESIÓN EN ESPECIMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO – ASTM C 39

#### c) Instrumentos y equipos

Los instrumentos y equipos necesarios son los siguientes:

- Máquina de ensayo de compresión
- Placas y disco

#### d) Procedimiento

Como primer paso se deberá sacar la probeta de la poza y esperar hasta que se encuentre superficialmente seca, adicionalmente se tiene en consideración ciertas tolerancias para la realización del ensayo de acuerdo con el día, se precisan en lo siguiente:

*Tabla 14: Tolerancia de tiempo del ensayo a compresión*

<b>EDAD</b>	<b>TOLERANCIA DE TIEMPO DE ENSAYO</b>
24 horas	$\pm 0.5$ horas
3 días	2 horas
7 días	6 horas
28 días	20 horas

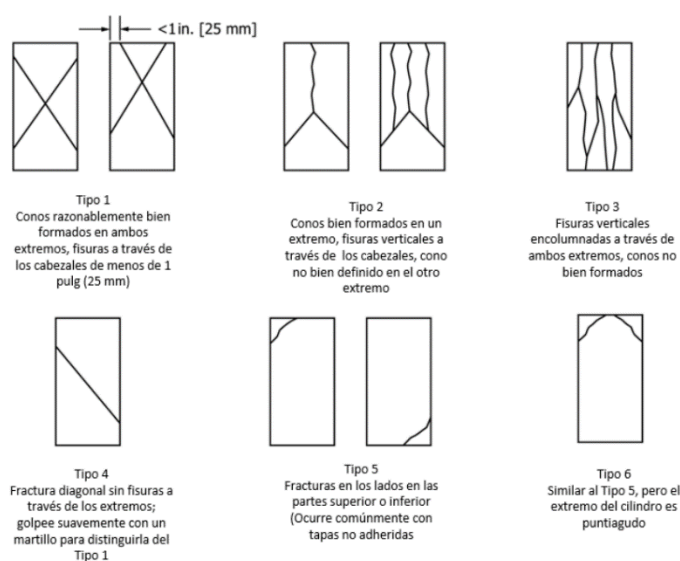
*Fuente: ASTM C 39*

Luego se debe instalar el espécimen a ensayar en la máquina de compresión verificando que se encuentre totalmente centrada de tal manera que se esté alineada con la placa superior e inferior.

Posteriormente, se verifica que el indicador de carga se encuentre en cero y se inicia con la aplicación de la carga.

Finalmente, la probeta al haber llegado a su capacidad última, tomamos nota del valor proporcionado por la maquina e identificamos el tipo de falla al que corresponda.

*Ilustración 24: Esquema de tipos de fallas típicos en el ensayo de resistencia a la compresión*



*Fuente: ASTM C 39*

#### e) Cálculo

El cálculo de resistencia a compresión expresada en kg/cm<sup>2</sup> se deberá realizar a través de la siguiente ecuación:

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

Donde:

R = Resistencia a la compresión

P = Máxima carga

A = Área de la probeta

## f) Imágenes de la realización del ensayo

*Ilustración 25: Extracción de especímenes culminado el proceso de curado*



*Ilustración 26: Instalación de espécimen en la máquina de compresión*



*Ilustración 27: Capacidad última*



*Ilustración 28: Identificación de tipo de falla*



*Fuente: Pertenencia del autor*

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

#### a) Definición

Este ensayo nos permite conocer la relación, expresada en un valor, que existe entre el esfuerzo y deformación, de la misma manera sucede con la deformación lateral y longitudinal.

Todo esto se obtiene mediante el empleo de probetas cilíndricas de diámetro de 6” equivalente a 15 cm y una altura de 12” o su equivalente a 30 cm.

#### b) Normativa

MÉTODO ESTÁNDAR DE ENSAYO PARA MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACIÓN DE POISSON DEL CONCRETO EN COMPRESIÓN - ASTM C 469

#### c) Instrumentos y equipos

Las herramientas y aparatos indispensables son los siguientes:

- Máquina de compresión
- Calibrador
- Compresómetro
- Extensómetro

#### d) Procedimiento

Como primer paso se deberá contar con dos probetas, de las cuales la primera será colocada en la máquina de compresión para así poder obtener la carga máxima a la que puede estar sometida.

Luego se debe tomar nota de la resistencia máxima alcanzada.

Posteriormente, se verifica las medidas de la probeta tomando medidas de su diámetro desde dos direcciones perpendiculares entre ellas.

Acto seguido, instalamos el compresómetro y extensómetro.

Finalmente, para obtener los resultados instalamos el espécimen en la máquina de compresión y lo sometemos al 40% de la fuerza máxima de resistencia obtenida anteriormente en la otra probeta.

## e) Cálculo

Para calcular el módulo de elasticidad se deberá realizar a través de la siguiente ecuación:

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0.00005}$$

Donde:

$S_1$  = El valor del esfuerzo cuando la  $\varepsilon_1$  es igual a 0.00005

$S_2$  = El 40% del esfuerzo último

$\varepsilon_2$  = El valor de deformación unitaria para el  $S_2$

## f) Imágenes de la realización del ensayo

*Ilustración 29: Equipos e instrumentos para medir el módulo de elasticidad*



*Ilustración 30: Preparación de los equipos en la probeta*



*Ilustración 31: Instalación del espécimen en la máquina de compresión*



*Ilustración 32: Valor del dial*



*Fuente: Pertenencia del autor*

### ***Ensayo de durabilidad ante sulfato de sodio***

#### **a) Definición**

Este ensayo nos permite conocer la posible variación de longitud las barras de concreto o probetas prismáticas luego de haber permanecido sumergidas en una solución de agua con sulfato de sodio. Esta variación deberá cumplir con lo estipulado por la normativa.

Se debe tener en cuenta que las probetas deben ser prismática de sección transversal igual a 25 x 25 mm y debe contar con una longitud igual a 285 mm.

#### **b) Normativa**

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA CAMBIO DE LONGITUD DE MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO ENDURECIDO Y CONCRETO – ASTM C 157**

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA CAMBIO DE LONGITUD DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO EXPUESTOS A UNA SOLUCIÓN DE SULFATO – ASTM C 1012**

c) Instrumentos y equipos

Los instrumentos y equipos necesarios son los siguientes:

- Sulfato de sodio
- Moldes de acero inoxidable
- Tornillos de acero inoxidable
- Horno
- Máquina de comparación de longitud

d) Procedimiento

- Para la solución de agua con sulfato de sodio

Como primer paso se deberá disolver en agua el sulfato de sodio, para lo cual por cada 900 ml de agua se deberá mezclar con 50 g de sulfato de sodio. Este proceso será realizado 24 horas antes de sumergir las barras y durante ese transcurso de tiempo la solución tendrá que permanecer cubierta y a una temperatura de aproximadamente 23 °C

Luego de esto, se debe medir el ph de la solución antes de sumergir las barras, ya que la solución debe tener un ph entre 6 a 8 y en caso de no ser así se rechaza.

- Para las probetas prismáticas o barras de concreto

Ya habiendo vaciado y desencofrado las barras, como primer paso se deberá sumergir en agua potable para cumplir el proceso de curado durante 7 días.

Transcurrido ese tiempo, se empleará la máquina de comparación de longitud para medir las barras antes de ser sumergidas a la solución, cabe resaltar que estas cuentan con unos tornillos para lograr una mejor precisión en la medición de su longitud.

Luego de esto, sumergimos las barras en la solución y permanecerán en reposo durante 105 días.

Finalmente, pasadas las 15 semanas se retiran las barras de la solución y se procede a medirlas para así lograr comprobar si existe alguna variación en su longitud.

Nota: Antes de cada medición la máquina debe ser previamente calibrada.

## e) Cálculo

Para calcular la variación de longitud expresada en mm se deberá realizar a través de la siguiente ecuación:

$$V = \frac{L_f - L_i}{L_g} \times 100$$

Donde:

V = Variación de longitud (%)

L<sub>i</sub> = Longitud inicial

L<sub>f</sub> = Longitud final

L<sub>g</sub> = Longitud nominal, en nuestro caso es igual a 285 mm

## f) Imágenes de la realización del ensayo

*Ilustración 33: Preparación de las muestras*



*Ilustración 34: Máquina de comparación de longitud y Calibrador*



*Ilustración 35: Calibración*



*Ilustración 36: Máquina y probetas prismáticas listas para la toma de medidas*



*Ilustración 37: Toma de medidas*



*Ilustración 38: Sulfato de sodio*



*Fuente: Pertenencia del autor*

### ***Ensayo de durabilidad ante sulfato de magnesio***

#### **a) Definición**

Este ensayo nos permite verificar la inalterabilidad de dados de concreto luego de haber permanecido sumergidas en una solución de agua con sulfato de magnesio. Cabe

volver a señalar, que este ensayo es una adaptación basándose en que el concreto es una piedra artificial.

Se debe tener en cuenta que los dados de concreto deben ser de dimensiones iguales a 50x50x50 mm.

b) Normativa

DETERMINACIÓN DE LA INALTERABILIDAD DE AGREGADOS POR MEDIO DE SULFATO DE SODIO O SULFATO DE MAGNESIO – ASTM C 88

c) Instrumentos y equipos

Los instrumentos y equipos necesarios son los siguientes:

- Sulfato de magnesio
- Moldes de madera para dados
- Tornillos
- Balanza
- Horno
- Agua destilada

d) Procedimiento

- Para la solución de agua con sulfato de sodio

Como primer paso se deberá disolver en agua el sulfato de magnesio, para lo cual por cada 1000 ml de agua se deberá mezclar con 1400 g de sulfato de sodio. Este proceso será realizado 48 horas antes de sumergir los dados, ya que una vez culminado el mezclado deberá permanecer en reposo durante ese mismo lapso.

- Para los dados de concreto

Ya habiendo vaciado y desencofrado los dados, como primer paso se deberán colocar en el horno durante 24 horas-

Transcurrido ese tiempo, se empleará una balanza para poder registrar sus pesos en estado seco.

Luego de esto, sumergimos los dados en la solución y permanecerán en reposo durante 105 días.

Pasadas las 15 semanas se retiran los dados de la solución y se les realiza un lavado con agua destilada durante 15 minutos, de esta manera nos aseguramos de que queden libres de la solución de sulfato.

Ya con las muestras limpias, éstas se colocarán en el horno durante 24 horas y finalmente transcurrido ese tiempo, se pesan cada uno de los dados.

e) Cálculo

Para calcular la inalterabilidad de los dados de concreto expresada en g se deberá realizar a través de la siguiente ecuación:

$$V = P_F - P_I$$

Donde:

V = Variación de peso

P<sub>I</sub> = Peso inicial

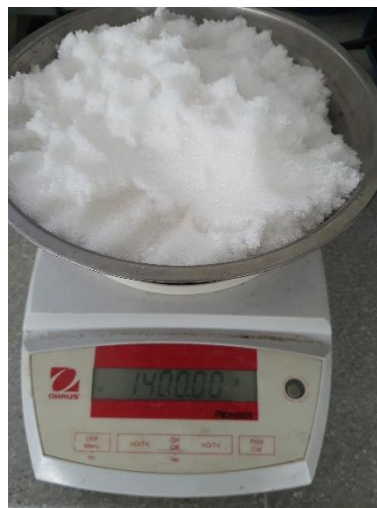
P<sub>F</sub> = Peso final

f) Imágenes de la realización del ensayo

*Ilustración 39: Preparación de especímenes*



*Ilustración 40: Sulfato de magnesio*



*Ilustración 41: Peso seco tomado a un dado de concreto*



*Ilustración 42: Moldes de metal para dados de 50x50x50 mm*



*Fuente: Pertenencia del autor*

### ***Ensayo de durabilidad por desgaste***

#### **a) Definición**

Este ensayo nos permite conocer resistencia que tiene el concreto frente a la acción de un desgaste relativo. Se aplica a núcleos o especímenes de concreto a la edad de 28 días.

Debe tenerse en cuenta que los especímenes deben ser cilíndricos de diámetro de 6" equivalente a 150 mm y de una altura no mayor a 100 mm.

#### **b) Normativa**

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE SUPERFICIES DE HORMIGÓN O MORTTERO MEDIANTE EL MÉTODO DEL CORTADOR GIRATORIO– ASTM C 944

#### **c) Instrumentos y equipos**

Los instrumentos y equipos necesarios son los siguientes:

- Balanza
- Cortador Giratorio
- Taladro de desgaste

- Cronómetro

d) Procedimiento

En primer lugar, se debe verificar que los núcleos cuenten con las medidas indicadas por la norma, estos deben tener un diámetro igual 150 mm y deben tener una altura no mayor a 100 mm. De no contar con estas medidas, con la ayuda de la cortadora giratoria se deberá cortar una probeta a esas medidas.

Luego debemos pesar cada uno de los especímenes a ensayar, para así obtener su masa inicial.

Posteriormente, se colocarán los especímenes en la máquina y se dará inicio al ensayo, aquí taladro de desgaste irá a 200 rpm durante 2 minutos en 3 ciclos. En cada uno de los tres ciclos, se debe tomar el peso del espécimen.

Finalmente, finalizado el proceso y habiendo obtenido los pesos luego de cada ciclo, tenemos que realizar el cálculo en donde se verá expresado el desgaste en porcentaje.

e) Cálculo

Para calcular la variación de longitud expresada en mm se deberá realizar a través de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{W_i - W_F}{W_i} \times 100$$

Donde:

$W_i$  = Peso inicial

$W_f$  = Peso después de cada ciclo

## f) Imágenes de la realización del ensayo

*Ilustración 43: Medidas de corte**Ilustración 44: Cortadora giratoria para extraer los núcleos de concreto**Ilustración 45: Núcleo de concreto**Ilustración 46: Rodillo de desgaste*

*Ilustración 47: Máquina de desgaste**Ilustración 48: Inicio del ciclo del primer ciclo de desgaste*

*Fuente: Pertenencia del autor*

### ***Ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión***

#### **a) Definición**

Este ensayo también conocido como permeabilidad del concreto nos permite conocer la profundidad de penetración sobre los especímenes que tienen bajo presión.

Se debe tener en cuenta que los especímenes (probetas) deben ser cilíndricas de diámetro de 6" equivalente a 15 cm y una altura de 12" o su equivalente a 30 cm.

#### **b) Normativa**

UNE 12390-8: PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN DE AGUA BAJO PRESIÓN

#### **c) Instrumentos y equipos**

Los instrumentos y equipos necesarios son los siguientes:

- Calibrador
- Cepillo de alambre
- Máquina de presión de agua

d) Procedimiento

Como primer paso luego de tener nuestras probetas a una edad no menor a 28 días, se deberá cepillar una de las caras con la finalidad de lograr obtener una superficie uniforme e idónea para el ensayo.

Luego debemos llenar los tanques de agua, de esta manera preparara la máquina para realizar el ensayo. Adicionalmente también se tiene liberar el posible aire atrapado que puede encontrar en el interior de las tuberías de conducción.

Posteriormente, se colocarán las probetas en la máquina, las cuales irán sobre unos anillos de goma y por la parte superior tendrán un tornillo, el cuál ejercerá una presión con la finalidad de que no se generen filtraciones.

Acto seguido, desde la parte inferior se empezará a ejercer una presión equivalente a 500 kPa durante el lapso de 3 días.

Finalmente, transcurrido el tiempo de 72 horas las probetas son retiradas de la máquina y se secan las caras a ensayar. Para obtener los resultados sometemos las probetas al ensayo brasileño, de esta manera logramos partir la probeta en dos mitades con la finalidad de poder apreciar y medir la profundidad máxima que ha logrado penetrar el agua.

e) Cálculo

No se realiza ningún cálculo

## f) Imágenes de la realización del ensayo

*Ilustración 49: Máquina de penetración de agua*



*Ilustración 50: Probetas bajo presión de agua*



*Ilustración 51: Verificación de presión*



*Ilustración 52: Retiro de probetas*



*Ilustración 53: Marca de presión ejercida por el agua sobre las probetas*



*Ilustración 54: Rotura de probetas*



*Ilustración 55: Delimitación de la profundidad previa medición*



*Ilustración 56: Toma de profundidad de penetración*



*Fuente: Pertenencia del autor*

### *Diseño de mezcla*

El diseño de mezcla elaborado en esta investigación tiene como referencia a lo establecido por el American Concrete Institute – ACI, en el cual establece una secuencia con un conjunto de tablas obtenidas de forma empírica, las cuales nos permitirán calcular para cada componente la cantidad necesaria. El procedimiento por seguir es el siguiente:

- i. Se establece la resistencia a la compresión deseada, para este caso necesitamos que nuestro concreto logre una resistencia igual a 210 kg/cm<sup>2</sup>.
- ii. Determinamos de la resistencia requerida ( $f'_{cr}$ ), debido a que no se cuenta con datos para calcular la desviación estándar tenemos que hacer uso del siguiente recurso:

*Tabla 15: Resistencia requerida cuando no se cuenta con ningún dato estadístico*

Resistencia Especificada $F'c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Requerida $F'cr$ (kg/cm <sup>2</sup> )
$F'c < 210$	$F'cr = F'c + 70$
$210 \leq F'c \leq 350$	$F'cr = F'c + 84$
$F'c \geq 350$	$F'cr = F'c + 98$ $F'cr = 1.10 F'c + 50$

*Fuente: ACI 211*

- iii. Escogemos el Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso (TMN), el cual es obtenido del ensayo de granulometría
- iv. Seleccionamos el asentamiento (Slump) de acuerdo con el tipo de estructura.

*Tabla 16: Slump recomendado de acuerdo con el tipo de estructura*

Tipo de Estructura	Slump	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	3"	1"
Cimentaciones simples y estructuradas	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas	4"	1"
Muros y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"

*Fuente: ACI 211*

- v. Determinamos el contenido de aire en base a nuestro TMN.

*Tabla 17: Contenido de aire atrapado*

TNM del agregado Grueso	Aire Atrapado %
3/8"	3.0
1/2"	2.5
3/4"	2.0
1"	1.5
1 1/2"	1.0
2"	0.5
3"	0.3
4"	0.2

*Fuente: ACI 211*

- vi. Definimos el contenido de agua, de acuerdo con el slump y TMN.

*Tabla 18: Volumen de agua por m<sup>3</sup> (en lts)*

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

*Fuente: ACI 211*

- vii. Determinamos la relación agua/cemento, para su selección se tendrá en cuenta si se toma por resistencia requerida o por durabilidad. Además, si no se encuentra el valor seleccionado se deberá interpolar.

Tabla 19: Relación a/c por resistencia ( $f'_{cr}$ )

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS ( $f'_{cr}$ ) (kg/cm <sup>2</sup> )*	RELACION AGUA/CEMENTO DE DISEÑO EN PESO	
	CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO	CONCRETO CON AIRE INCORPORADO
450	0.38	---
400	0.43	---
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

Fuente: ACI 211

- viii. Calculamos la cantidad de cemento, la cual se obtiene dividiendo los valores tomados anteriormente siendo estos: (6)/(7)
- ix. Calculamos de los pesos de los agregados: Seleccionamos el peso del agregado grueso por unidad de volumen de concreto, proporcionado a través del valor de b/bo. Posteriormente calculamos los volúmenes absolutos para obtener el volumen absoluto del agregado fino y peso en seco.

Tabla 20: Peso del agregado por unidad de volumen de concreto

Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso	Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos de fineza del fino			
	2,40	2,60	2,80	3,00
3/8"	0,50	0,48	0,46	0,44
1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4"	0,66	0,64	0,62	0,60
1"	0,71	0,69	0,67	0,65
1 1/2"	0,76	0,74	0,72	0,70
2"	0,78	0,76	0,74	0,72
3"	0,81	0,79	0,77	0,75
6"	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente: ACI 211

- x. Ahora tenemos nuestro diseño de mezcla en condiciones secas.
- xi. Realizamos la corrección del diseño por el aporte de humedad de los agregados.
- xii. Calculamos del agua efectiva
- xiii. Ahora tenemos nuestro diseño de mezcla en condiciones húmedas.
- xiv. Calculamos las proporciones en peso y cantidad de materiales por tanda (por bolsa de cemento).

## ***Plan de procesamiento***

### ***Fase I: Compilación de información previa***

1. Recolección de investigaciones bibliográficas.
2. Recopilación de antecedentes tales como proyectos previos similares.
3. Verificación con la normativa internacional y nacional vigente.

### ***Fase II: Adquisición de los materiales, realización de ensayos y procesamiento de datos***

1. Obtención de las nanoplacas de grafeno, cemento, sulfato de sodio y agregados.
2. Ensayo para los agregados.
3. Elaboración de probetas cilíndricas.
4. Ensayo de resistencia a la compresión.
5. Ensayo de módulo de elasticidad.
6. Ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión.
7. Elaboración de núcleos o especímenes de concreto.
8. Ensayo de durabilidad ante el desgaste.
9. Elaboración de probetas prismáticas.
10. Ensayo de durabilidad ante sulfato de sodio.
11. Elaboración de dados de concreto
12. Ensayo de durabilidad ante sulfato de magnesio.
13. Los datos obtenidos serán procesados mediante tablas y gráficas estadísticas que describan de forma sencilla los resultados obtenidos en los ensayos.

### ***Fase III: Análisis de resultados***

1. Análisis comparativo de los resultados de todos los ensayos para cada una de las muestras.
2. Elaborar las conclusiones y recomendaciones.

### ***Fase IV: Presentación Final***

1. Definición de fecha y sustentación final.
2. Presentación de la investigación al jurado.
3. Levantamiento de observaciones.
4. Revisión final.



### *Aspectos éticos*

Se evaluó la influencia de adicionar nanoplacas de grafeno sobre un concreto  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> mediante la realización de ensayos de laboratorio, de los cuales se ha seguido el correcto procedimiento de acuerdo con lo estipulado en su normativa correspondiente. De la misma manera existe un total compromiso por parte del investigador en lo que respecta a los resultados obtenidos, todos estos han sido registrados con total autenticidad y fidelidad.

De igual manera, todas las referencias que han servido para la elaboración de esta tesis han sido citadas correspondientemente.

## Resultados y discusión

En esta sección se mostrarán los resultados obtenidos de los ensayos realizados a los agregados (fino y grueso) y de los ensayos al concreto tales como: Resistencia a la compresión, Módulo de elasticidad, Durabilidad ante sulfato de sodio, Durabilidad ante sulfato de magnesio, Durabilidad ante el desgaste y Profundidad de penetración de agua bajo presión.

### Resultados de los ensayos a los agregados

#### Análisis granulométrico por tamizado

##### Análisis granulométrico por tamizado del agregado fino

Tabla 22: Granulometría del agregado fino - Cantera "La Victoria" - Pátapo

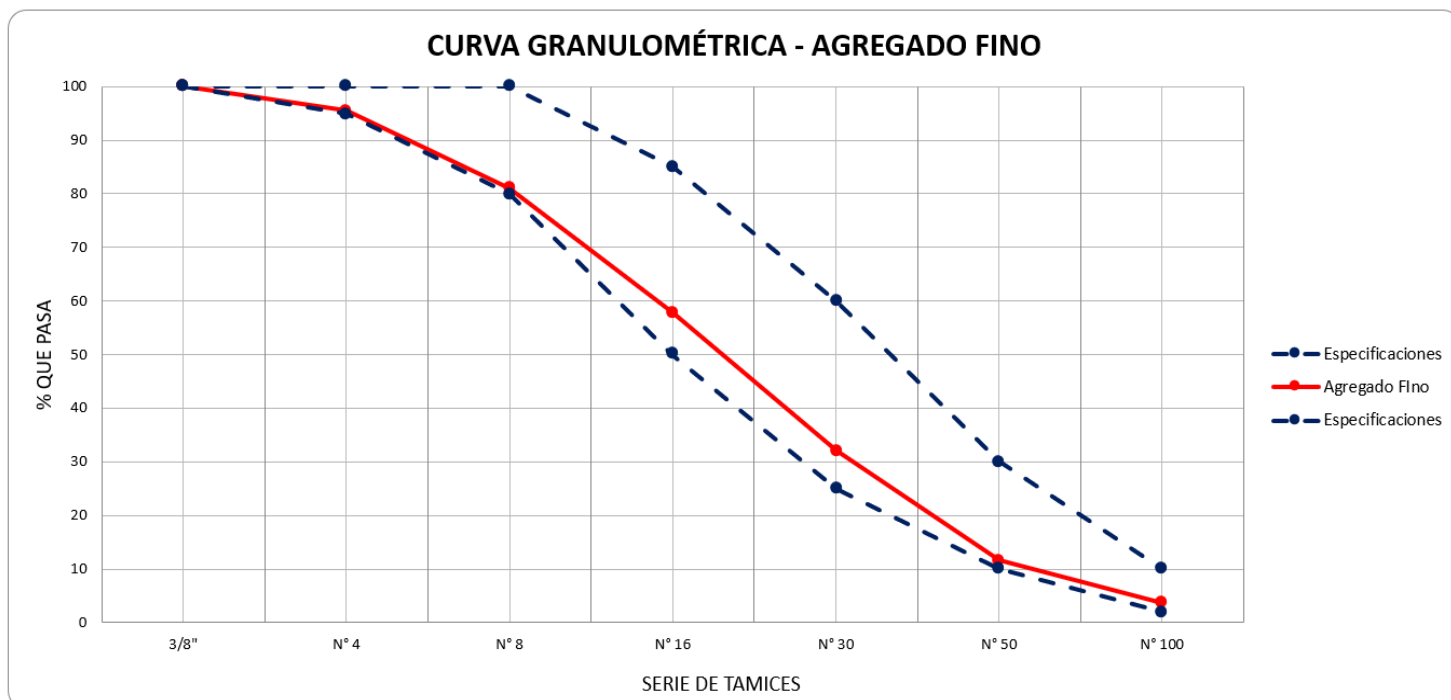
Cantera: La Victoria - Pátapo  
 Muestra: Agregado Fino  
 Peso Húmedo: 1000.00 g  
 Peso Seco: 984.21 g

MALLA		PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES	
pulg.	mm.						
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
N° 4	4.75	43.61	4.43	4.43	95.57	95	100
N° 8	2.36	142.35	14.46	18.90	81.10	80	100
N° 16	1.18	229.21	23.29	42.19	57.81	50	85
N° 30	0.6	253.31	25.74	67.93	32.07	25	60
N° 50	0.3	200.36	20.36	88.28	11.72	10	30
N° 100	0.15	79.55	8.08	96.37	3.63	2	10
N° 200	0.075	27.74	2.82	99.19	0.81	-	-
FONDO		8.01	0.81	100.00	0.00	-	-
<b>TOTAL</b>		<b>984.14</b>	100.00				
<b>MÓDULO DE FINEZA</b>			<b>3.181</b>				

Fuente: Pertenencia del autor

En este primer análisis granulométrico, se exhibe el peso retenido expresado en gramos y porcentaje, además del porcentaje retenido acumulado, porcentaje que pasa y los husos granulométricos. Podemos observar que el agregado fino procedente de la cantera ya mencionada anteriormente está cumpliendo con las especificaciones dadas y de la misma manera con el módulo de fineza calculado, el cual es igual a 3.181 y se encuentra dentro del rango recomendado de 2.3 a 3.2.

*Ilustración 57: Curva granulométrica del agregado fino - Cantera "La Victoria" - Pátapo*



*Fuente: Pertenencia del autor*

Teniendo como referencia los husos granulométricos instaurados por la norma ASTM C 33, podemos verificar mediante la ilustración que nuestra curva granulométrica del agregado fino se encuentra dentro de dichos límites.

### *Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso*

*Tabla 23: Granulometría del agregado grueso - Cantera "Tres Tomas" – Mesones Muros*

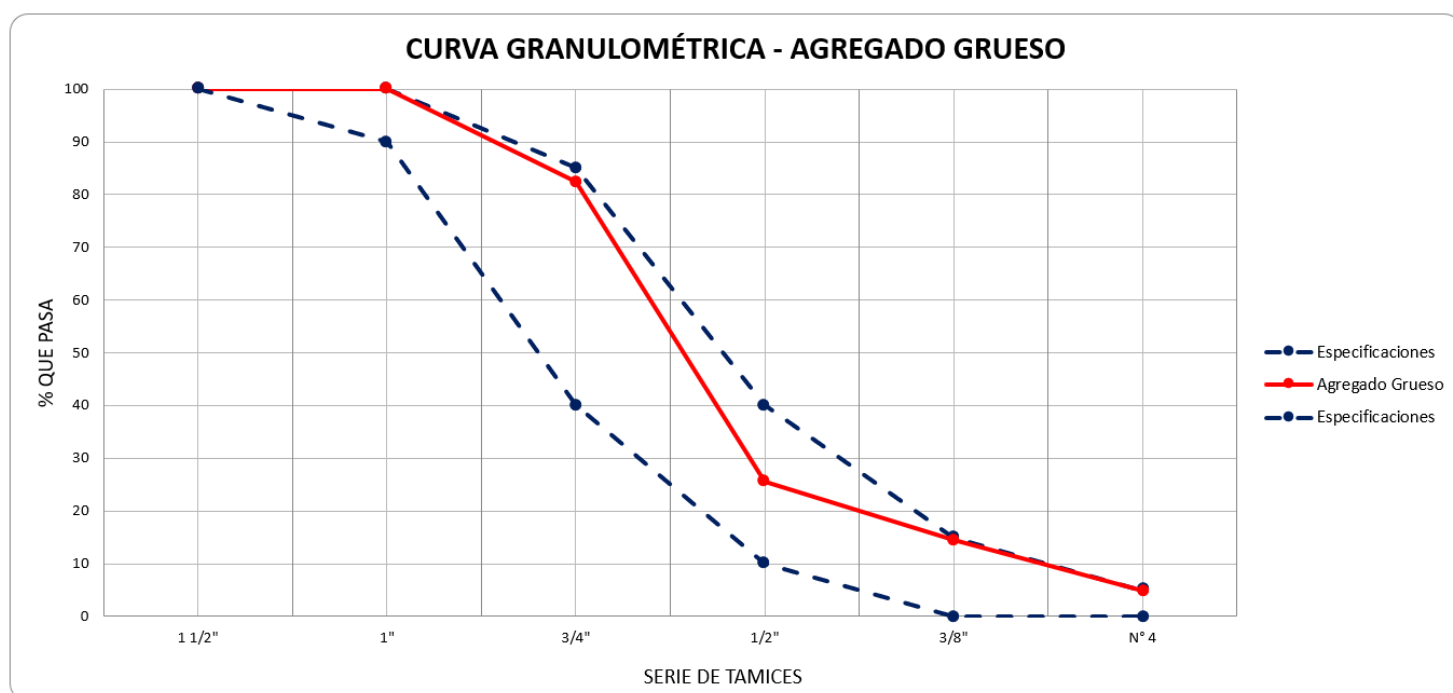
Cantera: Tres Tomas - Mesones Muros  
 Muestra: Agregado grueso  
 Peso Húmedo: 5000 g  
 Peso Seco: 4976 g

MALLA		PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES HUSO 56 (1" - 3/8")	
pulg.	mm.						
3"	75	0	0.00	0.00	100.00	-	-
2"	50	0	0.00	0.00	100.00	-	-
1 1/2"	38.1	0	0.00	0.00	100.00	100	100
1"	25	0	0.00	0.00	100.00	90	100
3/4"	19	875	17.59	17.59	82.41	40	85
1/2"	12.5	2830	56.88	74.47	25.53	10	40
3/8"	9.5	548	11.02	85.49	14.51	0	15
Nº 4	4.75	479	9.63	95.12	4.88	0	5
Nº 8	2.36	213	4.28	99.40	0.60	-	-
Nº 16	1.18	14	0.28	99.68	0.32	-	-
FONDO		16	0.32	100.00	0.00	-	-
<b>TOTAL</b>		<b>4975</b>	<b>100.00</b>				
<b>MÓDULO DE FINEZA</b>			<b>6.963</b>				
<b>TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL</b>			<b>3/4"</b>				

*Fuente: Pertenencia del autor*

En este análisis granulométrico, se muestra el peso retenido expresado en gramos y porcentaje, además del porcentaje retenido acumulado, porcentaje que pasa y los husos granulométricos. Se puede observar que el agregado grueso procedente de la cantera ya mencionada anteriormente está cumpliendo con las especificaciones dadas. De la misma manera se calcula el módulo de, el cual es igual a 6.963 y además se determina el TM y TMN siendo 1" y 3/4" respectivamente, dándonos así a entender que las partículas de nuestro agregado son gruesas.

*Ilustración 58: Curva granulométrica del grueso - Cantera "Tres Tomas" – Mesones Muros*



*Fuente: Pertenencia del autor*

Teniendo como referencia los husos granulométricos instaurados por la norma ASTM C 33, podemos verificar mediante la ilustración que nuestra curva granulométrica del agregado fino se encuentra dentro de los límites del Huso N° 56 y nuestro TMN también se encuentra dentro de los límites de este huso.

### *Contenido de humedad*

#### *Contenido de humedad del agregado fino*

*Tabla 24: Contenido de humedad del agregado fino - Cantera "La Victoria" - Pátapo*

1. Peso de muestra húmeda (PH)	1000.00 g
2. Peso de muestra seca (PS)	984.21 g
3. Contenido de humedad (%H)	<b>1.604%</b>

*Fuente: Pertenencia del autor*

Teniendo el peso de la muestra húmeda y el peso de muestra seca (después de haber sido colocada en el horno), se determinó el contenido de humedad del agregado fino, el cuál es igual a 1.604%. Este valor forma parte de la elaboración del diseño de mezcla.

### ***Contenido de humedad del agregado grueso***

*Tabla 25: Contenido de humedad del agregado grueso - Cantera "Tres Tomas" – Mesones Muros*

1. Peso de muestra húmeda (PH)	5000.00 g
2. Peso de muestra seca (PS)	4976.00 g
3. Contenido de humedad (%H)	<b>0.482%</b>

*Fuente: Pertenencia del autor*

Teniendo el peso de la muestra húmeda y el peso de muestra seca (después de haber sido colocada en el horno), se determinó el contenido de humedad del agregado grueso, el cuál es igual a 0.482%. Este valor conforma una parte esencial dentro del diseño de mezcla.

### ***Peso específico y Absorción***

#### ***Peso específico y Absorción del agregado fino***

*Tabla 26: Peso específico y Absorción del agregado fino - Cantera "La Victoria" - Pátapo*

<b>TIPO DE MUESTRA</b>	<b>PESO (g)</b>
1. Peso Fiola + Muestra + Agua Destilada	951.33
2. Peso Fiola	142.95
3. Peso Muestra Saturada Superficialmente Seca (PSSS)	500
4. Peso Muestra + Fiola	642.95
5. Peso Muestra Seca en Horno (PS)	497.53
6. Peso Tara	83.78

<b>RESULTADOS</b>	
Peso Específico (g/cm <sup>3</sup> )	2.60
Grado de Absorción (%)	0.50

*Fuente: Pertenencia del autor*

Siguiendo lo estipulado por la norma ASTM C 128, se calculó el Peso específico y Absorción del agregado fino siendo estos iguales a 2.60 g/cm<sup>3</sup> y 0.50% respectivamente.

***Peso específico y Absorción del agregado grueso***

*Tabla 27: Peso específico y Absorción del agregado grueso - Cantera "Tres Tomas" – Mesones Muros*

<b>TIPO DE MUESTRA</b>	<b>PESO (g)</b>
1. Peso Muestra Saturada Superficialmente Seca (PSSS)	2192
2. Peso Canastilla Sumergida	880
3. Peso Canastilla + Muestra Sumergida	2270
4. Peso Muestra Sumergida (PW)	1390
5. Peso Muestra Seca en Horno (PS)	2167
6. Peso Tara	152

<b>RESULTADOS</b>	
Peso Específico (g/cm <sup>3</sup> )	2.70
Grado de Absorción (%)	1.15

*Fuente: Pertenencia del autor*

Siguiendo lo estipulado por la norma ASTM C 127, se calculó el Peso específico y Absorción del agregado grueso siendo estos iguales a 2.70 g/cm<sup>3</sup> y 1.15% respectivamente.

***Peso volumétrico o unitario******Peso volumétrico o unitario del agregado fino****Tabla 28: Peso volumétrico o unitario suelto y compactado del agregado fino - Cantera "La Victoria" - Pátapo***PESO UNITARIO SUELTO: AGREGADO FINO**

<b>TIPO DE MUESTRA</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>PROMEDIO</b>
1. Peso de la muestra + molde	18430	18420	18425
2. Peso del molde	10018	10018	10018
3. Peso de la muestra [1-2]	8412	8402	8407
4. Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	5552.63	5552.63	5552.63
5. Peso unitario [3/4]	1.51	1.51	1.51
6. Peso unitario suelto húmedo (kg/m <sup>3</sup> )	1514.96	1513.16	1514.06
7. Peso unitario suelto seco (kg/m <sup>3</sup> )	1491.04	1489.26	1490.15

**PESO UNITARIO COMPACTADO: AGREGADO FINO**

<b>TIPO DE MUESTRA</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>PROMEDIO</b>
1. Peso de la muestra + molde	19410	19420	19415
2. Peso del molde	10018	10018	10018
3. Peso de la muestra [1-2]	9392	9402	9397
4. Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	5552.63	5552.63	5552.63
5. Peso unitario [3/4]	1.69	1.69	1.69
6. Peso unitario compactado húmedo (kg/m <sup>3</sup> )	1691.45	1693.25	1692.35
7. Peso unitario compactado seco (kg/m <sup>3</sup> )	1664.74	1666.52	1665.63

*Fuente: Pertenencia del autor*

Siguiendo lo estipulado por la norma ASTM C 29, se calculó el Peso volumétrico o unitario seco y compactado del agregado fino siendo estos iguales a 1490.15 kg/m<sup>3</sup> y 1665.63 kg/m<sup>3</sup> respectivamente.

***Peso volumétrico o unitario del agregado grueso***

*Tabla 29: Peso volumétrico o unitario suelto y compactado del agregado grueso - Cantera "Tres Tomas" – Mesones Muros*

**PESO UNITARIO SUELTO: AGREGADO GRUESO**

<b>TIPO DE MUESTRA</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>PROMEDIO</b>
1. Peso de la muestra + molde	17850	17840	17845
2. Peso del molde	10018	10018	10018
3. Peso de la muestra [1-2]	7832	7822	7827
4. Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	5443.75	5443.75	5443.75
5. Peso unitario [3/4]	1.44	1.44	1.44
6. Peso unitario suelto húmedo (kg/m <sup>3</sup> )	1438.71	1436.88	1437.80
7. Peso unitario suelto seco (kg/m <sup>3</sup> )	1431.81	1429.98	1430.89

**PESO UNITARIO COMPACTADO: AGREGADO GRUESO**

<b>TIPO DE MUESTRA</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>PROMEDIO</b>
1. Peso de la muestra + molde	18990	18990	18990
2. Peso del molde	10018	10018	10018
3. Peso de la muestra [1-2]	8972	8972	8972
4. Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	5443.75	5443.75	5443.75
5. Peso unitario [3/4]	1.65	1.65	1.65
6. Peso unitario suelto húmedo (kg/m <sup>3</sup> )	1648.13	1648.13	1648.13
7. Peso unitario suelto seco (kg/m <sup>3</sup> )	1640.22	1640.22	1640.22

*Fuente: Pertenencia del autor*

Siguiendo lo estipulado por la norma ASTM C 29, se calculó el Peso volumétrico o unitario seco y compactado del agregado grueso siendo estos iguales a 1430.89 kg/m<sup>3</sup> y 1640.22 kg/m<sup>3</sup> respectivamente.

## Resultados del diseño de mezcla

### Diseño de mezcla de concreto con cemento Tipo I

**Ensayo:** Diseño de Mezcla de Concreto (Sin aire incorporado)

**Método:** ACI 211

Cantera "La

**Ag. Fino:** Victoria"

**Ag.** Cantera "Tres

**Grueso:** Tomas"

Resistencia:  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

I) Datos de los agregados:

	Ag. Fino	Ag. Grueso	
1. T.M.N.	-	3/4"	pulg.
2. P.U. Suelto Seco	1490	1431	kg/cm <sup>3</sup>
3. P.U. Compactado Seco	1666	1640	kg/cm <sup>3</sup>
4. Peso Específico de masa seco	2596	2702	kg/cm <sup>3</sup>
5. Contenido de Humedad	1.6	0.48	%
6. Porcentaje de Absorción	0.5	1.15	%
7. Módulo de Fineza	3.181	-	

II) Datos de la mezcla

8. Resistencia requerida	294	kg/cm <sup>2</sup>
9. Contenido de aire atrapado	2	%
10. Relación a/c	0.541	
11. Asentamiento	4	pulg.
12. Volumen unitario del agua	205	l/m <sup>3</sup>
13. Volumen de agregado grueso	0.582	m <sup>3</sup>
14. Peso específico del cemento	3140	kg/m <sup>3</sup>

III) Determinación de volúmenes absolutos

Cemento	0.121 m <sup>3</sup>
Agua	0.205 m <sup>3</sup>
Aire	0.020 m <sup>3</sup>
Agregado fino	0.301 m <sup>3</sup>
Agregado grueso	0.353 m <sup>3</sup>

$$\Sigma = 1.000 \text{ m}^3$$

15. Peso del agregado fino seco 782 kg/m<sup>3</sup>

IV) Valores de diseño

Cemento	379 kg/m <sup>3</sup>
Agua	205 lt/m <sup>3</sup>
Agregado fino	782 kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso	954 lt/m <sup>3</sup>

$$\Sigma = 2320 \text{ kg/m}^3$$

V) Corrección por humedad del agregado grueso

Agregado fino	794 kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso	959 kg/m <sup>3</sup>

Se calcula la humedad superficial de los agregados

8.80%
-6.40%

VI) Diseño final

Cemento	379 kg/m <sup>3</sup>
Agua	203 kg/m <sup>3</sup>
Agregado fino húmedo	794 kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso húmedo	959 kg/m <sup>3</sup>

$$\Sigma = 2335 \text{ kg/m}^3$$

VII) Proporción en peso (corregida)

Cemento	Arena	Piedra
1	1.58	2.17

VIII) Proporción en volumen (corregida)

Cemento	Arena	Piedra
1	1.59	2.28

**Diseño de mezcla de concreto con cemento Tipo V****Ensayo:** Diseño de Mezcla de Concreto (Sin aire incorporado)**Método:** ACI 211  
Cantera "La**Ag. Fino:** Victoria"**Ag.** Cantera "Tres**Grueso:** Tomas"**Resistencia:**  $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ I) Datos de los  
agregados:

	Ag. Fino	Ag. Grueso	
1. T.M.N.	-	3/4"	pulg.
2. P.U. Suelto Seco	1490	1431	kg/cm <sup>3</sup>
3. P.U. Compactado Seco	1666	1640	kg/cm <sup>3</sup>
4. Peso Específico de masa seco	2596	2702	kg/cm <sup>3</sup>
5. Contenido de Humedad	1.6	0.48	%
6. Porcentaje de Absorción	0.5	1.15	%
7. Módulo de Fineza	3.181	-	

II) Datos de la mezcla

8. Resistencia requerida	294	kg/cm <sup>2</sup>
9. Contenido de aire atrapado	2	%
10. Relación a/c	0.541	
11. Asentamiento	4	pulg.
12. Volumen unitario del agua	205	l/m <sup>3</sup>
13. Volumen de agregado grueso	0.582	m <sup>3</sup>
14. Peso específico del cemento	3150	kg/m <sup>3</sup>

III) Determinación de volúmenes absolutos

Cemento	0.120 m <sup>3</sup>
Agua	0.205 m <sup>3</sup>
Aire	0.020 m <sup>3</sup>
Agregado fino	0.301 m <sup>3</sup>
Agregado grueso	0.353 m <sup>3</sup>

$$\Sigma = 1.000 \text{ m}^3$$

15. Peso del agregado fino seco 

783
-----

 kg/m<sup>3</sup>

## IV) Valores de diseño

Cemento	379 kg/m <sup>3</sup>
Agua	205 lt/m <sup>3</sup>
Agregado fino	783 kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso	954 lt/m <sup>3</sup>

$$\Sigma = 2321 \text{ kg/m}^3$$

## V) Corrección por humedad del agregado grueso

Agregado fino	795 kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso	959 kg/m <sup>3</sup>

Se calcula la humedad superficial de los agregados

8.80%
-6.40%

## VI) Diseño final

Cemento	379 kg/m <sup>3</sup>
Agua	203 kg/m <sup>3</sup>
Agregado fino húmedo	795 kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso húmedo	959 kg/m <sup>3</sup>

$$\Sigma = 2336 \text{ kg/m}^3$$

## VII) Proporción en peso (corregida)

Cemento	Arena	Piedra
1	1.50	2.12

## VIII) Proporción en volumen (corregida)

Cemento	Arena	Piedra
1	1.51	2.22

## *Resultados de los ensayos al concreto en estado endurecido*

### *Resistencia a la compresión*

A continuación, se muestran un conjunto de tablas en las cuales se detallan las resistencias obtenidas al ensayar cada una de las probetas en distintas edades.

*Tabla 30: Resistencia a la compresión - Concreto Patrón f'c 210 kg/cm<sup>2</sup>*

Nº de muestra	Condición	Tipo de Cemento	Edad (días)	Diámetro (cm)	Carga (kg)	f'c obtenido (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)	f'c promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
1	Patrón	I	7	15	32880	186.06	88.60%	184.56	87.89%
2	Patrón	I	7	15	32350	183.06	87.17%		
1	Patrón	I	14	15	32130	181.82	86.58%	196.87	93.75%
2	Patrón	I	14	15	37450	211.92	100.92%		
1	Patrón	I	28	15	39280	222.28	105.85%	223.50	106.43%
2	Patrón	I	28	15	39710	224.71	107.01%		
1	Patrón	V	7	15	33550	189.85	90.41%	183.88	87.56%
2	Patrón	V	7	15	31440	177.91	84.72%		
1	Patrón	V	14	15	37660	213.11	101.48%	225.76	107.50%
2	Patrón	V	14	15	42130	238.41	113.53%		
1	Patrón	V	28	15	42380	239.82	114.20%	233.57	111.22%
2	Patrón	V	28	15	40170	227.32	108.25%		

*Fuente: Pertenencia del autor*

En la tabla 30 podemos observar el cumplimiento de la resistencia deseada del concreto patrón con cemento tipo I y tipo V para f'c 210 kg/cm<sup>2</sup>, obtenido en promedio valores de resistencia a la compresión iguales a 184.56 kg/cm<sup>2</sup>, 196.87 kg/cm<sup>2</sup> y 223.50 kg/cm<sup>2</sup> a las edades de 7, 14 y 28 días respectivamente con el cemento tipo I. De la misma manera con el cemento tipo V, se alcanzó valores en promedio iguales a 183.88 kg/cm<sup>2</sup>, 225.76 kg/cm<sup>2</sup> y 233.57 kg/cm<sup>2</sup> a las edades de 7, 14 y 28 días respectivamente.

*Tabla 31: Resistencia a la compresión - Concreto con 0.10% de Nanoplacas de Grafeno  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>*

N° de muestra	Condición	Tipo de Cemento	Edad (días)	Diámetro (cm)	Carga (kg)	$f'c$ obtenido (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)	$f'c$ promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
1	0.10% Nanoplacas de grafeno	I	7	15	36180	204.74	97.49%	197.66	94.13%
2	0.10% Nanoplacas de grafeno	I	7	15	33680	190.59	90.76%		
1	0.10% Nanoplacas de grafeno	I	14	15	39350	222.68	106.04%	223.33	106.35%
2	0.10% Nanoplacas de grafeno	I	14	15	39580	223.98	106.66%		
1	0.10% Nanoplacas de grafeno	I	28	15	43830	248.03	118.11%	240.50	114.52%
2	0.10% Nanoplacas de grafeno	I	28	15	41170	232.97	110.94%		
1	0.10% Nanoplacas de grafeno	V	7	15	34470	195.06	92.89%	199.93	95.20%
2	0.10% Nanoplacas de grafeno	V	7	15	36190	204.79	97.52%		
1	0.10% Nanoplacas de grafeno	V	14	15	37970	214.87	102.32%	225.93	107.59%
2	0.10% Nanoplacas de grafeno	V	14	15	41880	236.99	112.85%		
1	0.10% Nanoplacas de grafeno	V	28	15	43810	247.91	118.05%	248.14	118.16%
2	0.10% Nanoplacas de grafeno	V	28	15	43890	248.37	118.27%		

*Fuente: Pertenencia del autor*

En la tabla 31 podemos apreciar los valores alcanzados del concreto con adición del 0.10% de nanoplacas de grafeno con ambos tipos de cemento (I y V). Dando valores de resistencia promedio con cemento tipo I iguales a 197.66 kg/cm<sup>2</sup>, 223.33 kg/cm<sup>2</sup> y 240.50 kg/cm<sup>2</sup> a las edades de 7, 14 y 28 días respectivamente. De la misma manera con el cemento tipo V, se obtuvo valores en promedio iguales a 199.93 kg/cm<sup>2</sup>, 225.93 kg/cm<sup>2</sup> y 248.14 kg/cm<sup>2</sup> a las edades de 7, 14 y 28 días respectivamente. Con estos resultados podemos afirmar que la adición de un 0.10% de nanoplacas de grafeno tiene una influencia positiva sobre el concreto en todas sus edades.

*Tabla 32: Resistencia a la compresión - Concreto con 0.15% de Nanoplacas de Grafeno  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>*

N° de muestra	Condición	Tipo de Cemento	Edad (días)	Diámetro (cm)	Carga (kg)	$f'c$ obtenido (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)	$f'c$ promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
1	0.15% Nanoplacas de grafeno	I	7	15	29510	166.99	79.52%	175.03	83.35%
2	0.15% Nanoplacas de grafeno	I	7	15	32350	183.06	87.17%		
1	0.15% Nanoplacas de grafeno	I	14	15	33800	191.27	91.08%	191.86	91.36%
2	0.15% Nanoplacas de grafeno	I	14	15	34010	192.46	91.65%		
1	0.15% Nanoplacas de grafeno	I	28	15	37160	210.28	100.13%	210.99	100.47%
2	0.15% Nanoplacas de grafeno	I	28	15	37410	211.70	100.81%		
1	0.15% Nanoplacas de grafeno	V	7	15	30050	170.05	80.98%	171.49	81.66%
2	0.15% Nanoplacas de grafeno	V	7	15	30560	172.93	82.35%		
1	0.15% Nanoplacas de grafeno	V	14	15	35520	201.00	95.72%	199.13	94.83%
2	0.15% Nanoplacas de grafeno	V	14	15	34860	197.27	93.94%		
1	0.15% Nanoplacas de grafeno	V	28	15	37640	213.00	101.43%	208.58	99.33%
2	0.15% Nanoplacas de grafeno	V	28	15	36080	204.17	97.22%		

*Fuente: Pertenencia del autor*

En la tabla 32 podemos apreciar los valores alcanzados del concreto con adición del 0.15% de nanoplacas de grafeno con ambos tipos de cemento (I y V). Dando valores de resistencia promedio con cemento tipo I iguales a 175.03 kg/cm<sup>2</sup>, 191.86 kg/cm<sup>2</sup> y 210.99 kg/cm<sup>2</sup> a las edades de 7, 14 y 28 días respectivamente. De la misma manera con el cemento tipo V, se obtuvo valores en promedio iguales a 171.13 kg/cm<sup>2</sup>, 199.13 kg/cm<sup>2</sup> y 208.58 kg/cm<sup>2</sup> a las edades de 7, 14 y 28 días respectivamente. Todo lo contrario a la adición anterior, en este caso podemos apreciar que un 0.15% de nanoplacas de grafeno tiene una influencia negativa sobre el concreto.

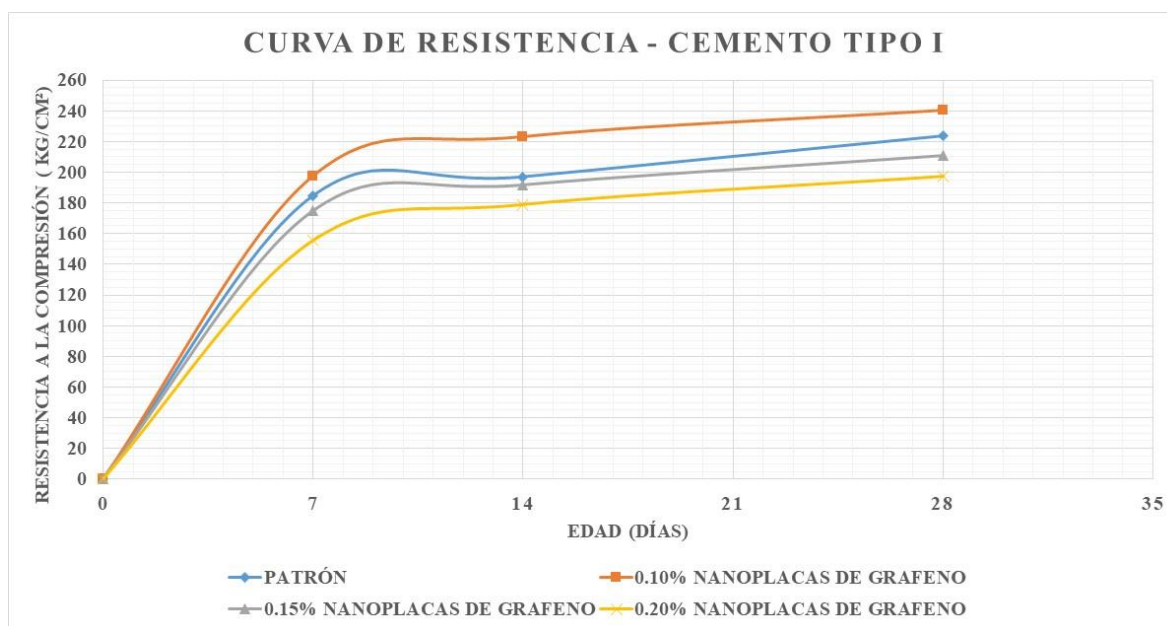
*Tabla 33: Resistencia a la compresión - Concreto con 0.20% de Nanoplacas de Grafeno  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>*

Nº de muestra	Condición	Tipo de Cemento	Edad (días)	Diámetro (cm)	Carga (kg)	$f'c$ obtenido (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)	$f'c$ promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
1	0.20% Nanoplacas de grafeno	I	7	15	27860	157.66	75.07%	155.42	74.01%
2	0.20% Nanoplacas de grafeno	I	7	15	27070	153.18	72.95%		
1	0.20% Nanoplacas de grafeno	I	14	15	31810	180.01	85.72%	178.76	85.13%
2	0.20% Nanoplacas de grafeno	I	14	15	31370	177.52	84.53%		
1	0.20% Nanoplacas de grafeno	I	28	15	37860	214.24	102.02%	197.21	93.91%
2	0.20% Nanoplacas de grafeno	I	28	15	31840	180.18	85.80%		
1	0.20% Nanoplacas de grafeno	V	7	15	28350	160.43	76.39%	149.37	71.13%
2	0.20% Nanoplacas de grafeno	V	7	15	24440	138.30	65.86%		
1	0.20% Nanoplacas de grafeno	V	14	15	34130	193.14	91.97%	195.63	93.16%
2	0.20% Nanoplacas de grafeno	V	14	15	35010	198.12	94.34%		
1	0.20% Nanoplacas de grafeno	V	28	15	36080	204.17	97.22%	207.06	98.60%
2	0.20% Nanoplacas de grafeno	V	28	15	37100	209.94	99.97%		

*Fuente: Pertenencia del autor*

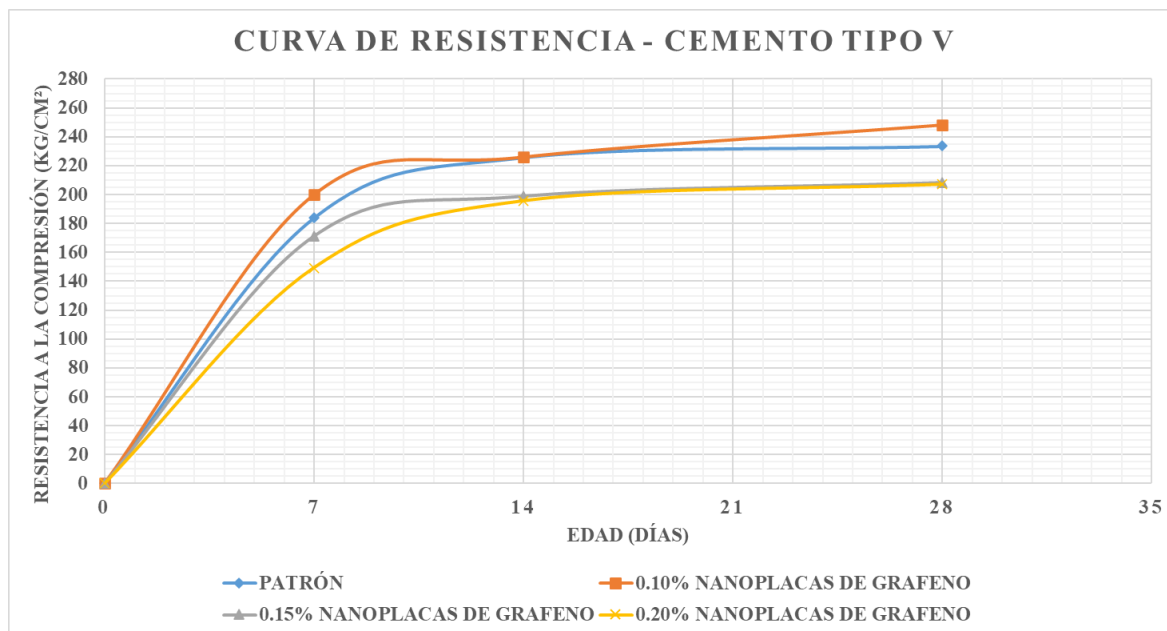
En la tabla 33 podemos apreciar los valores alcanzados del concreto con adición del 0.20% de nanoplacas de grafeno con ambos tipos de cemento (I y V). Dando valores de resistencia promedio con cemento tipo I iguales a 155.42 kg/cm<sup>2</sup>, 178.76 kg/cm<sup>2</sup> y 197.21 kg/cm<sup>2</sup> a las edades de 7, 14 y 28 días respectivamente. De la misma manera con el cemento tipo V, se obtuvo valores en promedio iguales a 149.37 kg/cm<sup>2</sup>, 195.63 kg/cm<sup>2</sup> y 207.06 kg/cm<sup>2</sup> a las edades de 7, 14 y 28 días respectivamente. De igual manera que la adición anterior, se evidencia que un 0.20% de nanoplacas de grafeno también tiene una influencia negativa sobre el concreto.

Ilustración 59: Curva de Resistencia  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> - Cemento Tipo I



Fuente: Pertenencia del autor

Ilustración 60: Curva de Resistencia  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> - Cemento Tipo V



Fuente: Pertenencia del autor

Los valores obtenidos a la edad de 28 días evidencian claramente que el porcentaje óptimo de adición de nanoplacas de grafeno es de un 0.10%, mientras que en los porcentajes de

0.15% y 0.20% quedan con valores por debajo del concreto patrón. Estos resultados tienen concordancia con lo mencionado por Babak et al. [6], este hace mención que el empleo de nanoestructuras de carbono resulta ser mejor para propiedades mecánicas cuando se adicionan en porcentajes entre 0.03% y 0.10% en peso. Adicionalmente, tal como lo menciona Navarro y Forero [7] esta adición pese a ser de manera directa da buenos resultados y puede ser considerada como una posible opción al momento de realizar construcciones de concreto.

### ***Módulo de elasticidad***

A continuación, se presentan un conjunto de tablas en las cuales se detallan los valores de módulo de elasticidad obtenidos para cada espécimen a la edad de 28 días, las cuales han sido elaboradas con cemento Tipo I. Además, dentro de estas tablas se detallan los valores de deformación cuando el esfuerzo está a un 10%, 20%, 30% y 40% de su valor máximo.

*Tabla 34: Esfuerzo - Deformación Unitaria. Concreto Patrón (Muestra 01) - Cemento Tipo I*

<b>Esfuerzo (<math>\sigma</math>) - Deformación Unitaria (<math>\epsilon</math>)</b>					
<b>L (cm)</b>	<b>Carga (kgf)</b>	<b>Registro dial</b>	<b>Lectura dial (pulg)</b>	<b>Deformación</b>	<b>Esfuerzo</b>
30				<b><math>\epsilon_2</math></b>	<b>(kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>d (cm)</b>	3928	1.2	0.00121	0.000102	22.23
15	7856	2.4	0.00241	0.000204	44.46
<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	11784	3.6	0.00362	0.000306	66.68
176.71	15712	4.8	0.00482	0.000408	88.91

*Fuente: Pertenencia del autor*

*Tabla 35: Módulo de Elasticidad - Concreto Patrón (Muestra 01) - Cemento Tipo I*

<b>Módulo de Elasticidad</b>					
<b>Esfuerzo S2</b>		<b>Esfuerzo S1</b>		<b><math>\epsilon</math> unitaria <math>\epsilon_2</math> (S2)</b>	<b><math>E_c</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>Carga (kgf)</b>	<b>S2</b>	<b>Carga (kgf)</b>	<b>S1</b>		
<b>40% <math>f'_c</math></b>	<b>(kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>0.00005</b>	<b>(kg/cm<sup>2</sup>)</b>		
15712	88.91	1925.05	10.89	0.000408	217871.07

*Fuente: Pertenencia del autor*

Tabla 36: Esfuerzo - Deformación Unitaria. Concreto Patrón (Muestra 02) - Cemento Tipo I

Esfuerzo ( $\sigma$ ) - Deformación Unitaria ( $\epsilon$ )					
L (cm)	Carga (kg/cm <sup>2</sup> )	Registro dial	Lectura dial (pulg)	Deformación $\epsilon_2$	Esfuerzo (kgf/cm <sup>2</sup> )
30					
d (cm)	3971	2.5	0.00246	0.000208	22.47
15	7942	4.9	0.00491	0.000416	44.94
Área (cm <sup>2</sup> )	11913	7.4	0.00737	0.000624	67.41
176.71	15884	9.8	0.00982	0.000831	89.89

Fuente: Pertenencia del autor

Tabla 37: Módulo de Elasticidad - Concreto Patrón (Muestra 02) - Cemento Tipo I

Módulo de Elasticidad					
Esfuerzo S2		Esfuerzo S1		$\epsilon$ unitaria $\epsilon_2$ (S2)	Ec (kg/cm <sup>2</sup> )
Carga (kgf)	S2 (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kgf)	S1 (kg/cm <sup>2</sup> )		
40% f'c		0.00005			
15884	89.89	1978.97	11.20	0.000401	223973.52

Fuente: Pertenencia del autor

Tabla 38: Esfuerzo - Deformación Unitaria. Concreto Patrón + 0.10% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 01) - Cemento Tipo I

Esfuerzo ( $\sigma$ ) - Deformación Unitaria ( $\epsilon$ )					
L (cm)	Carga (kgf)	Registro dial	Lectura dial (pulg)	Deformación $\epsilon_2$	Esfuerzo (kgf/cm <sup>2</sup> )
30					
d (cm)	4383	1.4	0.00137	0.000116	24.80
15	8766	2.7	0.00274	0.000232	49.61
Área (cm <sup>2</sup> )	13149	4.1	0.00411	0.000348	74.41
176.71	17532	5.5	0.00548	0.000464	99.21

Fuente: Pertenencia del autor

Tabla 39: Módulo de Elasticidad - Concreto Patrón + 0.10% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 01) - Cemento Tipo I

Módulo de Elasticidad					
Esfuerzo S2		Esfuerzo S1		$\epsilon$ unitaria $\epsilon_2$ (S2)	Ec (kg/cm <sup>2</sup> )
Carga (kgf)	S2 (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kgf)	S1 (kg/cm <sup>2</sup> )		
40% f'c		0.00005			
17532	99.21	1889.33	10.69	0.000464	213828.72

Fuente: Pertenencia del autor

Tabla 40: Esfuerzo - Deformación Unitaria. Concreto Patrón + 0.10% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 02) - Cemento Tipo I

Esfuerzo ( $\sigma$ ) - Deformación Unitaria ( $\epsilon$ )					
L (cm)	Carga (kgf)	Registro dial	Lectura dial (pulg)	Deformación	Esfuerzo
30				$\epsilon_2$	(kgf/cm <sup>2</sup> )
d (cm)	4117	1.1	0.00113	0.000095	23.30
15	8234	2.3	0.00225	0.000191	46.59
Área (cm <sup>2</sup> )	12351	3.4	0.00338	0.000286	69.89
176.71	16468	4.5	0.00450	0.000381	93.19

Fuente: Pertenencia del autor

Tabla 41: Módulo de Elasticidad - Concreto Patrón + 0.10% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 02) - Cemento Tipo I

Módulo de Elasticidad					
Esfuerzo S2		Esfuerzo S1		$\epsilon$ unitaria $\epsilon_2$ (S2)	Ec (kg/cm <sup>2</sup> )
Carga (kgf)	S2	Carga (kgf)	S1		
40% f'c	(kg/cm <sup>2</sup> )	0.00005	(kg/cm <sup>2</sup> )		
16468	93.19	2161.15	12.23	0.000381	244592.70

Fuente: Pertenencia del autor

Tabla 42: Esfuerzo - Deformación Unitaria. Concreto Patrón + 0.15% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 01) - Cemento Tipo I

Esfuerzo ( $\sigma$ ) - Deformación Unitaria ( $\epsilon$ )					
L (cm)	Carga (kgf)	Registro dial	Lectura dial (pulg)	Deformación	Esfuerzo
30				$\epsilon_2$	(kgf/cm <sup>2</sup> )
d (cm)	3716	1.2	0.00119	0.000101	21.03
15	7432	2.4	0.00238	0.000202	42.06
Área (cm <sup>2</sup> )	11148	3.6	0.00357	0.000302	63.08
176.71	14864	4.8	0.00476	0.000403	84.11

Fuente: Pertenencia del autor

Tabla 43: Módulo de Elasticidad - Concreto Patrón + 0.15% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 01) - Cemento Tipo I

Módulo de Elasticidad					
Esfuerzo S2		Esfuerzo S1		$\epsilon$ unitaria $\epsilon_2$ (S2)	Ec (kg/cm <sup>2</sup> )
Carga (kgf)	S2	Carga (kgf)	S1		
40% f'c	(kg/cm <sup>2</sup> )	0.00005	(kg/cm <sup>2</sup> )		
14864	84.11	1844.11	10.44	0.000403	208710.30

Fuente: Pertenencia del autor

Tabla 44: Esfuerzo - Deformación Unitaria. Concreto Patrón + 0.15% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 02) - Cemento Tipo I

Esfuerzo ( $\sigma$ ) - Deformación Unitaria ( $\epsilon$ )					
L (cm)	Carga (kgf)	Registro dial	Lectura dial (pulg)	Deformación	Esfuerzo
30				$\epsilon_2$	(kgf/cm <sup>2</sup> )
d (cm)	3741	1.2	0.00115	0.000098	21.17
15	7482	2.3	0.00231	0.000195	42.34
Área (cm <sup>2</sup> )	11223	3.5	0.00346	0.000293	63.51
176.71	14964	4.6	0.00461	0.000390	84.68

Fuente: Pertenencia del autor

Tabla 45: Módulo de Elasticidad - Concreto Patrón + 0.15% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 02) - Cemento Tipo I

Módulo de Elasticidad					
Esfuerzo S2		Esfuerzo S1		$\epsilon$ unitaria $\epsilon_2$ (S2)	Ec (kg/cm <sup>2</sup> )
Carga (kgf)	S2	Carga (kgf)	S1		
40% f'c	(kg/cm <sup>2</sup> )	0.00005	(kg/cm <sup>2</sup> )		
14964	84.68	1916.09	10.84	0.000390	216857.05

Fuente: Pertenencia del autor

Tabla 46: Esfuerzo - Deformación Unitaria. Concreto Patrón + 0.20% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 01) - Cemento Tipo I

Esfuerzo ( $\sigma$ ) - Deformación Unitaria ( $\epsilon$ )					
L (cm)	Carga (kgf)	Registro dial	Lectura dial (pulg)	Deformación	Esfuerzo
30				$\epsilon_2$	(kgf/cm <sup>2</sup> )
d (cm)	3786	1.1	0.00108	0.000091	21.42
15	7572	2.2	0.00216	0.000183	42.85
Área (cm <sup>2</sup> )	11358	3.2	0.00324	0.000274	64.27
176.71	15144	4.3	0.00432	0.000366	85.70

Fuente: Pertenencia del autor

Tabla 47: Módulo de Elasticidad - Concreto Patrón + 0.20% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 01) - Cemento Tipo I

Módulo de Elasticidad					
Esfuerzo S2		Esfuerzo S1		$\epsilon$ unitaria $\epsilon_2$ (S2)	Ec (kg/cm <sup>2</sup> )
Carga (kgf)	S2	Carga (kgf)	S1		
40% f'c	(kg/cm <sup>2</sup> )	0.00005	(kg/cm <sup>2</sup> )		
15144	85.70	2070.21	11.71	0.000366	234299.84

Fuente: Pertenencia del autor

Tabla 48: Esfuerzo - Deformación Unitaria. Concreto Patrón + 0.20% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 02) - Cemento Tipo I

Esfuerzo ( $\sigma$ ) - Deformación Unitaria ( $\epsilon$ )					
L (cm)	Carga (kgf)	Registro dial	Lectura dial (pulg)	Deformación	Esfuerzo
30				$\epsilon_2$	(kgf/cm <sup>2</sup> )
d (cm)	3184	1.2	0.00117	0.000099	18.02
15	6368	2.3	0.00233	0.000197	36.04
Área (cm <sup>2</sup> )	9552	3.5	0.00350	0.000296	54.05
176.71	12736	4.7	0.00466	0.000395	72.07

Fuente: Pertenencia del autor

Tabla 49: Módulo de Elasticidad - Concreto Patrón + 0.20% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 02) - Cemento Tipo I

Módulo de Elasticidad					
Esfuerzo S2		Esfuerzo S1		$\epsilon$ unitaria $\epsilon_2$ (S2)	Ec (kg/cm <sup>2</sup> )
Carga (kgf)	S2	Carga (kgf)	S1		
40% f'c	(kg/cm <sup>2</sup> )	0.00005	(kg/cm <sup>2</sup> )		
12736	72.07	1614.00	9.13	0.000395	182667.92

Fuente: Pertenencia del autor

Así mismo modo, se detalla a continuación los resultados de módulo de elasticidad obtenidos para especímenes elaborados con cemento Tipo V. Además, se muestran los valores de esfuerzos a un 10%, 20%, 30% y 40% de su valor máximo.

Tabla 50: Esfuerzo - Deformación Unitaria. Concreto Patrón (Muestra 01) - Cemento Tipo V

Esfuerzo ( $\sigma$ ) - Deformación Unitaria ( $\epsilon$ )					
L (cm)	Carga (kg/cm <sup>2</sup> )	Registro dial	Lectura dial (pulg)	Deformación	Esfuerzo
30				$\epsilon_2$	(kgf/cm <sup>2</sup> )
d (cm)	4238	1.2	0.00122	0.000103	23.98
15	8476	2.4	0.00243	0.000206	47.96
Área (cm <sup>2</sup> )	12714	3.6	0.00365	0.000309	71.95
176.71	16952	4.9	0.00486	0.000412	95.93

Fuente: Pertenencia del autor

Tabla 51: Módulo de Elasticidad - Concreto Patrón (Muestra 01) - Cemento Tipo V

Módulo de Elasticidad					
Esfuerzo S2		Esfuerzo S1		$\epsilon$ unitaria $\epsilon_2$ (S2)	Ec (kg/cm <sup>2</sup> )
Carga (kgf)	S2	Carga (kgf)	S1		
40% f'c	(kg/cm <sup>2</sup> )	0.00005	(kg/cm <sup>2</sup> )		
16952	95.93	2058.19	11.65	0.000412	232939.17

Fuente: Pertenencia del autor

Tabla 52: Esfuerzo - Deformación Unitaria. Concreto Patrón (Muestra 02) - Cemento Tipo V

Esfuerzo ( $\sigma$ ) - Deformación Unitaria ( $\epsilon$ )					
L (cm)	Carga (kg/cm <sup>2</sup> )	Registro dial	Lectura dial (pulg)	Deformación $\epsilon_2$	Esfuerzo (kgf/cm <sup>2</sup> )
30					
d (cm)	4017	1.2	0.00123	0.000104	22.73
15	8034	2.5	0.00245	0.000207	45.46
Área (cm <sup>2</sup> )	12051	3.7	0.00368	0.000311	68.19
176.71	16068	4.9	0.00490	0.000415	90.93

Fuente: Pertenencia del autor

Tabla 53: Módulo de Elasticidad - Concreto Patrón (Muestra 02) - Cemento Tipo V

Módulo de Elasticidad					
Esfuerzo S2		Esfuerzo S1		$\epsilon$ unitaria $\epsilon_2$ (S2)	$E_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Carga (kgf)	S2 (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kgf)	S1 (kg/cm <sup>2</sup> )		
40% f'c		0.00005			
16068	90.93	1936.53	10.96	0.000415	219169.89

Fuente: Pertenencia del autor

Tabla 54: Esfuerzo - Deformación Unitaria. Concreto Patrón + 0.10% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 01) - Cemento Tipo V

Esfuerzo ( $\sigma$ ) - Deformación Unitaria ( $\epsilon$ )					
L (cm)	Carga (kg/cm <sup>2</sup> )	Registro dial	Lectura dial (pulg)	Deformación $\epsilon_2$	Esfuerzo (kgf/cm <sup>2</sup> )
30					
d (cm)	4381	1.2	0.00123	0.000104	24.79
15	8762	2.5	0.00245	0.000207	49.58
Área (cm <sup>2</sup> )	13143	3.7	0.00368	0.000311	74.37
176.71	17524	4.9	0.00490	0.000415	99.17

Fuente: Pertenencia del autor

Tabla 55: Módulo de Elasticidad - Concreto Patrón + 0.10% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 01) - Cemento Tipo V

Módulo de Elasticidad					
Esfuerzo S2		Esfuerzo S1		$\epsilon$ unitaria $\epsilon_2$ (S2)	$E_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Carga (kgf)	S2 (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kgf)	S1 (kg/cm <sup>2</sup> )		
40% f'c		0.00005			
17524	99.17	2112.00	11.95	0.000415	239029.94

Fuente: Pertenencia del autor

Tabla 56: Esfuerzo - Deformación Unitaria. Concreto Patrón + 0.10% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 02) - Cemento Tipo V

Esfuerzo ( $\sigma$ ) - Deformación Unitaria ( $\epsilon$ )					
L (cm)	Carga (kg/cm <sup>2</sup> )	Registro dial	Lectura dial (pulg)	Deformación $\epsilon_2$	Esfuerzo (kgf/cm <sup>2</sup> )
30					
d (cm)	4389	1.3	0.00126	0.000107	24.84
15	8778	2.5	0.00252	0.000213	49.67
Área (cm <sup>2</sup> )	13167	3.8	0.00378	0.000320	74.51
176.71	17556	5.0	0.00504	0.000427	99.35

Fuente: Pertenencia del autor

Tabla 57: Módulo de Elasticidad - Concreto Patrón + 0.10% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 02) - Cemento Tipo V

Módulo de Elasticidad					
Esfuerzo S2		Esfuerzo S1		$\epsilon$ unitaria $\epsilon_2$ (S2)	Ec (kg/cm <sup>2</sup> )
Carga (kgf)	S2 (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kgf)	S1 (kg/cm <sup>2</sup> )		
40% f'c		0.00005			
17556	99.35	2057.09	11.64	0.000427	232814.58

Fuente: Pertenencia del autor

Tabla 58: Esfuerzo - Deformación Unitaria. Concreto Patrón + 0.15% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 01) - Cemento Tipo V

Esfuerzo ( $\sigma$ ) - Deformación Unitaria ( $\epsilon$ )					
L (cm)	Carga (kg/cm <sup>2</sup> )	Registro dial	Lectura dial (pulg)	Deformación $\epsilon_2$	Esfuerzo (kgf/cm <sup>2</sup> )
30					
d (cm)	3764	1.2	0.00121	0.000102	21.30
15	7528	2.4	0.00242	0.000205	42.60
Área (cm <sup>2</sup> )	11292	3.6	0.00363	0.000307	63.90
176.71	15056	4.8	0.00484	0.000410	85.20

Fuente: Pertenencia del autor

Tabla 59: Módulo de Elasticidad - Concreto Patrón + 0.15% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 01) - Cemento Tipo V

Módulo de Elasticidad					
Esfuerzo S2		Esfuerzo S1		$\epsilon$ unitaria $\epsilon_2$ (S2)	Ec (kg/cm <sup>2</sup> )
Carga (kgf)	S2 (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kgf)	S1 (kg/cm <sup>2</sup> )		
40% f'c		0.00005			
15056	85.20	1837.05	10.40	0.000410	207911.92

Fuente: Pertenencia del autor

Tabla 60: Esfuerzo - Deformación Unitaria. Concreto Patrón + 0.15% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 02) - Cemento Tipo V

Esfuerzo ( $\sigma$ ) - Deformación Unitaria ( $\epsilon$ )					
L (cm)	Carga (kg/cm <sup>2</sup> )	Registro dial	Lectura dial (pulg)	Deformación $\epsilon_2$	Esfuerzo (kgf/cm <sup>2</sup> )
30					
d (cm)	3608	1.1	0.00111	0.000094	20.42
15	7216	2.2	0.00221	0.000187	40.83
Área (cm <sup>2</sup> )	10824	3.3	0.00332	0.000281	61.25
176.71	14432	4.4	0.00442	0.000374	81.67

Fuente: Pertenencia del autor

Tabla 61: Módulo de Elasticidad - Concreto Patrón + 0.15% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 02) - Cemento Tipo V

Módulo de Elasticidad					
Esfuerzo S2		Esfuerzo S1		$\epsilon$ unitaria $\epsilon_2$ (S2)	Ec (kg/cm <sup>2</sup> )
Carga (kgf)	S2	Carga (kgf)	S1		
40% f'c	(kg/cm <sup>2</sup> )	0.00005	(kg/cm <sup>2</sup> )		
14432	81.67	1928.24	10.91	0.000374	218232.48

Fuente: Pertenencia del autor

Tabla 62: Esfuerzo - Deformación Unitaria. Concreto Patrón + 0.20% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 01) - Cemento Tipo V

Esfuerzo ( $\sigma$ ) - Deformación Unitaria ( $\epsilon$ )					
L (cm)	Carga (kg/cm <sup>2</sup> )	Registro dial	Lectura dial (pulg)	Deformación $\epsilon_2$	Esfuerzo (kgf/cm <sup>2</sup> )
30					
d (cm)	3608	1.1	0.00115	0.000097	20.42
15	7216	2.3	0.00229	0.000194	40.83
Área (cm <sup>2</sup> )	10824	3.4	0.00344	0.000291	61.25
176.71	14432	4.6	0.00458	0.000388	81.67

Fuente: Pertenencia del autor

Tabla 63: Módulo de Elasticidad - Concreto Patrón + 0.20% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 01) - Cemento Tipo V

Módulo de Elasticidad					
Esfuerzo S2		Esfuerzo S1		$\epsilon$ unitaria $\epsilon_2$ (S2)	Ec (kg/cm <sup>2</sup> )
Carga (kgf)	S2	Carga (kgf)	S1		
40% f'c	(kg/cm <sup>2</sup> )	0.00005	(kg/cm <sup>2</sup> )		
14432	81.67	1860.88	10.53	0.000388	210608.64

Fuente: Pertenencia del autor

Tabla 64: Esfuerzo - Deformación Unitaria. Concreto Patrón + 0.20% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 02) - Cemento Tipo V

Esfuerzo ( $\sigma$ ) - Deformación Unitaria ( $\epsilon$ )					
L (cm)	Carga (kg/cm <sup>2</sup> )	Registro dial	Lectura dial (pulg)	Deformación $\epsilon_2$	Esfuerzo (kgf/cm <sup>2</sup> )
30					
d (cm)	3710	1.2	0.00120	0.000102	20.99
15	7420	2.4	0.00240	0.000203	41.99
Área (cm <sup>2</sup> )	11130	3.6	0.00360	0.000305	62.98
176.71	14840	4.8	0.00480	0.000406	83.98

Fuente: Pertenencia del autor

Tabla 65: Módulo de Elasticidad - Concreto Patrón + 0.20% Nanoplacas de Grafeno (Muestra 02) - Cemento Tipo V

Módulo de Elasticidad					
Esfuerzo S2		Esfuerzo S1		$\epsilon$ unitaria $\epsilon_2$ (S2)	$E_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Carga (kgf)	S2 (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kgf)	S1 (kg/cm <sup>2</sup> )		
40% f'c		0.00005			
14840	83.98	1825.79	10.33	0.000406	206636.86

Fuente: Pertenencia del autor

Finalmente tenemos un resumen de los valores promedio de módulo de elasticidad obtenidos para cada uno de los diseños con cada tipo de cemento y con una comparación del valor experimental y teórico:

Tabla 66: Comparación del Módulo de Elasticidad Experimental y Teórico - Cemento Tipo I

IDENTIFICACIÓN	E experimental (kg/cm <sup>2</sup> )	E teórico (kg/cm <sup>2</sup> )
CONCRETO PATRÓN - f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> - CEMENTO TIPO I	220922.30	224246.73
CONCRETO PATRÓN + 0.10% NANOPLACAS DE GRAFENO - f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> - CEMENTO TIPO I	229210.71	232621.32
CONCRETO PATRÓN + 0.15% NANOPLACAS DE GRAFENO - f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> - CEMENTO TIPO I	212783.67	217882.39
CONCRETO PATRÓN + 0.20% NANOPLACAS DE GRAFENO - f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> - CEMENTO TIPO I	208483.88	210647.57

Fuente: Pertenencia del autor

*Tabla 67: Comparación del Módulo de Elasticidad Experimental y Teórico - Cemento Tipo V*

IDENTIFICACIÓN	E experimental (kg/cm <sup>2</sup> )	E teórico (kg/cm <sup>2</sup> )
CONCRETO PATRÓN - f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> - CEMENTO TIPO V	226054.53	229244.33
CONCRETO PATRÓN + 0.10% NANOPLACAS DE GRAFENO - f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> - CEMENTO TIPO V	235922.26	236287.02
CONCRETO PATRÓN + 0.15% NANOPLACAS DE GRAFENO - f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> - CEMENTO TIPO V	213072.20	216637.05
CONCRETO PATRÓN + 0.20% NANOPLACAS DE GRAFENO - f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> - CEMENTO TIPO V	208622.75	215842.15

*Fuente: Pertenencia del autor*

En la Tabla 66 y Tabla 67 se tienen los valores alcanzados de módulo de elasticidad para probetas elaboradas con cemento Tipo I y Tipo V. En ambos casos se evidencia como la adición del 0.10% de nanoplacas de grafeno logra mejorar esta propiedad y nuevamente las adiciones de 0.15% y 0.20% no resultan ser las adecuadas.

Para los resultados de módulo de elasticidad, los valores experimentales alcanzados vienen a ser los realizados mediante el ensayo. Mientras que los valores teóricos vienen a ser el cálculo mediante fórmula estipulado por el ATM C 469 [20], la cual es:

$$E = 15000 \times \sqrt{f'c}$$

Teniendo como base lo estipulado por la norma, la adición de 0.10% está cumpliendo con el cálculo base del módulo de elasticidad, por otra parte, para las demás adiciones pese que sus valores están alrededor del valor teórico, no se puede dejar de señalar que sus valores se encuentran por debajo del teórico. Todo esto guarda relación con la resistencia a la compresión, en este caso el módulo de elasticidad también aumenta solo con la adición de 0.10% de nanoplacas de grafeno.

### ***Durabilidad ante sulfato de sodio***

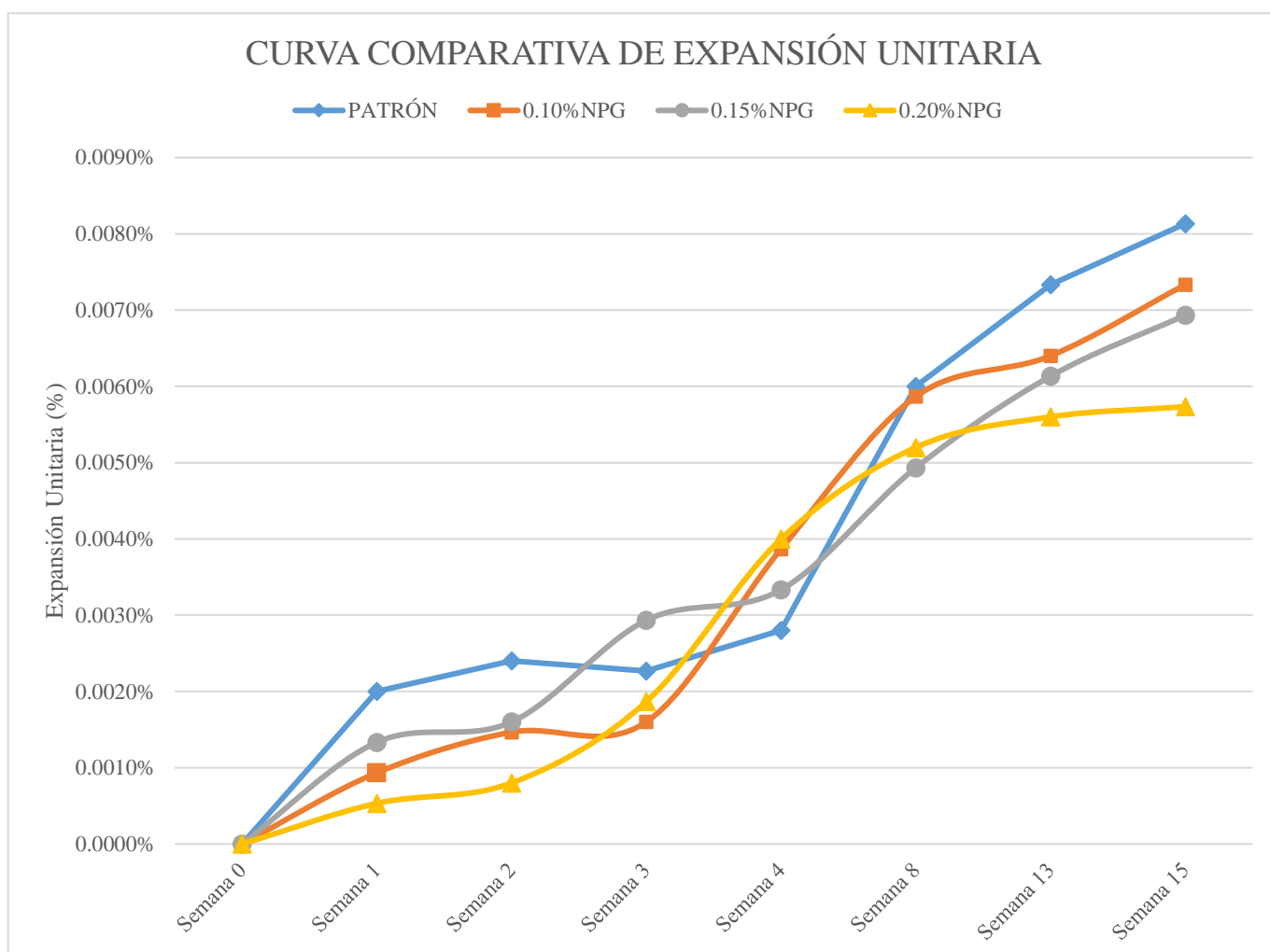
A continuación, se presentan los valores de cambio de expansión unitaria expresados en porcentajes para cada una de las muestras. Cabe señalar que esta variación según lo estipulado por la norma ASTM C 1012 para muestras hechas con cemento portland no debe ser mayor a 0.01%.

Tabla 68: Expansión unitaria frente a sulfato de sodio

TIEMPO DE LECTURA		EXPANSIÓN UNITARIA			
SEMANA	FECHA	PATRÓN	0.10%NPG	0.15%NPG	0.20%NPG
Semana 0	21/11/2022	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%
Semana 1	28/11/2022	0.0020%	0.0009%	0.0013%	0.0005%
Semana 2	05/12/2022	0.0024%	0.0015%	0.0016%	0.0008%
Semana 3	12/12/2022	0.0023%	0.0016%	0.0029%	0.0019%
Semana 4	19/12/2022	0.0028%	0.0039%	0.0033%	0.0040%
Semana 8	16/01/2023	0.0060%	0.0059%	0.0049%	0.0052%
Semana 13	20/02/2023	0.0073%	0.0064%	0.0061%	0.0056%
Semana 15	06/03/2023	0.0081%	0.0073%	0.0069%	0.0057%

Fuente: Pertenencia del autor

Ilustración 61: Curva comparativa de expansión unitaria frente a sulfato de sodio



Fuente: Pertenencia del autor

La norma ASTM C 1012 [22] establece la toma de medidas exclusivamente en las semanas señaladas en la Tabla 68; sin embargo, de existir una variación significativa entre dos lecturas se deberá tomar medidas en un menor rango de tiempo. En este caso los valores se han mantenido sin presencia de variaciones exageradas.

Tal como se evidencia en la Tabla 68, los valores para todas las muestras con adición de nanoplacas de grafeno se encuentran por debajo de la expansión presentada por el concreto patrón. Además, cabe señalar que los valores incluido el concreto patrón tiene una expansión unitaria menor al 0.01%, de esta manera se estaría cumpliendo por lo estipulado por la norma.

De la Ilustración 61 podemos decir que las adiciones en las primeras semanas presentan menor expansión en comparación con el concreto patrón, pero finalmente en las últimas semanas se observa cómo se expanden hasta llegar a un valor aproximado al del concreto patrón. Estos resultados guardan relación con lo mencionado por D. Dimov et al. [3] donde el endurecimiento con este tipo de nanomaterial viene a estar dado con la reacción que se genera con la hidratación del cemento. Estos nanomateriales al igual que las nanoplacas ocupan vacíos y de esta manera generan puentes de adherencia permitiendo así obtener un elemento más compacto y menos vulnerable frente a agentes externos. Sin embargo, estas nanoplacas son una mejora física más no química, lo cual se ve reflejado en la ilustración donde se ve como en las primeras semanas se mantiene por debajo de la expansión de la muestra patrón de manera constante.

### ***Durabilidad ante sulfato de magnesio***

Para este ensayo se presentan los valores de cambio de peso expresados en gramos y porcentajes para cada una de las muestras.

*Tabla 69: Variación de peso de dados de concreto - Durabilidad ante de sulfato de magnesio*

	<b>Muestra</b>	<b>Peso Inicial (g)</b>	<b>Peso Final (g)</b>	<b>Variación (g)</b>	<b>% Variación</b>
<b>Concreto Patrón</b>	1	276.25	276.25	0.00	0.00%
	2	273.97	273.97	0.00	0.00%
	3	271.85	271.85	0.00	0.00%
<b>Concreto Patrón + 0.10% Nanoplasas de Grafeno</b>	1	278.28	278.28	0.00	0.00%
	2	271.59	271.59	0.00	0.00%
	3	272.59	272.59	0.00	0.00%
<b>Concreto Patrón + 0.15% Nanoplasas de Grafeno</b>	1	269.04	269.04	0.00	0.00%
	2	267.76	267.76	0.00	0.00%
	3	269.63	269.63	0.00	0.00%
<b>Concreto Patrón + 0.20% Nanoplasas de Grafeno</b>	1	266.47	266.47	0.00	0.00%
	2	268.32	268.32	0.00	0.00%
	3	265.96	265.96	0.00	0.00%

*Fuente: Pertenencia del autor*

De la Tabla 69, podemos ver como no existe disminución del peso en los dados de concreto, dándonos a entender que no hay pérdidas frente a la acción del sulfato de magnesio. Estos resultados tienen coherencia con los obtenidos en el ensayo anterior, donde no se obtuvo compresiones significativas.

Adicionalmente, estos resultados también pueden deberse a lo señalado por D. Dimov et al. [3] donde las adiciones de este tipo de nanomaterial generan sobre el concreto que su zona elástica sea más empinada logrando así un concreto más rígido.

### ***Durabilidad ante el desgaste***

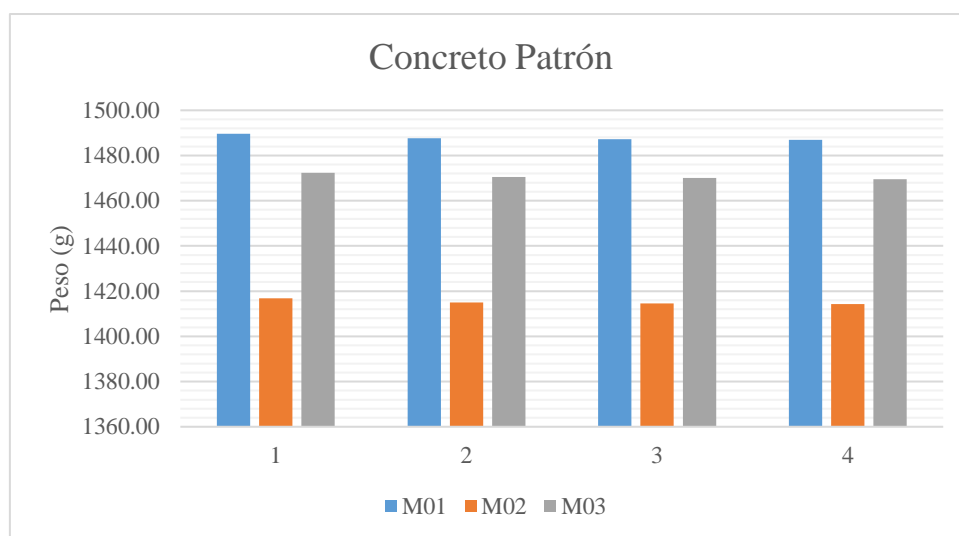
En la siguiente tabla, se plasman los valores de desgaste expresados en porcentajes para cada una de las muestras.

*Tabla 70: Porcentaje de desgaste - Concreto Patrón*

	Peso Inicial (g)	1° Ciclo (g)	2° Ciclo (g)	3° Ciclo (g)	% Desgaste	% Desgaste Promedio
M01	1489.56	1487.70	1487.24	1486.88	0.18	0.18
M02	1416.79	1414.96	1414.61	1414.23	0.18	
M03	1472.28	1470.45	1470.09	1469.51	0.19	

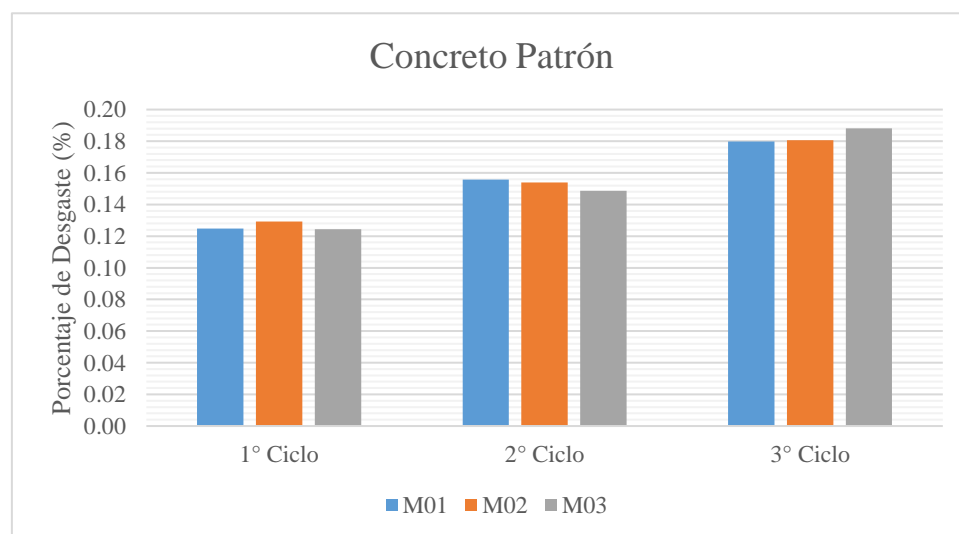
*Fuente: Pertenencia del autor*

*Ilustración 62: Pesos de muestras en cada ciclo - Concreto Patrón*



*Fuente: Pertenencia del autor*

*Ilustración 63: Porcentaje de desgaste por ciclo - Concreto Patrón*



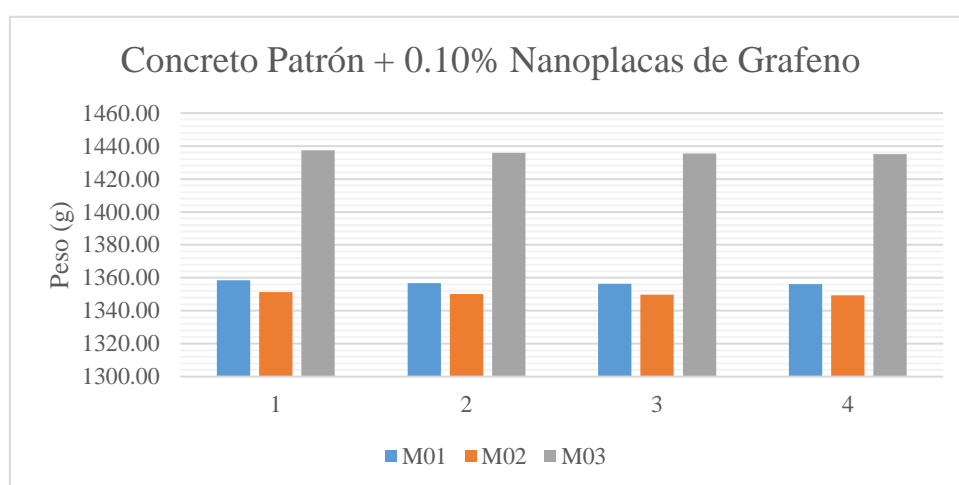
*Fuente: Pertenencia del autor*

*Tabla 71: Porcentaje de desgaste - Concreto Patrón + 0.10% Nanoplacas de Grafeno*

	Peso Inicial (g)	1° Ciclo (g)	2° Ciclo (g)	3° Ciclo (g)	% Desgaste	% Desgaste Promedio
M01	1358.46	1356.80	1356.44	1356.10	0.17	0.16
M02	1351.26	1350.13	1349.84	1349.28	0.15	
M03	1437.43	1435.90	1435.50	1435.08	0.16	

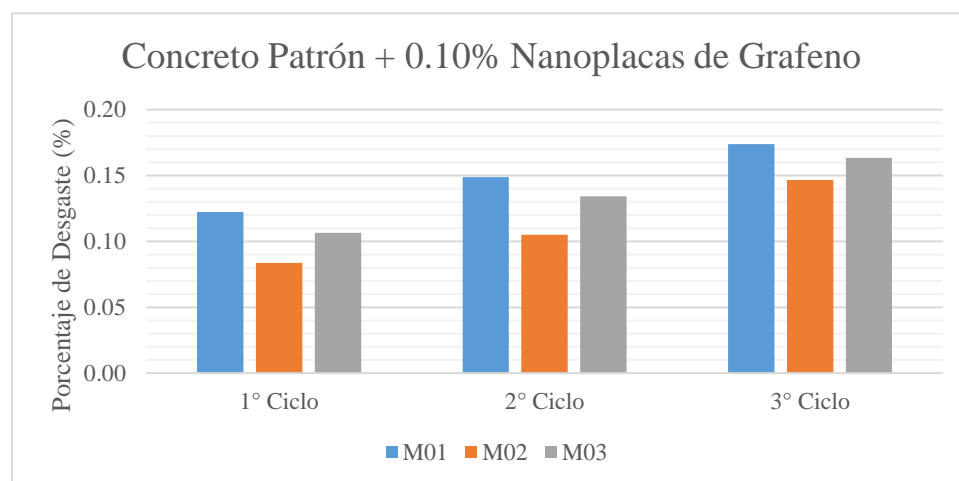
*Fuente: Pertenencia del autor*

*Ilustración 64: Pesos de muestras en cada ciclo - Concreto Patrón + 0.10% Nanoplacas de grafeno*



*Fuente: Pertenencia del autor*

*Ilustración 65: Porcentaje de desgaste por ciclo - Concreto Patrón + 0.10% Nanoplacas de Grafeno*



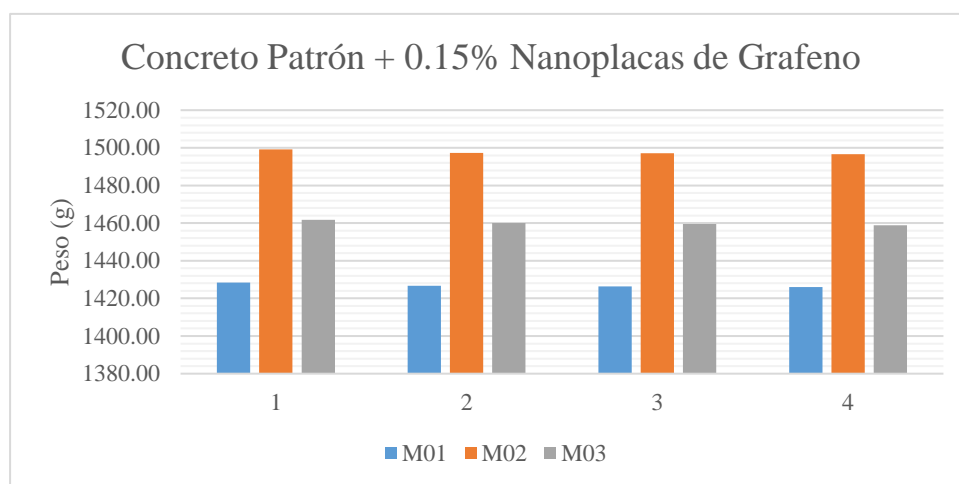
*Fuente: Pertenencia del autor*

Tabla 72: Porcentaje de desgaste - Concreto Patrón + 0.15% Nanoplacas de Grafeno

	Peso Inicial (g)	1° Ciclo (g)	2° Ciclo (g)	3° Ciclo (g)	% Desgaste	% Desgaste Promedio
M01	1428.38	1426.70	1426.44	1426.08	0.16	0.18
M02	1499.15	1497.33	1497.07	1496.61	0.17	
M03	1461.74	1459.98	1459.52	1458.86	0.20	

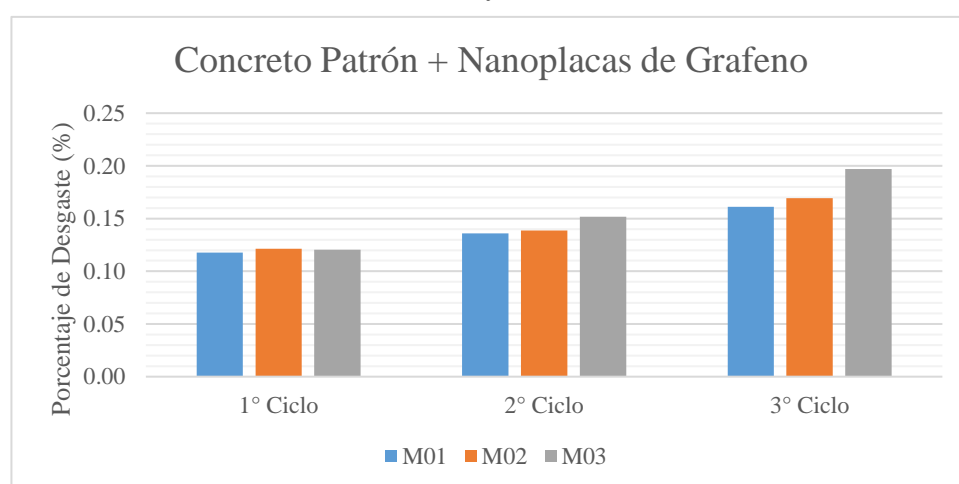
Fuente: Pertenencia del autor

Ilustración 66: Pesos de muestras en cada ciclo - Concreto Patrón + 0.15% Nanoplacas de



Fuente: Pertenencia del autor

Ilustración 67: Porcentaje de desgaste por ciclo - Concreto Patrón + 0.15% Nanoplacas de Grafeno



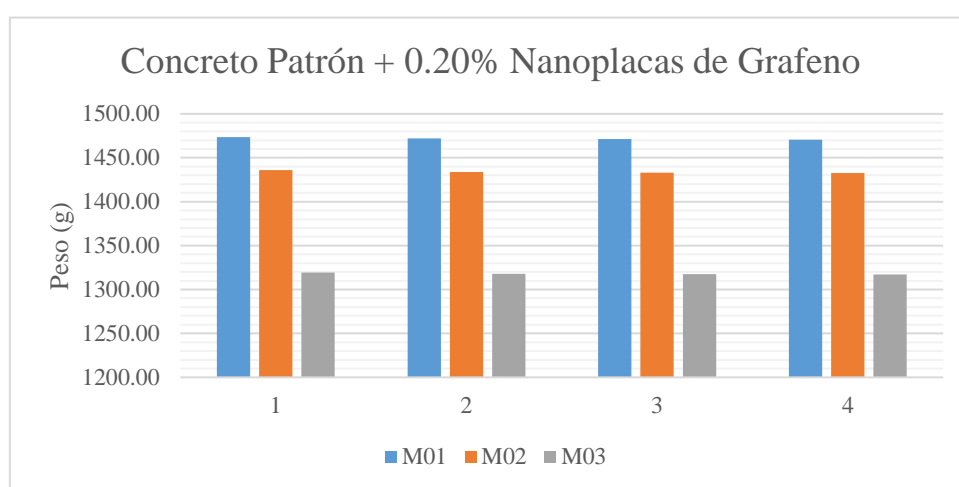
Fuente: Pertenencia del autor

*Tabla 73: Porcentaje de desgaste - Concreto Patrón + 0.20% Nanoplacas de Grafeno*

	Peso Inicial (g)	1° Ciclo (g)	2° Ciclo (g)	3° Ciclo (g)	% Desgaste	% Desgaste Promedio
M01	1473.49	1471.95	1471.37	1470.62	0.19	0.20
M02	1435.90	1433.72	1433.17	1432.80	0.22	
M03	1319.48	1317.82	1317.39	1317.05	0.18	

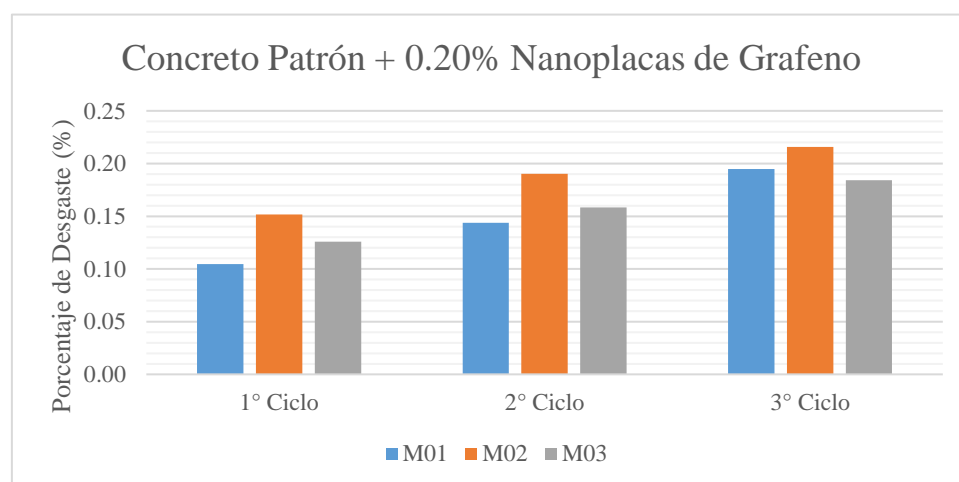
*Fuente: Pertenencia del autor*

*Ilustración 68: Pesos de muestras en cada ciclo - Concreto Patrón + 0.20% Nanoplacas de Grafeno*



*Fuente: Pertenencia del autor*

*Ilustración 69: Porcentaje de desgaste por ciclo - Concreto Patrón + 0.20% Nanoplacas de Grafeno*



*Fuente: Pertenencia del autor*

Habiendo obtenido los resultados, podemos ver que la muestra patrón presenta un desgaste del 0.18% y las adiciones presentan un desgaste del 0.10%, 0.18% y 0.20% para los porcentajes de adición de 0.10%, 0.15% y 0.20% de nanoplacas de grafeno respectivamente. Vemos que el porcentaje de 0.10% de NPG tiene un menor valor, lo que indica que es menos propenso al desgaste. Por otra parte, el porcentaje de 0.15% NPG no presenta alteraciones y para las muestras de 0.20% su desgaste promedio aumenta. Estos valores se ven relacionados con la resistencia a compresión obtenida, al tener una mayor resistencia las muestras con 0.10% de nanoplacas de grafeno presentan una mayor durabilidad frente al desgaste.

### ***Profundidad de penetración de agua bajo presión***

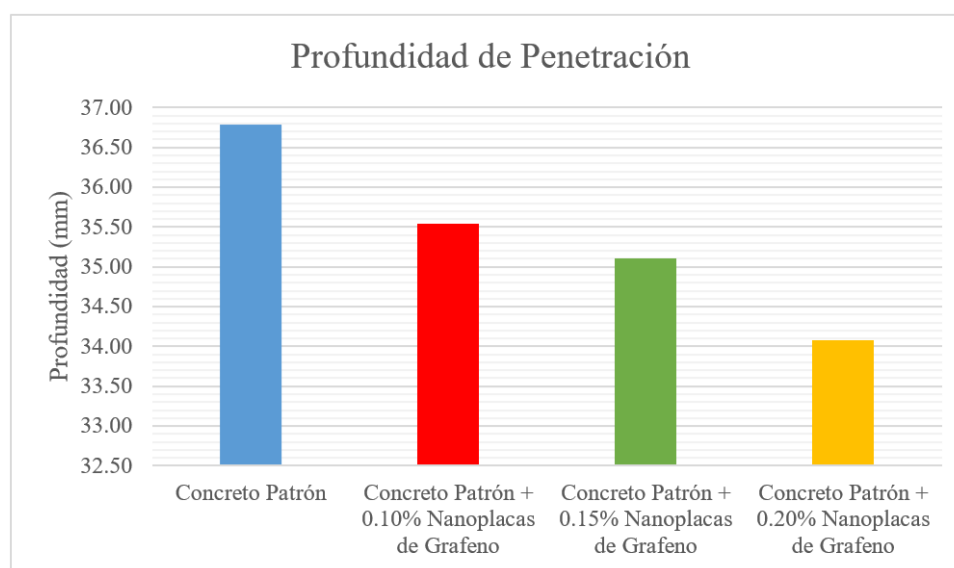
Para el presente ensayo se muestran los valores de penetración expresados en milímetros para cada una de las muestras.

*Tabla 74: Penetración para cada diseño*

Identificación	Penetración (mm) Probeta 01		Penetración (mm) Probeta 02		Penetración (mm) Probeta 03		Penetración Promedio (mm)
	Cara A	Cara B	Cara A	Cara B	Cara A	Cara B	
	Concreto Patrón	35.80	36.89	37.34	37.13	36.59	
Concreto Patrón + 0.10% Nanoplasas de Grafeno	36.74	36.38	35.05	35.52	34.45	35.10	35.54
Concreto Patrón + 0.15% Nanoplasas de Grafeno	35.19	36.78	34.78	34.30	34.27	35.31	35.11
Concreto Patrón + 0.20% Nanoplasas de Grafeno	32.92	33.97	33.67	34.43	34.68	34.80	34.08

*Fuente: Pertenencia del autor*

*Ilustración 70: Penetración para cada diseño*



*Fuente: Pertenencia del autor*

En la Tabla 74 podemos apreciar que el concreto patrón presenta una penetración de agua promedio de 36.79 mm, mientras que las muestras de 0.10%, 0.15% y 0.20% de nanoplacas de grafeno tiene una penetración de agua de 35.54, 35.11 y 34.08 mm respectivamente. Lo que nos da a entender que a mayor sea el porcentaje de nanoplacas menor será la profundidad de penetración de agua. Tal y como lo especifica D. E. Bartra [2], esto se debe a gran parte al tamaño del nanomaterial siendo este tan pequeño llega a ocupar los poros que se encuentran presentes en el concreto y de esta manera dificulta el ingreso del agua.

### *Evaluación económica*

En este punto se presenta una Análisis de Precios Unitarios que nos permite conocer el costo de producción por m<sup>3</sup> del concreto patrón y m<sup>3</sup> de concreto adicionado con nanoplacas de grafeno con cemento Tipo I y Tipo V. De esta manera conoceremos si el empleo del nanomaterial resulta viable económicamente.

### *Análisis de Precios Unitarios – Cemento Tipo I*

*Tabla 75: APU Cemento Tipo I - Concreto Patrón*

PATRON TIPO1				TOTAL :	515.68
Partida:				Vigas de cimentación Concreto, f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup>	
Rendimiento:				80 m <sup>3</sup> /día	
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Unitario	Parcial
<b>MANO DE OBRA</b>					89.91
Capataz	hh	0.9	0.0900	28.19	2.54
Operario	hh	8	0.8000	23.49	18.79
Oficial	hh	8	0.8000	18.57	14.86
Peon	hh	32	3.2000	16.79	53.73
<b>MATERIALES</b>					421.12
Cemento portland tipo I	bls		11.4953	30.5	350.61
Arena gruesa	m <sup>3</sup>		0.5181	50	25.90
Piedra chancada 3/4"	m <sup>3</sup>		0.7408	58	42.97
Agua	m <sup>3</sup>		0.2644	6.2	1.64
<b>EQUIPO Y HERRAMIENTA</b>					4.65
Desgaste de herramientas	%MO		3.0000	89.91	2.70
Máquina mezcladora 11p3	hm	1	0.1000	12	1.20
Vibrador 4HP, D=2"	hm	0.75	0.0750	10	0.75

*Fuente: Pertenencia del autor*

*Tabla 76: APU Cemento Tipo I - Concreto Patrón + 0.10% NPG*

**Partida:** Vigas de cimentación Concreto,  $f_c=210 \text{ kg/cm}^2 + 0.10\% \text{ NPG}$   
**Rendimiento:** 80 m<sup>2</sup>/día

				<b>TOTAL :</b>	<b>840.82</b>
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Unitario	Parcial
<b>MANO DE OBRA</b>					89.92
Capataz	hh	0.9	0.0900	28.19	2.54
Operario	hh	8	0.8000	23.49	18.79
Oficial	hh	8	0.8000	18.57	14.86
Peon	hh	32	3.2000	16.79	53.73
<b>MATERIALES</b>					746.25
Cemento portland tipo I	bls		11.4931	30.5	350.54
Arena gruesa	m3		0.5180	50	25.90
Piedra chancada 3/4"	m3		0.7407	58	42.96
Agua	m3		0.2643	6.2	1.64
Nanoplacas de grafeno	kg		0.4885	665.8	325.21
<b>EQUIPO Y HERRAMIENTA</b>					4.65
Desgaste de herramientas	%MO		3.0000	89.92	2.70
Máquina mezcladora 11p3	hm	1	0.1000	12	1.20
Vibrador 4HP, D=2"	hm	0.75	0.0750	10	0.75

*Fuente: Pertenencia del autor*

*Tabla 77: APU Cemento Tipo I - Concreto Patrón + 0.15% NPG*

**Partida:** Vigas de cimentación Concreto,  $f_c=210 \text{ kg/cm}^2 + 0.15\% \text{ NPG}$   
**Rendimiento:** 80 m<sup>3</sup>/día

				<b>TOTAL :</b>	<b>1003.36</b>
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Unitario	Parcial
<b>MANO DE OBRA</b>					89.92
Capataz	hh	0.9	0.0900	28.19	2.54
Operario	hh	8	0.8000	23.49	18.79
Oficial	hh	8	0.8000	18.57	14.86
Peon	hh	32	3.2000	16.79	53.73
<b>MATERIALES</b>					908.79
Cemento portland tipo I	bls		11.4920	30.5	350.51
Arena gruesa	m3		0.5179	50	25.90
Piedra chancada 3/4"	m3		0.7406	58	42.96
Agua	m3		0.2643	6.2	1.64
Nanoplacas de grafeno	kg		0.7326	665.8	487.78
<b>EQUIPO Y HERRAMIENTA</b>					4.65
Desgaste de herramientas	%MO		3.0000	89.92	2.70
Máquina mezcladora 11p3	hm	1	0.1000	12	1.20
Vibrador 4HP, D=2"	hm	0.75	0.0750	10	0.75

*Fuente: Pertenencia del autor*

*Tabla 78: APU Cemento Tipo I - Concreto Patrón + 0.20% NPG*

<b>Partida:</b>		Vigas de cimentación Concreto, $f_c=210 \text{ kg/cm}^2 + 0.20\% \text{ NPG}$			
<b>Rendimiento:</b>		80	m <sup>3</sup> /día	<b>TOTAL :</b>	<b>1165.83</b>
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Unitario	Parcial
<b>MANO DE OBRA</b>					89.92
Capataz	hh	0.9	0.0900	28.19	2.54
Operario	hh	8	0.8000	23.49	18.79
Oficial	hh	8	0.8000	18.57	14.86
Peon	hh	32	3.2000	16.79	53.73
<b>MATERIALES</b>					1071.26
Cemento portland tipo I	bls		11.4909	30.5	350.47
Arena gruesa	m <sup>3</sup>		0.5179	50	25.89
Piedra chancada 3/4"	m <sup>3</sup>		0.7406	58	42.95
Agua	m <sup>3</sup>		0.2643	6.2	1.64
Nanoplacas de grafeno	kg		0.9767	665.8	650.31
<b>EQUIPO Y HERRAMIENTA</b>					4.65
Desgaste de herramientas	%MO		3.0000	89.92	2.70
Máquina mezcladora 11p3	hm	1	0.1000	12	1.20
Vibrador 4HP, D=2"	hm	0.75	0.0750	10	0.75

*Fuente: Pertenencia del autor*

### *Análisis de Precios Unitarios – Cemento Tipo V*

*Tabla 79: APU Cemento Tipo V - Concreto Patrón*

<b>Partida:</b>		Vigas de cimentación Concreto, $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$			
<b>Rendimiento:</b>		80	m <sup>3</sup> /día	<b>TOTAL :</b>	<b>553.39</b>
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Unitario	Parcial
<b>MANO DE OBRA</b>					89.91
Capataz	hh	0.9	0.0900	28.19	2.54
Operario	hh	8	0.8000	23.49	18.79
Oficial	hh	8	0.8000	18.57	14.86
Peon	hh	32	3.2000	16.79	53.73
<b>MATERIALES</b>					458.83
Cemento portland tipo V	bls		11.7848	33	388.90
Arena gruesa	m <sup>3</sup>		0.5042	50	25.21
Piedra chancada 3/4"	m <sup>3</sup>		0.7420	58	43.04
Agua	m <sup>3</sup>		0.2711	6.2	1.68
<b>EQUIPO Y HERRAMIENTA</b>					4.65
Desgaste de herramientas	%MO		3.0000	89.91	2.70
Máquina mezcladora 11p3	hm	1	0.1000	12	1.20
Vibrador 4HP, D=2"	hm	0.75	0.0750	10	0.75

*Fuente: Pertenencia del autor*

*Tabla 80: APU Cemento Tipo V - Concreto Patrón + 0.10% NPG*

<b>Partida:</b>		Vigas de cimentación Concreto, $f_c=210 \text{ kg/cm}^2 + 0.10\% \text{ NPG}$			
<b>Rendimiento:</b>		80	m2/día	<b>TOTAL :</b>	<b>886.71</b>
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Unitario	Parcial
<b>MANO DE OBRA</b>					89.92
Capataz	hh	0.9	0.0900	28.19	2.54
Operario	hh	8	0.8000	23.49	18.79
Oficial	hh	8	0.8000	18.57	14.86
Peon	hh	32	3.2000	16.79	53.73
<b>MATERIALES</b>					792.14
Cemento portland tipo V	bls		11.7825	33	388.82
Arena gruesa	m3		0.5041	50	25.21
Piedra chancada 3/4"	m3		0.7419	58	43.03
Agua	m3		0.2710	6.2	1.68
Nanoplacas de grafeno	kg		0.5008	665.8	333.40
<b>EQUIPO Y HERRAMIENTA</b>					4.65
Desgaste de herramientas	%MO		3.0000	89.92	2.70
Máquina mezcladora 11p3	hm	1	0.1000	12	1.20
Vibrador 4HP, D=2"	hm	0.75	0.0750	10	0.75

*Fuente: Pertenencia del autor*

*Tabla 81: APU Cemento Tipo V - Concreto Patrón + 0.15% NPG*

<b>Partida:</b>		Vigas de cimentación Concreto, $f_c=210 \text{ kg/cm}^2 + 0.15\% \text{ NPG}$			
<b>Rendimiento:</b>		80	m3/día	<b>TOTAL :</b>	<b>1053.32</b>
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Unitario	Parcial
<b>MANO DE OBRA</b>					89.92
Capataz	hh	0.9	0.0900	28.19	2.54
Operario	hh	8	0.8000	23.49	18.79
Oficial	hh	8	0.8000	18.57	14.86
Peon	hh	32	3.2000	16.79	53.73
<b>MATERIALES</b>					958.75
Cemento portland tipo V	bls		11.7814	33	388.79
Arena gruesa	m3		0.5041	50	25.20
Piedra chancada 3/4"	m3		0.7418	58	43.02
Agua	m3		0.2710	6.2	1.68
Nanoplacas de grafeno	kg		0.7511	665.8	500.06
<b>EQUIPO Y HERRAMIENTA</b>					4.65
Desgaste de herramientas	%MO		3.0000	89.92	2.70
Máquina mezcladora 11p3	hm	1	0.1000	12	1.20
Vibrador 4HP, D=2"	hm	0.75	0.0750	10	0.75

*Fuente: Pertenencia del autor*

*Tabla 82: APU Cemento Tipo V - Concreto Patrón + 0.20% NPG*

<b>Partida:</b>		Vigas de cimentación Concreto, $f_c=210 \text{ kg/cm}^2 + 0.20\% \text{ NPG}$			
<b>Rendimiento:</b>		80	m <sup>3</sup> /día	<b>TOTAL :</b>	<b>1219.90</b>
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Unitario	Parcial
<b>MANO DE OBRA</b>					<b>89.92</b>
Capataz	hh	0.9	0.0900	28.19	2.54
Operario	hh	8	0.8000	23.49	18.79
Oficial	hh	8	0.8000	18.57	14.86
Peon	hh	32	3.2000	16.79	53.73
<b>MATERIALES</b>					<b>1125.33</b>
Cemento portland tipo V	bls		11.7803	33	388.75
Arena gruesa	m <sup>3</sup>		0.5040	50	25.20
Piedra chancada 3/4"	m <sup>3</sup>		0.7417	58	43.02
Agua	m <sup>3</sup>		0.2709	6.2	1.68
Nanoplacas de grafeno	kg		1.0013	665.8	666.68
<b>EQUIPO Y HERRAMIENTA</b>					<b>4.65</b>
Desgaste de herramientas	%MO		3.0000	89.92	2.70
Máquina mezcladora 11p3	hm	1	0.1000	12	1.20
Vibrador 4HP, D=2"	hm	0.75	0.0750	10	0.75

*Fuente: Pertenencia del autor*

Para la elaboración del APU se ha tomado como partida a “Vigas de cimentación”, de la cual su costo por m<sup>3</sup> de concreto con cemento Tipo I para la muestra patrón ha sido de 515.68 soles. Tal como se puede evidenciar, al añadir las nanoplacas de grafeno los costos han subido significativamente aumentando el costo total en 325.14, 487.68 y 650.15 soles para concreto con adición de 0.10%, 0.15% y 0.20% respectivamente.

De mismo modo sucede con el concreto en el cual se usó cemento tipo V, para un m<sup>3</sup> de concreto patrón se tiene un costo de 553.39 soles mientras que adicionando las nanoplacas de grafeno se tiene que para un 0.10%, 0.15% y 0.20% los costos aumentan en un 333.32, 499.93 y 666.51 soles respectivamente.

## Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos y la evaluación hecha, los tres porcentajes de adición de nanoplacas de grafeno afectan positivamente y negativamente en distintas medidas al concreto, de estos tres porcentajes el que mejor resultados brinda de manera general es la adición de 0.10% NPG ya que en la resistencia a la compresión fue la única adición que logró mejorar dicha propiedad y en cuanto a la durabilidad presenta excelentes resultados dando a entender que tiene una buena respuesta frente a agentes externos. Por otra parte, los porcentajes de 0.15% y 0.20% tanto en resistencia a la compresión y durabilidad no dan buenos resultados, y por el contrario afectan al diseño base.

Habiendo obtenido las propiedades de los agregados de la zona, se pudo constatar que son óptimos para su uso ya que para todos los ensayos realizados a estos siempre cumplieron con lo especificado en las normativas. Para el proceso de adición de las nanoplacas de grafeno, estas fueron añadidas de manera directa a la mezcla, previamente mezclado con el agua hasta lograr que el material se incorpore simulando una dispersión, este procedimiento de adición fue adoptado pensando en la elaboración de concreto de manera particular, ya que en estas condiciones es complicado que se cuente con la máquina de dispersión y sobre todo con el tiempo y trabajo previo que toma la preparación del nanomaterial.

El diseño de mezcla fue elaborado siguiendo y respetando los parámetros establecidos por el ACI-211, ya que dichos parámetros previenen posibles errores humanos al momento de realizar el concreto y además previenen posibles problemas generados por agentes externos. De esta manera el diseño de mezcla elaborado cumplió con lo solicitado ya que se elaboró para obtener un concreto de 210 kg/cm<sup>2</sup>, finalmente se obtuvo 223.50 kg/cm<sup>2</sup> y 233.57 kg/cm<sup>2</sup> para el diseño con cemento Tipo I y Tipo V respectivamente.

Los valores de resistencia a la compresión para la muestra patrón, muestra con 0.10% NPG, muestra con 0.15% NPG y muestra con 0.20% NPG elaboradas con cemento Tipo I fueron de 223.50 kg/cm<sup>2</sup>, 240.50 kg/cm<sup>2</sup>, 210.99 kg/cm<sup>2</sup> y 197.21 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. Para la durabilidad frente a sulfato de sodio las expansiones obtenidas fueron menores al 0.01% en todas las muestras. Frente a la durabilidad ante el desgaste se obtuvo porcentajes de desgaste del 0.18%, 0.16%, 0.18% y 0.20% para concreto patrón, 0.10% NPG, 0.15% NPG y 0.20% NPG respectivamente. Finalmente, para la profundidad de penetración de agua bajo presión la profundidad promedio obtenida fue de 36.79 mm, 35.54 mm, 35.11 mm y 34.08 mm para concreto patrón, 0.10% NPG, 0.15% NPG y 0.20% NPG respectivamente.

Haciendo una comparación en la resistencia a la compresión de la muestra patrón con las adiciones, para el caso de probetas elaboradas con cemento tipo I la adición de 0.10% de NPG

logra mejorar dicha propiedad en un 7.61%, mientras que las adiciones de 0.15% y 0.20% disminuyen la resistencia en un 5.6% y 11.76% respectivamente. Para la durabilidad frente a sulfato de sodio la expansión con respecto a la muestra patrón se ve reducida en un 9.84%, 14.57% y 29.51% para las adiciones de 0.10%, 0.15% y 0.20% de NPG respectivamente. Frente a la durabilidad ante el desgaste la adición de 0.10% disminuyó su desgaste en un 0.02% frente a la muestra patrón. Finalmente, para la profundidad de penetración de agua bajo presión presentó una disminución de 1.25%, 1.68% y 2.71% para las adiciones de 0.10% NPG, 0.15% NPG y 0.20% NPG respectivamente.

La evaluación económica nos evidenció que el adicionar nanoplacas de grafeno conlleva aumentar los costos significativamente, esto debido al alto costo de mercado del producto actualmente. El uso de porcentajes mayores de NPG provocó elevados costos, lo cual hace inviable su empleo; sin embargo, ha queda evidenciado que los mejores resultados se obtienen con porcentajes de adición bajos, es por ello que su uso no queda descartado ya te actualmente se le realizan innumerables adiciones al concreto para lograr cumplir ciertas existencias, estas adiciones no siempre son poco costosas, frente a esta situación las NPG pueden formar parte de las opciones de adición al concreto.

## **Recomendaciones**

Almacenar los agregados en ambientes idóneos y no expuestos a la intemperie, ya que de no ser así afecta directamente al diseño de mezcla.

Para los ensayos donde se realicen rotura o corte de especímenes, se debe llevar los EPPs adecuados para evitar posibles accidentes con fragmentos y/o polvo.

De desearse sacarle un máximo provecho al nanomaterial, se recomienda realizar el proceso de dispersión, ya que a pesar de que en esta investigación quedó evidencia que simplemente adicionando las nanoplacas de grafeno se logra mejorar las propiedades del concreto, otras investigaciones han determinado que el proceso de dispersión logra mejorar aún más las propiedades del concreto.

Usar porcentajes menores a 0.10% de nanoplacas de grafeno para obtener buenos resultados y que el uso de este nanomaterial no implique elevar los costos.

En cuanto al uso del material, se recomienda usar EPP debido a que el material al ser tan pequeño se corre el riesgo de inhalarlo, que tenga contacto con los ojos o incluso quedarse adherido en la piel.

Finalmente, se recomienda realizar investigaciones adicionales con incorporaciones de aditivos químicos con el propósito de hacer una comparación del efecto que conlleva la adición de los aditivos y las nanoplacas de grafeno, para así obtener el grado de influencia sobre la estructura del concreto y de esta manera encontrar un diseño óptimo incluyendo ambas adiciones.

## Referencias

- [1] E. Rivva Lopez, *Diseño de Mezclas*, Lima: Hozlo S.CR.L.,1992.
- [2] D. E. Bartra Chujutally, “Evaluación de la influencia del grafeno como aditivo nanotecnológico para mejorar la resistencia del concreto f’c 210 kg/cm<sup>2</sup>”, Tesis Pregrado, Dpto. Ingeniería, Universidad César Vallejo, Tarapoto, Perú, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3wrv1U3>
- [3] D. Dimov et al., “Ultra-high Performance Nanoengineered Graphene–Concrete Composites for Multifunctional Applications”, “*Advanced Functional Materials*”, vol. 28, pp. 01-12, abril 2018. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3NJ4YgE>
- [4] L. Choque Flores, “Mejoramiento de las propiedades mecánicas del concreto f’c = 210 kg/cm<sup>2</sup>, agregando grafeno”, Tesis Doctoral, Dpto. Ingeniería, Universidad Federico Villareal, Lima, Perú, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3G3vz5D>
- [5] R. Waltraud, “Crecimiento urbano y segregación social en la ciudad de Chiclayo”, “*Espacio y Desarrollo*”, n.º 12, 2000.
- [6] F. Babak, H. Abolfazl, R. Alimorad y G. Parviz, “Preparation and Mechanical Properties of Graphene Oxide: Cement Nanocomposites”, “*Hindawi*”, vol. 2014, pp. 01-10, junio 2014. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3AjVDsz>
- [7] E. A. Navarro Jiménez y H. Forero Romero, “Mejoramiento de la resistencia a compresión del concreto con Nanotubos de Carbono”, Tesis Pregrado, Dpto. Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, jun. 2017. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3ackW4J>
- [8] A. A. Abdel Ghafaar, A. S. Faried, M. Mokhtar, M. Morsy y K. M. Osman, “Promoting the physical and the mechanical properties of concrete using nano and waste materials”, “*IOP Conference Series. Materials Science and Engineering*”, vol. 1171, n.º 1, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3wQIYen>

[9] A. Muciño Vélez, “Concreto nanotecnológico”, *Razón y Palabra*, n° 68, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3wtIYkc>

[10] H. Ccopa Manami, “Efecto del grafeno como aditivo nanotecnológico en la resistencia al concreto”, Tesis Pregrado, Dpto. Ingeniería, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú, jun. 2017. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3MscwV0>

[11] *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*, American Society for Testing and Materials ASTM C 136, 2006.

[12] *Standard Specification for Concrete Aggregates*, American Society for Testing and Materials ASTM C 33, 2003.

[13] *Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying*, American Society for Testing and Materials ASTM C 566, 2007.

[14] *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse*, American Society for Testing and Materials ASTM C 127, 2015.

[15] *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*, American Society for Testing and Materials ASTM C 128, 2015.

[16] *Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate*, American Society for Testing and Materials ASTM C 29, 1997.

[17] *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field*, American Society for Testing and Materials ASTM C 31, 2008.

[18] *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory*, American Society for Testing and Materials ASTM C 192, 2002.

[19] *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*, American Society for Testing and Materials ASTM C 39, 2014.

[20] *Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*, American Society for Testing and Materials ASTM C 469, 1994.

[21] *Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete*, American Society for Testing and Materials ASTM C 157, 2008.

[22] *Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution*, American Society for Testing and Materials ASTM C 1012, 2004.

[23] *Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate*, American Society for Testing and Materials ASTM C 88, 1999.

[24] *Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating Cutter Method*, American Society for Testing and Materials ASTM C 944, 1999.

[25] *Ensayos de hormigón endurecido, Parte 8: Profundidad de penetración de agua bajo presión*, Norma Española UNE-EN 12390-8, 2000.

[26] F. Díaz del Catillo Rodríguez, *Introducción a los Nanomateriales*. Cuautitlán Izcalli: 2012. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3Lp95gA>

[27] P. A. Serena Domingo, “Nanociencia y Nanotecnología: Aspectos Generales”, *Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid*. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3Mym5lc>

[28] M. Gómez Garzón, “Nanomateriales, nanopartículas y síntesis ver”, *Repertorio de Medicina y Cirugía*, vol. 27, pp. 01-06, abril 2018. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3PttMeu>

[29] A. Rodríguez Villalón, “Grafeno: Síntesis, propiedades y aplicaciones biomédicas”, Tesis Pregrado, Dpto. Farmacia, Universidad Complutense, Madrid, España, jun. 2016. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3lK9Iah>

- [30] A. A. Gutarra, *El grafeno y sus posibilidades de impacto en la industria minera*”, Lima, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3sNVKbf>
- [31] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), “Seguridad y salud en el trabajo con nanomateriales”, Ministerio de empleo y seguridad social, España, Guía, 2015.
- [32] CORPORACIÓN ACEROS AREQUIPA, Manual del Maestro Constructor, Lima, 2010. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3MyTyMD>
- [33] *Especificación Estándar para Cementos Portland*, American Society for Testing and Materials ASTM C-150, 2007.
- [34] RNE, Reglamento Nacional de Edificaciones, “NORMA E0.60 Concreto Armado”, Lima.
- [35] L. Cavazos, *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*, 1st ed., Skokie (EE. UU.): Portland Cement Association, 2004.
- [36] A. M. Neville, *Tecnología del Concreto*, 1st ed., México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2013.
- [37] E. Pasquel Carbajal, *Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú*, 17th ed., Lima (Perú): Colegio de Ingenieros del Perú, 1993.
- [38] *Estándar Practice for Slecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*, American Concrete Institute ACI 211, 2002.
- [39] E. L. Cuenca Briceño y C. S. Solórzano Rodríguez, “Efecto de las fibras de acero y polipropileno en la resistencia a la flexión del concreto”, Tesis Pregrado, Dpto. Ingeniería, Universidad César Vallejo, Trujillo, Perú, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3wCjIqU>
- [40] *Guía para la Durabilidad del Hormigón*, American Concrete Institute ACI 201, 2001.

[41] E. Rivva López, *Durabilidad y Patología del Concreto*, 1st ed., 2006.

## Anexos

## Anexo 01: Documentos

## Ficha Técnica Nanoplacas de Grafeno



江苏先丰纳米材料科技有限公司

## XFQ024-薄层石墨烯纳米片

## XFQ024-Thin Layer Graphene Nanoplates

## 1 技术参数 (Properties)

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

注：以上为单次测量数据，不同批次粉末测试结果有所浮动。

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

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

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

## Ficha Técnica Cemento Portland Tipo I

### CEMENTO PORTLAND TIPO I

MÁS PUNCHE, MENOS BOLSAS



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

#### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

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

a la NTP  
334.009  
/ ASTM C  
150

#### CUADRO COMPARATIVO DE RESISTENCIAS

COMPARATIVO DE

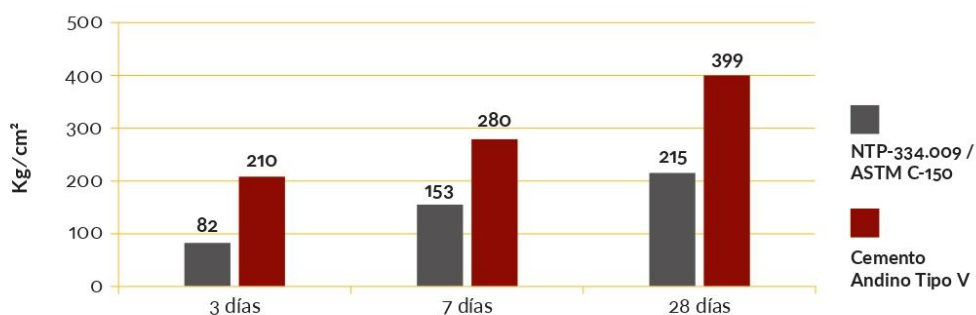


RESISTENCIAS

## Ficha Técnica Cemento Portland Tipo V

### REQUISITOS MECÁNICOS /

#### COMPARACIÓN RESISTENCIAS NTP-334.009 / ASTM C-150 VS. CEMENTO ANDINO TIPO V



### PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS /

Parámetro	Unidad	Cemento Andino Tipo V	Requisitos NTP-334.009 / ASTM C-150
Contenido de aire	%	5.12	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0.01	Máximo 0.80
Superficie específica	m <sup>2</sup> /kg	353	Mínimo 260
Densidad	g/ml	3.15	No específica
<b>Resistencia a la compresión</b>			
Resistencia a la compresión a 3 días	kg/cm <sup>2</sup>	210	Mínimo 82
Resistencia a la compresión a 7 días	kg/cm <sup>2</sup>	280	Mínimo 153
Resistencia a la compresión a 28 días	kg/cm <sup>2</sup>	399	Mínimo 215
<b>Tiempo de fraguado</b>			
Fraguado Vicat inicial	min	130	Mínimo 45
Fraguado Vicat final	min	300	Máximo 375
<b>Composición química</b>			
MgO	%	1.35	Máximo 6.0
SO <sub>3</sub>	%	1.94	Máximo 2.3
Pérdida al fuego	%	1.38	Máximo 3.0
Residuo insoluble	%	0.60	Máximo 1.5
<b>Fases mineralógicas</b>			
C <sub>2</sub> S	%	20.54	No específica
C <sub>3</sub> S	%	55.25	No específica
C <sub>3</sub> A	%	1.81	Máximo 5
C <sub>4</sub> AF	%	14.61	No específica
<b>Álcalis equivalentes</b>			
Contenido de álcalis equivalentes	%	0.39	Máximo 0.60
<b>Resistencia a los sulfatos</b>			
Resistencia al ataque de sulfatos	%	0.032	0.05 % máx. a 180 días

Ficha Técnica Sulfato de Sodio



# INDIQSA

INDUSTRIAL INSUMOS QUÍMICOS S.A.



## CERTIFICADO DE ANÁLISIS SULFATO DE SODIO ANHIDRO

### 1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO

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

### 2. DESCRIPCIÓN

Sal inorgánica, cristalina, blanca e inodora cuando esta en forma anhidra, y se conoce como sal Glauber cuando esta en forma deca-hidratada con fórmula Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.10 H<sub>2</sub>O

### 3. ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

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

### 4. PROPIEDADES

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



INDUSTRIAL INSUMOS QUÍMICOS S.A.

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

☎ Tel. 01 474 1099 | Fax 01 474 1079  
✉ [indiqsa@gmail.com](mailto:indiqsa@gmail.com) | [chubralu@ec-red.com](mailto:chubralu@ec-red.com)

*Ficha Técnica Sulfato de Magnesio*



**Ficha Técnica  
Fertilizantes Hidrosolubles**

**Sulfato de Magnesio  
Heptahidratado**

**Composición:**  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$

**Aspecto:** Cristales blancos libres de partículas extrañas.

**Solubilidad (aprox. a 20°C):** 100 % soluble en agua.  
71 kg en 100 l de agua pura.

**Óxido de magnesio (MgO):** 16 % mín.

**Magnesio (Mg)** 9.7 %

**Azufre (S):** 13 % mín.

**pH solución al 5 %:** 3.0 - 5.0

**Olor:** Inodoro.

**Presentación:** Bolsa de 25 kg.

**Uso:** Fertilizante para fertirrigación, hidroponía, nutrición foliar, preparación de mezclas de fertilizantes y producción de fertilizantes líquidos



**ÁREA TÉCNICA**

[www.molinosycia.com](http://www.molinosycia.com)

**ventasmolinos@molicom.com.pe**

LIMA: Av. Los Ingenieros 154, Urb. Santa Raquel 2da Etapa, Ate - Lima  
Central Telefónica: (01) 512 3370 // Fax: (01) 348 0637 / (01) 348 0615

Informe de laboratorio – Análisis granulométrico del agregado fino



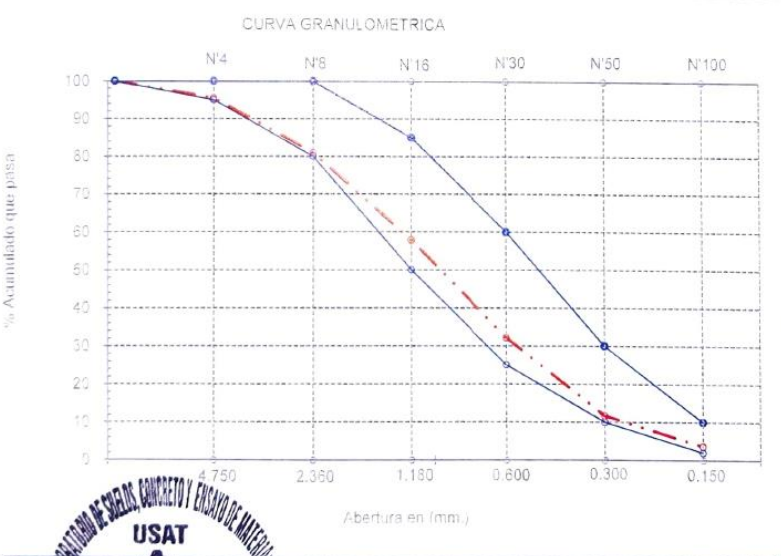
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Bonilla Diaz Christian Jhair  
 Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
 Tesis : Evaluación de las propiedades en estado endurecido del concreto  $f_c$  210 kg/cm<sup>2</sup> adicionando nanoplacas de grafeno, Chiclayo  
 Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque  
 Fecha de emisión : Chiclayo, 19 de Setiembre del 2022

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

Malla		Peso	(%)	(%) Acum.	(%) Acum.	Especificaciones:	
Pulg.	(mm.)	Ret.	Ret.	Ret.	Que Pasa		
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	0	0.0	0.0	100.0	100	100
Nº 04	4.750	43.61	4.4	4.4	95.6	95	100
Nº 08	2.360	142.35	14.5	18.9	81.1	80	100
Nº 16	1.180	229.21	23.3	42.2	57.8	50	85
Nº 30	0.600	253.31	25.7	67.9	32.1	25	60
Nº 50	0.300	200.36	20.4	88.3	11.7	10	30
Nº 100	0.150	79.6	8.1	96.4	3.6	2	10
Fondo		35.82	3.6	100.0	0.0		
Módulo de Fineza				3.181			
Abertura de malla de referencia				9.500			



*Christian Jhair Bonilla Diaz*

TECNICO DE LABORATORIO

*Informe de laboratorio – Análisis granulométrico del agregado grueso*



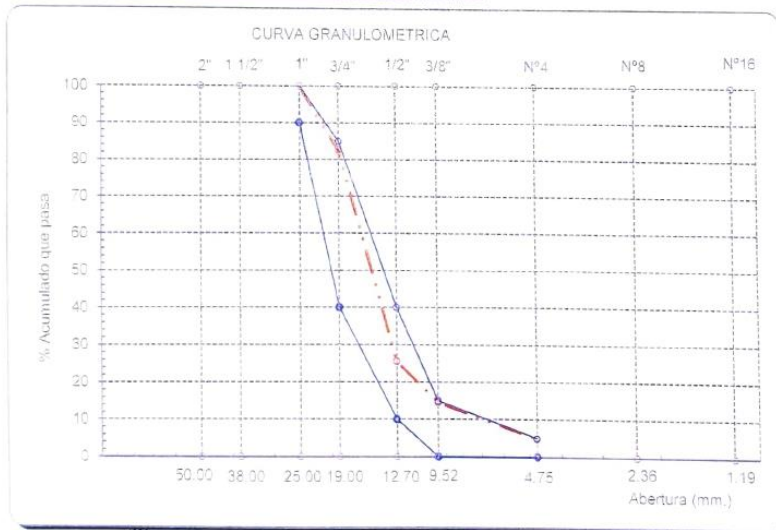
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



**Tesista** : Bonilla Diaz Christian Jhair  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las propiedades en estado endurecido del concreto f'c 210 kg/cm<sup>2</sup> adicionando nanoplacas de grafeno, Chiclayo  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 19 de Setiembre del 2022  
**Ensayo** : Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso  
**Referencia** : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

**Cantera** : "Tres Tomas" - Mesones Muro  
**P. Inicial H.** 5000  
**% de Humedad =** 0.48  
**P. Inicial S.** 4976

Malla	Peso	(%)	(%) Acum.	(%) Acum.	Especificaciones	
Pulg.	(mm.)	Ret.	Ret.	Que Pasa	HUSO 56	
2"	50.00	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	25.00	0.0	0.0	100.0	90.0	100.0
3/4"	19.00	875.0	17.6	82.4	40.0	85.0
1/2"	12.70	2830.0	56.9	25.5	10.0	40.0
3/8"	9.52	548.0	11.0	14.5	0.0	15.0
Nº 04	4.75	479.0	9.6	4.9	0.0	5.0
Nº 08	2.36	213.0	4.3	0.6	0.0	0.0
Nº 16	1.19	14.0	0.3	0.3	0.0	0.0
Fondo		17	0.3	100.0	0.0	
Tamaño Maximo			1"	38.00		
Tamaño Maximo Nominal			3/4"	25.00		



*Handwritten signature*

TECNICO DE LABORATORIO

## Informe de laboratorio – Peso unitario del agregado fino



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



**Tesista** : Bonilla Diaz Christian Jhair  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las propiedades en estado endurecido del concreto f'c 210 kg/cm<sup>2</sup> adicionando nanoplacas de grafeno, Chiclayo  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 19 de Setiembre del 2022

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

**Cantera** : "La Victoria" - Pátapo

### 1.- PESO UNITARIO SUELTO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	<b>8412</b>	<b>8402</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		8412	8402
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00555	0.00555
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	1515	1513
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	<b>1490</b>	

### 2.- PESO UNITARIO COMPACTADO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	<b>9392</b>	<b>9402</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		9392	9402
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00555	0.00555
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	1691	1693
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	<b>1666</b>	

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

### C.- CONTENIDO DE HUMEDAD

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	<b>1000</b>	<b>1000</b>
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	<b>984.21</b>	<b>984.21</b>
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0.0
D.- Contenido de humedad	(%)	1.6	1.6
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	<b>1.60</b>	



## Informe de laboratorio – Peso unitario del agregado grueso



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



**Tesista** : Bonilla Diaz Christian Jhair  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las propiedades en estado endurecido del concreto f'c 210 kg/cm<sup>2</sup> adicionando nanoplacas de grafeno, Chiclayo

**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 19 de Setiembre del 2022

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

Cantera : "Tres Tomas" - Mesones Muro

### A.- PESO UNITARIO SUELTO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	<b>7832</b>	<b>7822</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		7832	7822
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00544	0.00544
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	1439	1437
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	<b>1431</b>	

### B.- PESO UNITARIO COMPACTADO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	<b>8972</b>	<b>8972</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		8972.0	8972.0
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00544	0.00544
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	1648	1648
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	<b>1640</b>	

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

### C.- CONTENIDO DE HUMEDAD

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	<b>5000</b>	<b>5000</b>
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	<b>4976</b>	<b>4976</b>
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.5	0.5
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	<b>0.48</b>	



*(Firma manuscrita)*

## Informe de laboratorio – Peso específico del agregado fino y grueso



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



**Tesista** : Bonilla Diaz Christian Jhair  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las propiedades en estado endurecido del concreto f'c 210 kg/cm<sup>2</sup> adicionando nanoplacas de grafeno, Chiclayo

**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 19 de Setiembre del 2022

**Ensayo** : Peso específico y Absorción del agregado fino

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

**Cantera** : "La Victoria" - Pátapo

### I.- Datos.

1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + P	(g)	<b>951.3</b>	<b>951.3</b>
2.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	642.95	642.95
3.- Peso del Agua	(g)	308.38	308.38
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasco	(g)	640.48	640.48
5.- Peso del Frasco	(g)	<b>142.95</b>	<b>142.95</b>
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	<b>498</b>	<b>498</b>
7.- Volumen del frasco	(g)	500	500

### II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.596</b>
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm <sup>3</sup> )	2.609
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm <sup>3</sup> )	2.630
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	<b>0.50</b>

**Ensayo** : Peso específico y Absorción del agregado grueso

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

**Cantera** : "Tres Tomas" - Mesones Muro

### I.- Datos.

1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	<b>2167</b>	<b>2167</b>
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	<b>2192</b>	<b>2192</b>
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso del car	(g)	<b>2270</b>	<b>2270</b>
4.- Peso de la canastilla	(g)	<b>880</b>	<b>880</b>
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	1390	1390

### II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.702</b>
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm <sup>3</sup> )	2.733
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm <sup>3</sup> )	2.789
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	<b>1.15</b>



*Christian Jhair Bonilla Diaz*

## Informe de laboratorio – Contenido de humedad del agregado fino y grueso



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



**Tesista** : Bonilla Diaz Christian Jhair  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las propiedades en estado endurecido del concreto f'c 210 kg/cm<sup>2</sup> adicionando nanoplacas de grafeno, Chiclayo

**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 19 de Setiembre del 2022

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

Cantera : "La Victoria" - Pátapo

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	<b>1000</b>	<b>1000</b>
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	<b>984.21</b>	<b>984.21</b>
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	1.60	1.60
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	<b>1.60</b>	

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

Cantera : "Tres Tomas" - Mesones Muro

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	<b>5000</b>	<b>5000</b>
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	<b>4976</b>	<b>4976</b>
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.5	0.5
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	<b>0.48</b>	



Informe de laboratorio – Diseño de mezcla con cemento tipo I



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



**Tesista** : Bonilla Diaz Christian Jhair  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las propiedades en estado endurecido del concreto  $f_c$  210 kg/cm<sup>2</sup> adicionando nanoplacas de grafeno, Chiclayo  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 19 de Setiembre del 2022

DISEÑO DE MEZCLA FINAL

$F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

CEMENTO:

- 1.- Tipo de cemento : Cemento Portland Tipo I
- 2.- Peso específico : 3140 Kg/m<sup>3</sup>

AGREGADOS :

Agregado fino :

- Cantera : "La Victoria" - Pátapo
- 1.- Peso específico de masa : 2.596 gr/cm<sup>3</sup>
  - 2.- Peso específico de masa S.S.S. : 2.6093 gr/cm<sup>3</sup>
  - 3.- Peso unitario suelto : 1490 Kg/m<sup>3</sup>
  - 4.- Peso unitario compactado : 1666 Kg/m<sup>3</sup>
  - 5.- % de absorción : 0.5 %
  - 6.- Contenido de humedad : 1.6 %
  - 7.- Módulo de fineza : 3.181

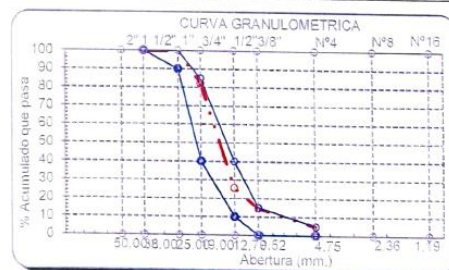
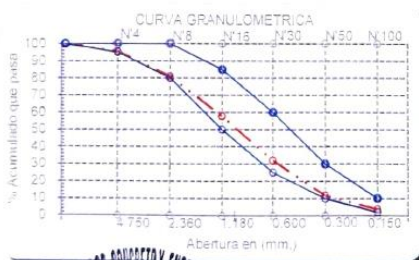
Agregado grueso :

- Cantera : "Tres Tomas" - Mesones Muro
- 1.- Peso específico de masa : 2.702 gr/cm<sup>3</sup>
  - 2.- Peso específico de masa S.S.S. : 2.733 gr/cm<sup>3</sup>
  - 3.- Peso unitario suelto : 1431 Kg/m<sup>3</sup>
  - 4.- Peso unitario compactado : 1640 Kg/m<sup>3</sup>
  - 5.- % de absorción : 1.2 %
  - 6.- Contenido de humedad : 0.5 %
  - 7.- Tamaño máximo : 1" Pulg.
  - 8.- Tamaño máximo nominal : 3/4" Pulg.

Granulometría :

Malla	% Retenido	% Acumulado que pasa
3/8"	0.0	100.0
Nº 04	4.4	95.6
Nº 08	14.5	81.1
Nº 16	23.3	57.8
Nº 30	25.7	32.1
Nº 50	20.4	11.7
Nº 100	8.1	3.6
Fondo	3.6	0.0

Malla	% Retenido	% Acumulado que pasa
2"	0.0	100.0
1 1/2"	0.0	100.0
1"	0.0	100.0
3/4"	17.6	82.4
1/2"	56.9	25.5
3/8"	11.0	14.5
Nº 04	9.6	4.9
Nº 08	4.3	0.6
Nº 16	0.3	0.3
Fondo	0.3	0.0



*Handwritten signature*

## Informe de laboratorio – Diseño de mezcla con cemento tipo I



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



Tesista : Bonilla Diaz Christian Jhair  
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
Tesis : Evaluación de las propiedades en estado endurecido del concreto fc 210 kg/cm<sup>2</sup> adicionando nanoplacas de grafeno, Chiclayo  
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque  
Fecha de emisión : Chiclayo, 19 de Setiembre del 2022

### DISEÑO DE MEZCLA FINAL

F'c = 210 kg/cm<sup>2</sup>

#### Resultados del diseño de mezcla :

Asentamiento obtenido	:	4 Pulgadas
Peso unitario del concreto fresco	:	2362 Kg/m <sup>3</sup>
Resistencia promedio a los 3 días	:	109 Kg/cm <sup>2</sup>
Porcentaje promedio a los 3 días	:	52 %
Resistencia promedio a los 7 días	:	162 Kg/cm <sup>2</sup>
Porcentaje promedio a los 7 días	:	77 %
Factor cemento por M <sup>3</sup> de concreto	:	10.5 bolsas/m <sup>3</sup>
Relación agua cemento de diseño	:	0.541

#### Cantidad de materiales por metro cúbico :

Cemento	447 Kg/m <sup>3</sup>	: Cemento Portland Tipo I
Agua	242 L	: Agua Potable de la Zona.
Agregado fino	704 Kg/m <sup>3</sup>	: "La Victoria" - Pátapo
Agregado grueso	970 Kg/m <sup>3</sup>	: "Tres Tomas" - Mesones Muro

	Cemento	Arena	Piedra	Agua	
Proporción en peso :	1.00	1.58	2.17	23.0	Lts/pie <sup>3</sup>
Proporción en volumen :	1.00	1.59	2.28	23.0	Lts/pie <sup>3</sup>



Informe de laboratorio – Diseño de mezcla con cemento tipo V



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



**Tesista** : Bonilla Diaz Christian Jhair  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Evaluación de las propiedades en estado endurecido del concreto f'c 210 kg/cm<sup>2</sup> adicionando nanoplacas de grafeno, Chiclayo  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 19 de Setiembre del 2022

DISEÑO DE MEZCLA FINAL

$F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

CEMENTO:

- 1.- Tipo de cemento : Cemento Portland Tipo V
- 2.- Peso específico : 3150 Kg/m<sup>3</sup>

AGREGADOS :

Agregado fino :

- Cantera : "La Victoria" - Pátapo
- 1.- Peso específico de masa : 2.596 gr/cm<sup>3</sup>
  - 2.- Peso específico de masa S.S.S. : 2.6093 gr/cm<sup>3</sup>
  - 3.- Peso unitario suelto : 1490 Kg/m<sup>3</sup>
  - 4.- Peso unitario compactado : 1666 Kg/m<sup>3</sup>
  - 5.- % de absorción : 0.5 %
  - 6.- Contenido de humedad : 1.6 %
  - 7.- Módulo de fineza : 3.181

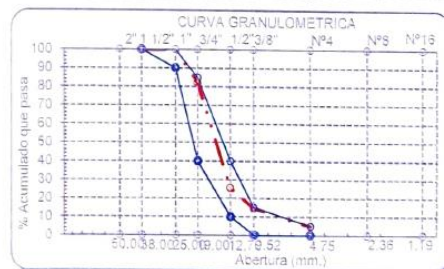
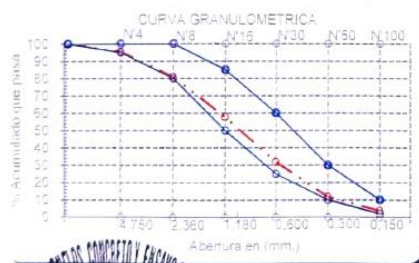
Agregado grueso :

- Cantera : "Tres Tomas" - Mesones Muro
- 1.- Peso específico de masa : 2.702 gr/cm<sup>3</sup>
  - 2.- Peso específico de masa S.S.S. : 2.733 gr/cm<sup>3</sup>
  - 3.- Peso unitario suelto : 1431 Kg/m<sup>3</sup>
  - 4.- Peso unitario compactado : 1640 Kg/m<sup>3</sup>
  - 5.- % de absorción : 1.2 %
  - 6.- Contenido de humedad : 0.5 %
  - 7.- Tamaño máximo : 1" Pulg.
  - 8.- Tamaño máximo nominal : 3/4" Pulg.

Granulometría :

Malla	% Retenido	% Acumulado que pasa
3/8"	0.0	100.0
Nº 04	4.4	95.6
Nº 08	14.5	81.1
Nº 16	23.3	57.8
Nº 30	25.7	32.1
Nº 50	20.4	11.7
Nº 100	8.1	3.6
Fondo	3.6	0.0

Malla	% Retenido	% Acumulado que pasa
2"	0.0	100.0
1 1/2"	0.0	100.0
1"	0.0	100.0
3/4"	17.6	82.4
1/2"	56.9	25.5
3/8"	11.0	14.5
Nº 04	9.6	4.9
Nº 08	4.3	0.6
Nº 16	0.3	0.3
Fondo	0.3	0.0



*[Firma manuscrita]*

## Informe de laboratorio – Diseño de mezcla con cemento tipo V



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



Tesista : Bonilla Diaz Christian Jhair  
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
Tesis : Evaluación de las propiedades en estado endurecido del concreto  $f_c$  210 kg/cm<sup>2</sup> adicionando nanoplacas de grafeno, Chiclayo  
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque  
Fecha de emisión : Chiclayo, 19 de Setiembre del 2022

### DISEÑO DE MEZCLA FINAL

$F_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

#### Resultados del diseño de mezcla :

Asentamiento obtenido	:	4 Pulgadas
Peso unitario del concreto fresco	:	2362 Kg/m <sup>3</sup>
Resistencia promedio a los 3 días	:	109 Kg/cm <sup>2</sup>
Porcentaje promedio a los 3 días	:	52 %
Resistencia promedio a los 7 días	:	162 Kg/cm <sup>2</sup>
Porcentaje promedio a los 7 días	:	77 %
Factor cemento por M <sup>3</sup> de concreto	:	10.8 bolsas/m <sup>3</sup>
Relación agua cemento de diseño	:	0.541

#### Cantidad de materiales por metro cúbico :

Cemento	458 Kg/m <sup>3</sup>	: Cemento Portland Tipo V
Agua	248 L	: Agua Potable de la Zona.
Agregado fino	686 Kg/m <sup>3</sup>	: "La Victoria" - Pátapo
Agregado grueso	970 Kg/m <sup>3</sup>	: "Tres Tomas" - Mesones Muro

	Cemento	Arena	Piedra	Agua	
Proporción en peso :	1.00	1.50	2.12	23.0	Lts/pie <sup>3</sup>
Proporción en volumen :	1.00	1.51	2.22	23.0	Lts/pie <sup>3</sup>



## Informe de laboratorio – Resistencia a la compresión con cemento tipo I



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



Tesista: Bonilla Diaz Christian Jhair  
Escuela: Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
Tesis: Evaluación de las propiedades en estado endurecido del concreto  $f_c$  210 kg/cm<sup>2</sup> adicionando nanoplacas de grafeno, Chiclayo  
Lugar: Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.  
Fecha de emisión: Chiclayo, 31 de Octubre del 2022

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

Muestra N°	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Dias	f'c kg/cm <sup>2</sup>
01	CONCRETO PATRÓN - f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> - CEMENTO TIPO I	22/09/2022	29/09/2022	7	186.06
02	CONCRETO PATRÓN - f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> - CEMENTO TIPO I	22/09/2022	29/09/2022	7	183.06
03	CONCRETO PATRÓN - f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> - CEMENTO TIPO I	22/09/2022	6/10/2022	14	181.82
04	CONCRETO PATRÓN - f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> - CEMENTO TIPO I	22/09/2022	6/10/2022	14	211.92
05	CONCRETO PATRÓN - f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> - CEMENTO TIPO I	22/09/2022	20/10/2022	28	222.28
06	CONCRETO PATRÓN - f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> - CEMENTO TIPO I	22/09/2022	20/10/2022	28	224.71
07	CONCRETO PATRÓN + 0.10% NANOPLACAS DE GRAFENO - f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> - CEMENTO TIPO I	26/09/2022	3/10/2022	7	204.74
08	CONCRETO PATRÓN + 0.10% NANOPLACAS DE GRAFENO - f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> - CEMENTO TIPO I	26/09/2022	3/10/2022	7	190.59
09	CONCRETO PATRÓN + 0.10% NANOPLACAS DE GRAFENO - f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> - CEMENTO TIPO I	26/09/2022	10/10/2022	14	222.67
10	CONCRETO PATRÓN + 0.10% NANOPLACAS DE GRAFENO - f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> - CEMENTO TIPO I	26/09/2022	10/10/2022	14	223.98
11	CONCRETO PATRÓN + 0.10% NANOPLACAS DE GRAFENO - f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> - CEMENTO TIPO I	26/09/2022	24/10/2022	28	248.03
12	CONCRETO PATRÓN + 0.10% NANOPLACAS DE GRAFENO - f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> - CEMENTO TIPO I	26/09/2022	24/10/2022	28	232.97
13	CONCRETO PATRÓN + 0.15% NANOPLACAS DE GRAFENO - f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> - CEMENTO TIPO I	26/09/2022	3/10/2022	7	166.99
14	CONCRETO PATRÓN + 0.15% NANOPLACAS DE GRAFENO - f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> - CEMENTO TIPO I	26/09/2022	3/10/2022	7	183.06
15	CONCRETO PATRÓN + 0.15% NANOPLACAS DE GRAFENO - f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> - CEMENTO TIPO I	26/09/2022	10/10/2022	14	191.27
16	CONCRETO PATRÓN + 0.15% NANOPLACAS DE GRAFENO - f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> - CEMENTO TIPO I	26/09/2022	10/10/2022	14	192.46
17	CONCRETO PATRÓN + 0.15% NANOPLACAS DE GRAFENO - f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> - CEMENTO TIPO I	26/09/2022	24/10/2022	28	210.28
18	CONCRETO PATRÓN + 0.15% NANOPLACAS DE GRAFENO - f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> - CEMENTO TIPO I	26/09/2022	24/10/2022	28	211.70
19	CONCRETO PATRÓN + 0.20% NANOPLACAS DE GRAFENO - f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> - CEMENTO TIPO I	26/09/2022	3/10/2022	7	157.65
20	CONCRETO PATRÓN + 0.20% NANOPLACAS DE GRAFENO - f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> - CEMENTO TIPO I	26/09/2022	3/10/2022	7	153.18
21	CONCRETO PATRÓN + 0.20% NANOPLACAS DE GRAFENO - f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> - CEMENTO TIPO I	26/09/2022	10/10/2022	14	180.01
22	CONCRETO PATRÓN + 0.20% NANOPLACAS DE GRAFENO - f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> - CEMENTO TIPO I	26/09/2022	10/10/2022	14	177.52
23	CONCRETO PATRÓN + 0.20% NANOPLACAS DE GRAFENO - f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> - CEMENTO TIPO I	26/09/2022	24/10/2022	28	214.24
24	CONCRETO PATRÓN + 0.20% NANOPLACAS DE GRAFENO - f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> - CEMENTO TIPO I	26/09/2022	24/10/2022	28	180.18

### OBSERVACIONES:

- Muestras realizadas por el solicitante
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización de este laboratorio.



*Handwritten signature in blue ink.*

TECNICO DE LABORATORIO



## Informe de laboratorio – Módulo de elasticidad con cemento tipo I



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

Tesisista : Bonilla Diaz Christian Jhair  
 Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
 Tesis : Evaluación de las propiedades en estado endurecido del concreto  $f_c$  210  $\text{kg/cm}^2$  adicionando nanoplaques de grafeno, Chiclayo  
 Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.  
 Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Noviembre del 2022

Ensayo : STANDARD TEST METHOD FOR STATIC MODULUS OF ELASTICITY AND POISSON'S RATIO OF CONCRETE IN COMPRESSION (Método estándar para la determinación del módulo de elasticidad estático y de la relación de Poisson del concreto sometido a compresión)  
 Referencia : ASTM C 469


MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	$\sigma_u$ ( $\text{Kg/cm}^2$ )	Esfuerzo S2 ( $40\% \sigma_u$ ) ( $\text{Kg/cm}^2$ )	Esfuerzo S1 (0.00005) ( $\text{Kg/cm}^2$ )	$\epsilon$ unitaria ( $\epsilon_2$ (S2))	$E_c$ ( $\text{Kg/cm}^2$ )	Promedio $E_c$ ( $\text{Kg/cm}^2$ )
01	CONCRETO PATRÓN - $f_c$ 210 $\text{kg/cm}^2$ - CEMENTO TIPO I	22/09/2022	20/10/2022	28	222.28	88.91	10.89	0.000408	217871.07	220922.30
02	CONCRETO PATRÓN - $f_c$ 210 $\text{kg/cm}^2$ - CEMENTO TIPO I	22/09/2022	20/10/2022	28	224.71	89.89	11.20	0.000401	223973.52	
03	CONCRETO PATRÓN + 0.10% NANOPLACAS DE GRAFENO - $f_c$ 210 $\text{kg/cm}^2$ - CEMENTO TIPO I	26/09/2022	24/10/2022	28	248.03	99.21	10.69	0.000464	213828.72	229210.71
04	CONCRETO PATRÓN + 0.10% NANOPLACAS DE GRAFENO - $f_c$ 210 $\text{kg/cm}^2$ - CEMENTO TIPO I	26/09/2022	24/10/2022	28	232.97	93.19	12.23	0.000381	244592.70	
05	CONCRETO PATRÓN + 0.15% NANOPLACAS DE GRAFENO - $f_c$ 210 $\text{kg/cm}^2$ - CEMENTO TIPO I	26/09/2022	24/10/2022	28	210.28	84.11	10.44	0.000403	208710.30	212783.67
06	CONCRETO PATRÓN + 0.15% NANOPLACAS DE GRAFENO - $f_c$ 210 $\text{kg/cm}^2$ - CEMENTO TIPO I	26/09/2022	24/10/2022	28	211.70	84.68	10.84	0.000390	216857.05	
07	CONCRETO PATRÓN + 0.20% NANOPLACAS DE GRAFENO - $f_c$ 210 $\text{kg/cm}^2$ - CEMENTO TIPO I	26/09/2022	24/10/2022	28	214.24	85.70	11.71	0.000366	234299.84	208483.88
08	CONCRETO PATRÓN + 0.20% NANOPLACAS DE GRAFENO - $f_c$ 210 $\text{kg/cm}^2$ - CEMENTO TIPO I	26/09/2022	24/10/2022	28	180.18	72.07	9.13	0.000395	182667.92	

Observaciones:



- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.

  
 German Oscar Gastelo Chirinos  
 Tec. Laboratorio



  
 Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta  
 Ing. Civil - Reg. CIP. 123351



 964423859 - 943011231  
 Ca. José Galvez N° 120

 fermatisac@gmail.com  
 www.fermatisac.com

## Informe de laboratorio – Módulo de elasticidad con cemento tipo V



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

Tesista : Bonilla Diaz Christian Jhair  
 Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
 Tesis : Evaluación de las propiedades en estado endurecido del concreto  $f_c$  210  $\text{kg/cm}^2$  adicionando nanoplacas de grafeno, Chiclayo  
 Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.  
 Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Noviembre del 2022

Ensayo : STANDARD TEST METHOD FOR STATIC MODULUS OF ELASTICITY AND POISSON'S RATIO OF CONCRETE IN COMPRESSION (Método estándar para la determinación del módulo de elasticidad estático y de la relación de Poisson del concreto sometido a compresión)

Referencia : ASTM C 469

MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	$\sigma_u$ ( $\text{Kg/cm}^2$ )	Esfuerzo S2 (40% $\sigma_u$ ) $\text{Kg/cm}^2$	Esfuerzo S1 (0.00005) $\text{Kg/cm}^2$	$\epsilon$ unitaria $\epsilon_2$ (S <sub>2</sub> )	$E_c$ $\text{Kg/cm}^2$	Promedio $E_c$ $\text{Kg/cm}^2$
01	CONCRETO PATRÓN - $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ - CEMENTO TIPO V	22/09/2022	20/10/2022	28	239.82	95.93	11.65	0.000412	232939.17	226054.53
02	CONCRETO PATRÓN - $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ - CEMENTO TIPO V	22/09/2022	20/10/2022	28	227.32	90.93	10.96	0.000415	219169.89	
03	CONCRETO PATRÓN + 0.10% NANOPLACAS DE GRAFENO - $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ - CEMENTO TIPO V	27/09/2022	25/10/2022	28	247.91	99.17	11.95	0.000415	239029.94	235922.26
04	CONCRETO PATRÓN + 0.10% NANOPLACAS DE GRAFENO - $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ - CEMENTO TIPO V	27/09/2022	25/10/2022	28	248.37	99.35	11.64	0.000427	232814.58	
05	CONCRETO PATRÓN + 0.15% NANOPLACAS DE GRAFENO - $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ - CEMENTO TIPO V	27/09/2022	25/10/2022	28	213.00	85.20	10.40	0.000410	207911.92	213072.20
06	CONCRETO PATRÓN + 0.15% NANOPLACAS DE GRAFENO - $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ - CEMENTO TIPO V	27/09/2022	25/10/2022	28	204.17	81.67	10.91	0.000374	218232.48	
07	CONCRETO PATRÓN + 0.20% NANOPLACAS DE GRAFENO - $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ - CEMENTO TIPO V	27/09/2022	25/10/2022	28	204.17	81.67	10.53	0.000388	210608.64	208622.75
08	CONCRETO PATRÓN + 0.20% NANOPLACAS DE GRAFENO - $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ - CEMENTO TIPO V	27/09/2022	25/10/2022	28	209.94	83.98	10.33	0.000406	206636.86	

Observaciones:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.

  
 German Oscar Gastelo Chirinos  
 Tec. Laboratorio



  
 Juan Carlos Firmo Ojeda Ayesta  
 Ing. Civil - Reg. CIP. 123351



964423859 - 943011231

Ca. José Galvez N° 120

fermatisac@gmail.com

www.fermatisac.cl

Informe de laboratorio – Durabilidad ante sulfato de sodio



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

Solicitante : Bonilla Diaz Christian Jhair

Atención : Laboratorio de mecánica de suelos (USAT)

Obra/Tesis: "Evaluación de las propiedades en estado endurecido del concreto f'c 210 kg/cm<sup>2</sup> adicionando nanoplacas de grafeno, Chiclayo"

Lugar: Distrito Chiclayo, Provincia Chiclayo, Departamento Lambayeque

Código: ASTM C 157

Título: Método de prueba estándar para cambio de longitud de mortero y concreto de cemento hidráulico endurecido

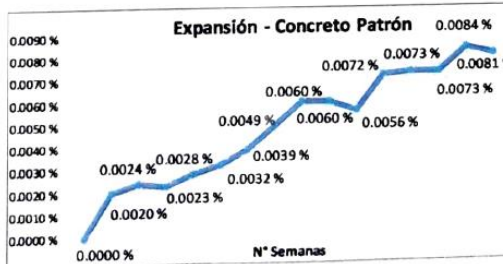
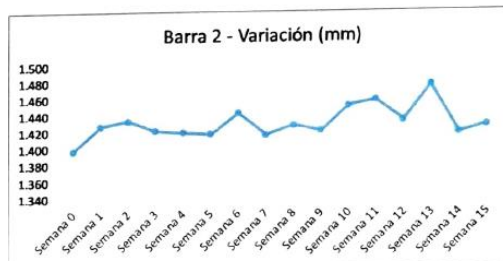
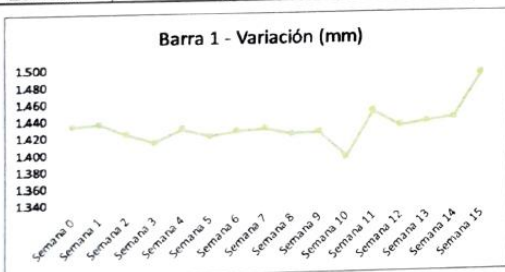
IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA CONCRETO PATRÓN - f'c=210 kg/cm<sup>2</sup>

TIEMPO DE LECTURA	BARRA 1	BARRA 2	BARRA 3
Semana 0	1.433	1.397	1.405
Semana 1	1.435	1.427	1.412
Semana 2	1.423	1.433	1.409
Semana 3	1.413	1.421	1.418
Semana 4	1.428	1.419	1.424
Semana 5	1.419	1.417	1.411
Semana 6	1.425	1.442	1.397
Semana 7	1.427	1.415	1.421
Semana 8	1.420	1.427	1.463
Semana 9	1.422	1.420	1.471
Semana 10	1.392	1.450	1.489
Semana 11	1.446	1.457	1.446
Semana 12	1.428	1.432	1.409
Semana 13	1.433	1.475	1.427
Semana 14	1.437	1.417	1.399
Semana 15	1.489	1.426	1.435

Expansión Acumulada	Expansión Aunitaria
0.0000 %	0.0000 %
0.0060 %	0.0020 %
0.0132 %	0.0024 %
0.0200 %	0.0023 %
0.0284 %	0.0028 %
0.0380 %	0.0032 %
0.0496 %	0.0039 %
0.0644 %	0.0049 %
0.0824 %	0.0060 %
0.1004 %	0.0060 %
0.1172 %	0.0056 %
0.1388 %	0.0072 %
0.1608 %	0.0073 %
0.1828 %	0.0073 %
0.2080 %	0.0084 %
0.2324 %	0.0081 %



Desviación Estándar	0.02056	0.01723	0.02725
---------------------	---------	---------	---------



*German Oscar Gastelo*  
 German Oscar Gastelo Chirinos  
 Tec. Laboratorio



*Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta*  
 Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta  
 Ing. Civil - Reg. CIP. 123351

## Informe de laboratorio – Durabilidad ante sulfato de sodio



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

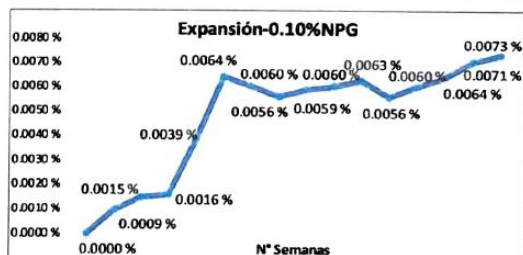
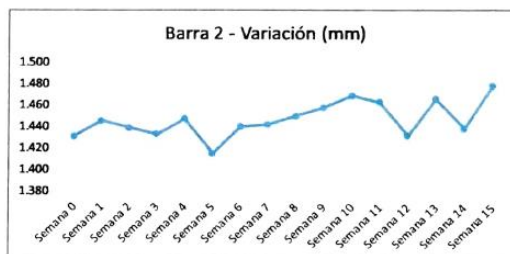
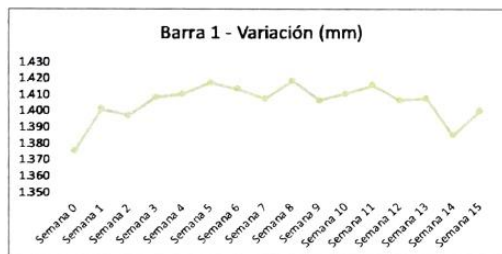
**Solicitante :** Bonilla Diaz Christian Jhair**Atención :** Laboratorio de mecánica de suelos (USAT)**Obra/Tesis:** "Evaluación de las propiedades en estado endurecido del concreto  $f_c$  210 kg/cm<sup>2</sup> adicionando nanoplacas de grafeno, Chiclayo"**Lugar:** Distrito Chiclayo, Provincia Chiclayo, Departamento Lambayeque**Código:** ASTM C 157**Título:** Método de prueba estándar para cambio de longitud de mortero y concreto de cemento hidráulico endurecido**IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA****CONCRETO PATRÓN + 0.10% NANOPLACAS DE GRAFENO -  $f_c$ =210 kg/cm<sup>2</sup>**

TIEMPO DE LECTURA	BARRA 1	BARRA 2	BARRA3
Semana 0	1.375	1.431	1.459
Semana 1	1.401	1.445	1.450
Semana 2	1.397	1.439	1.452
Semana 3	1.408	1.433	1.436
Semana 4	1.410	1.447	1.452
Semana 5	1.417	1.415	1.469
Semana 6	1.413	1.440	1.457
Semana 7	1.407	1.442	1.449
Semana 8	1.418	1.450	1.471
Semana 9	1.406	1.458	1.479
Semana 10	1.410	1.469	1.487
Semana 11	1.415	1.463	1.489
Semana 12	1.406	1.432	1.451
Semana 13	1.407	1.466	1.485
Semana 14	1.384	1.439	1.450
Semana 15	1.399	1.478	1.497

Expansión Acumulada	Expansión Aunitaria
0.0000 %	0.0000 %
0.0028 %	0.0009 %
0.0072 %	0.0015 %
0.0120 %	0.0016 %
0.0236 %	0.0039 %
0.0428 %	0.0064 %
0.0608 %	0.0060 %
0.0776 %	0.0056 %
0.0952 %	0.0059 %
0.1132 %	0.0060 %
0.1320 %	0.0063 %
0.1488 %	0.0056 %
0.1668 %	0.0060 %
0.1860 %	0.0064 %
0.2072 %	0.0071 %
0.2292 %	0.0073 %



Desviación Estandar	BARRA 1	BARRA 2	BARRA3
	0.00873	0.01655	0.01866



  
 German Oscar Gastelo Chirinos  
 Tec. Laboratorio



  
 Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta  
 Ing. Civil - Reg. CIP. 123351

964423859 - 943011231

Ca. José Galvez N° 120

formatisac@gmail.com

www.fermatisac.cl

Informe de laboratorio – Durabilidad ante sulfato de sodio



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

Solicitante : Bonilla Diaz Christian Jhair

Atención : Laboratorio de mecánica de suelos (USAT)

Obra/Tesis: "Evaluación de las propiedades en estado endurecido del concreto f'c 210 kg/cm² adicionando nanoplacas de grafeno, Chiclayo"

Lugar: Distrito Chiclayo, Provincia Chiclayo, Departamento Lambayeque

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

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA

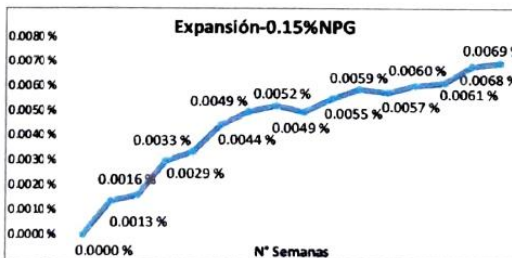
CONCRETO PATRÓN + 0.15% NANOPLACAS DE GRAFENO - f'c=210 kg/cm²

TIEMPO DE LECTURA	BARRA 1	BARRA 2	BARRA 3
Semana 0	1.426	1.432	1.444
Semana 1	1.439	1.455	1.442
Semana 2	1.435	1.443	1.448
Semana 3	1.433	1.440	1.451
Semana 4	1.435	1.442	1.465
Semana 5	1.431	1.438	1.454
Semana 6	1.433	1.454	1.452
Semana 7	1.437	1.445	1.450
Semana 8	1.462	1.462	1.445
Semana 9	1.459	1.453	1.464
Semana 10	1.472	1.456	1.472
Semana 11	1.467	1.460	1.478
Semana 12	1.439	1.416	1.471
Semana 13	1.465	1.459	1.469
Semana 14	1.441	1.427	1.440
Semana 15	1.478	1.468	1.462

Expansión Acumulada	Expansión Aunitaria
0.0000 %	0.0000 %
0.0040 %	0.0013 %
0.0088 %	0.0016 %
0.0176 %	0.0029 %
0.0276 %	0.0033 %
0.0408 %	0.0044 %
0.0556 %	0.0049 %
0.0712 %	0.0052 %
0.0860 %	0.0049 %
0.1024 %	0.0055 %
0.1200 %	0.0059 %
0.1372 %	0.0057 %
0.1552 %	0.0060 %
0.1736 %	0.0061 %
0.1940 %	0.0068 %
0.2148 %	0.0069 %



Desviación Estandar	0.01658	0.01397	0.01195
---------------------	---------	---------	---------



  
German Oscar Gastelo Chirinos  
Tec. Laboratorio



  
Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta  
Ing. Civil - Reg. CIP. 123351

Informe de laboratorio – Durabilidad ante sulfato de sodio



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

Solicitante : Bonilla Diaz Christian Jhair

Atención : Laboratorio de mecánica de suelos (USAT)

Obra/Testes: "Evaluación de las propiedades en estado endurecido del concreto f'c 210 kg/cm² adicionando nanoplacas de grafeno, Chiclayo"

Lugar: Distrito Chiclayo, Provincia Chiclayo, Departamento Lambayeque

Código: ASTM C 157

Título: Método de prueba estándar para cambio de longitud de mortero y concreto de cemento hidráulico endurecido

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA

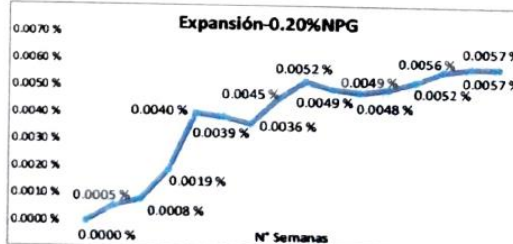
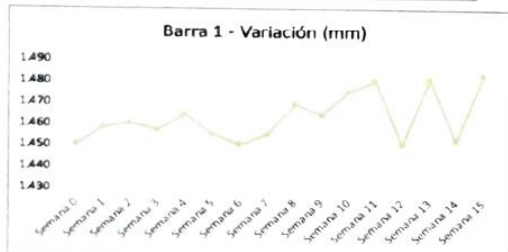
CONCRETO PATRÓN + 0.20% NANOPLACAS DE GRAFENO - f'c=210 kg/cm²

TIEMPO DE LECTURA	BARRA 1	BARRA 2	BARRA 3
Semana 0	1.450	1.438	1.429
Semana 1	1.458	1.446	1.441
Semana 2	1.460	1.439	1.436
Semana 3	1.457	1.435	1.439
Semana 4	1.464	1.456	1.442
Semana 5	1.455	1.447	1.432
Semana 6	1.450	1.458	1.436
Semana 7	1.455	1.454	1.433
Semana 8	1.469	1.457	1.460
Semana 9	1.464	1.461	1.462
Semana 10	1.475	1.465	1.467
Semana 11	1.480	1.473	1.461
Semana 12	1.450	1.444	1.441
Semana 13	1.481	1.467	1.456
Semana 14	1.452	1.434	1.429
Semana 15	1.483	1.469	1.462

Expansión Acumulada	Expansión Aunitaria
0.0000 %	0.0000 %
0.0016 %	0.0005 %
0.0040 %	0.0008 %
0.0096 %	0.0019 %
0.0216 %	0.0040 %
0.0332 %	0.0039 %
0.0440 %	0.0036 %
0.0576 %	0.0045 %
0.0732 %	0.0052 %
0.0880 %	0.0049 %
0.1024 %	0.0048 %
0.1172 %	0.0049 %
0.1328 %	0.0052 %
0.1496 %	0.0056 %
0.1668 %	0.0057 %
0.1840 %	0.0057 %



Desviación Estandar	BARRA 1	BARRA 2	BARRA 3
	0.01149	0.01240	0.01320



German Oscar Gastelo Chirinos  
 Tec. Laboratorio



Juan Carlos Firino Ojeda Ayesta  
 Ing. Civil - Reg. CIP. 123351

*Informe de laboratorio – Durabilidad ante sulfato de magnesio*



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



Tesista : Bonilla Diaz Christian Jhair  
 Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
 Tesis : Evaluación de las propiedades en estado endurecido del concreto f'c 210 kg/cm<sup>2</sup> adicionando nanoplacas de grafeno, Chiclayo  
 Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.  
 Fecha de emisión : Chiclayo, 09 de Mayo del 2023

ENSAYO : DATOS DE CONCRETO. DURABILIDAD ANTE SULFATO DE MAGNESIO  
 REFERENCIA : NORMA N.T.P. 400 016 : 2011

Muestra N°	Denominación de la unidad	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Variación (g)	Variación (%)
01	CONCRETO PATRÓN F'c 210 KG/CM <sup>2</sup>	276.25	276.25	0.00	0.0
02	CONCRETO PATRÓN F'c 210 KG/CM <sup>2</sup>	273.97	273.97	0.00	0.0
03	CONCRETO PATRÓN F'c 210 KG/CM <sup>2</sup>	271.85	271.85	0.00	0.0
04	CONCRETO PATRÓN F'c 210 KG/CM <sup>2</sup> + 0.10%NPG	278.28	278.28	0.00	0.0
05	CONCRETO PATRÓN F'c 210 KG/CM <sup>2</sup> + 0.10%NPG	271.59	271.59	0.00	0.0
06	CONCRETO PATRÓN F'c 210 KG/CM <sup>2</sup> + 0.10%NPG	272.59	272.59	0.00	0.0
07	CONCRETO PATRÓN F'c 210 KG/CM <sup>2</sup> + 0.15%NPG	269.04	269.04	0.00	0.0
08	CONCRETO PATRÓN F'c 210 KG/CM <sup>2</sup> + 0.15%NPG	267.76	267.76	0.00	0.0
09	CONCRETO PATRÓN F'c 210 KG/CM <sup>2</sup> + 0.15%NPG	269.63	269.63	0.00	0.0
10	CONCRETO PATRÓN F'c 210 KG/CM <sup>2</sup> + 0.20%NPG	266.47	266.47	0.00	0.0
11	CONCRETO PATRÓN F'c 210 KG/CM <sup>2</sup> + 0.20%NPG	268.32	268.32	0.00	0.0
12	CONCRETO PATRÓN F'c 210 KG/CM <sup>2</sup> + 0.20%NPG	271.59	271.59	0.00	0.0

**OBSERVACIONES :**

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



*Informe de laboratorio – Durabilidad ante el desgaste*



Prolongación Bolognesi Km. 3.5

Chiclayo – Lambayeque

R.U.C. 20480781334

Email: servicios@lemswceirl.com

**Solicitud de Ensayo** : 2411A-22/ LEMS W&C  
**Solicitante** : BONILLA DIAZ, CHRISTIAN JHAIR  
**Proyecto / Obra** : TESIS: "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO DEL CONCRETO F'C 210 KG/CM<sup>2</sup> ADICIONANDO NANOPLACAS DE GRAFENO, CHICLAYO"  
**Ubicación** : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque.  
**Fecha de Apertura** : Jueves, 24 de noviembre del 2022.  
**Inicio de ensayo** : Jueves, 24 de noviembre del 2022.  
**Fin de ensayo** : Jueves, 24 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 F'C 210 KG/CM <sup>2</sup>	27-Oct	24-Nov	28	2	3	98	1489.56	1486.88	2.68	0.18
M-2		27-Oct	24-Nov	28	2	3	98	1416.79	1414.23	2.56	0.18
M-3		27-Oct	24-Nov	28	2	3	98	1472.28	1469.51	2.77	0.19

**OBSERVACIONES :**

- Muestreo, identificación y ensayos realizados por el solicitante.

  
**LEMS W&C EIRL.**  
 WILSON ARTURO OLAYA AGUIAR  
 TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

  
**LEMS W&C EIRL.**  
 MIGUEL ÁNGEL RUIZ PERALES  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 246984



*Informe de laboratorio – Durabilidad ante el desgaste*



Prolongación Bolognesi Km 3.5

Chiclayo – Lambayeque

R.U.C. 20480781334

Email: servicios@lemswceirl.com

**Solicitud de Ensayo** : 2411A-22/ LEMS W&C  
**Solicitante** : BONILLA DIAZ, CHRISTIAN JHAIR  
**Proyecto / Obra** : TESIS: "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO DEL CONCRETO F'c 210 KG/CM<sup>2</sup> ADICIONANDO NANOPLACAS DE GRAFENO, CHICLAYO"  
**Ubicación** : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque.  
**Fecha de Apertura** : Jueves, 24 de noviembre del 2022.  
**Inicio de ensayo** : Jueves, 24 de noviembre del 2022.  
**Fin de ensayo** : Jueves, 24 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 F'c 210 KG/CM <sup>2</sup> + 0.10%NPG	27-Oct	24-Nov	28	2	3	98	1358.46	1356.10	2.36	0.17
M-2		27-Oct	24-Nov	28	2	3	98	1351.26	1349.28	1.98	0.15
M-3		27-Oct	24-Nov	28	2	3	98	1437.43	1435.08	2.35	0.16

**OBSERVACIONES :**

- Muestreo, identificación y ensayos realizados por el solicitante.

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

**LEMS W&C EIRL.**  
 MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 246904



## Informe de laboratorio – Durabilidad ante el desgaste



**LEMS W&C EIRL**

Prolongación Bolognesi Km. 3.5

Chiclayo – Lambayeque

R.U.C. 20480781334

Email: servicios@lemswycuir.com

**Solicitud de Ensayo** : 2411A-22/ LEMS W&C  
**Solicitante** : BONILLA DIAZ, CHRISTIAN JHAIR  
**Proyecto / Obra** : TESIS: "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO DEL CONCRETO F'C 210 KG/CM<sup>2</sup> ADICIONANDO NANOPLACAS DE GRAFENO, CHICLAYO"  
**Ubicación** : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque.  
**Fecha de Apertura** : Jueves, 24 de noviembre del 2022.  
**Inicio de ensayo** : Jueves, 24 de noviembre del 2022.  
**Fin de ensayo** : Jueves, 24 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 F'C 210 KG/CM <sup>2</sup> + 0.15%NPG	27-Oct	24-Nov	28	2	3	98	1428.38	1426.08	2.30	0.16
M-2		27-Oct	24-Nov	28	2	3	98	1499.15	1496.61	2.54	0.17
M-3		27-Oct	24-Nov	28	2	3	98	1461.74	1458.86	2.88	0.20

**OBSERVACIONES :**

- Muestreo, identificación y ensayos realizados por el solicitante.

**LEMS W&C EIRL.**  


---

**WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR**  
 T.E.C. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

**LEMS W&C EIRL.**  


---

**MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 241342



*Informe de laboratorio – Durabilidad ante el desgaste*



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

**Solicitud de Ensayo** : 2411A-22/ LEMS W&C  
**Solicitante** : BONILLA DIAZ, CHRISTIAN JHAIR  
**Proyecto / Obra** : TESIS: "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO DEL CONCRETO F'C 210 KG/CM<sup>2</sup> ADICIONANDO NANOPLACAS DE GRAFENO, CHICLAYO"  
**Ubicación** : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque.  
**Fecha de Apertura** : Jueves, 24 de noviembre del 2022.  
**Inicio de ensayo** : Jueves, 24 de noviembre del 2022.  
**Fin de ensayo** : Jueves, 24 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 F'C 210 KG/CM <sup>2</sup> + 0.20%NPG	27-Oct	24-Nov	28	2	3	98	1473.49	1470.62	2.87	0.19
M-2		27-Oct	24-Nov	28	2	3	98	1435.90	1432.80	3.10	0.22
M-3		27-Oct	24-Nov	28	2	3	98	1319.48	1317.05	2.43	0.18

**OBSERVACIONES :**

- Muestreo, identificación y ensayos realizados por el solicitante.

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

  
**LEMS W&C EIRL.**  
 GUEL ANGEL RUIZ PERALES  
 INGENIERO CIVIL  
 C.I.P. 246902



*Informe de laboratorio – Profundidad de penetración de agua bajo presión*



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

Solicitud de Ensayo : **2411A-22/ LEMS W&C**  
Solicitante : BONILLA DIAZ, CHRISTIAN JHAIR  
Proyecto / Obra : TESIS: "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO DEL CONCRETO F'C 210 KG/CM<sup>2</sup> ADICIONANDO NANOPLACAS DE GRAFENO, CHICLAYO"  
Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque.  
Fecha de Apertura : Jueves, 24 de noviembre del 2022.  
Inicio de ensayo : Martes, 9 de mayo del 2023.  
Fin de ensayo : Viernes, 12 de mayo del 2023.  
Ensayo : ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO: - Parte 8: Profundidad de penetración de agua bajo presión.  
Norma : UNE-EN12390-8

Muestra N°	Descripción de la Muestra (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (Días)	Fecha		Hora		Tiempo (72 ± 2 Horas)	Cara	Penetración Máxima (mm)		
			Inicio	Final	Inicio	Final			Unidad	Promedio	Clase de exposición
M-01	CONCRETO PATRÓN 210	28	09/05/2023	12/05/2023	3:00 p. m.	3:00 p. m.	72	A	35.80	36.79	CUMPLE para elementos en masa o armados
								B	36.89		
M-02	CONCRETO PATRÓN 210	28	09/05/2023	12/05/2023	3:00 p. m.	3:00 p. m.	72	A	37.34		
								B	37.13		
M-03	CONCRETO PATRÓN 210	28	09/05/2023	12/05/2023	3:00 p. m.	3:00 p. m.	72	A	36.59		
								B	36.97		

NOTA:

- PRESIÓN APLICADA: 500 kPa aplicada desde la base de la probeta.

OBSERVACIONES:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.

  
**LEMS W&C EIRL.**  
WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR  
T.C. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

  
**LEMS W&C EIRL.**  
MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES  
INGENIERO CIVIL  
CIP: 246904



*Informe de laboratorio – Profundidad de penetración de agua bajo presión*



Prolongación Bolognesi Km. 3.5  
Chiclayo – Lambayeque  
R.U.C. 20480781334  
Email: servicios@lemswyc.eirl.com

Solicitud de Ensayo : **2411A-22/ LEMS W&C**  
 Solicitante : BONILLA DIAZ, CHRISTIAN JHAIR  
 Proyecto / Obra : TESIS: "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO DEL CONCRETO F'c 210 KG/CM<sup>2</sup> ADICIONANDO NANOPLACAS DE GRAFENO, CHICLAYO"  
 Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque.  
 Fecha de Apertura : Jueves, 24 de noviembre del 2022.  
 Inicio de ensayo : Martes, 02 de mayo del 2023.  
 Fin de ensayo : Viernes, 05 de mayo del 2023.  
 Ensayo : ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO: - Parte 8: Profundidad de penetración de agua bajo presión.  
 Norma : UNE-EN12390-8

Muestra N°	Descripción de la Muestra (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (Días)	Fecha		Hora		Tiempo (72 ± 2 Horas)	Cara	Penetración Máxima (mm)		
			Inicio	Final	Inicio	Final			Unidad	Promedio	Clase de exposición
M-01	CONCRETO PATRÓN 210 + 0.10% NPG	28	02/05/2023	05/05/2023	4:00 p. m.	4:00 p. m.	72	A	36.74	35.54	CUMPLE para elementos en masa o armados
								B	36.38		
M-02	CONCRETO PATRÓN 210 + 0.10% NPG	28	02/05/2023	05/05/2023	4:00 p. m.	4:00 p. m.	72	A	35.05		
								B	35.52		
M-03	CONCRETO PATRÓN 210 + 0.10% NPG	28	02/05/2023	05/05/2023	4:00 p. m.	4:00 p. m.	72	A	34.45		
								B	35.10		

NOTA:

- PRESIÓN APLICADA: 500 kPa aplicada desde la base de la probeta.

OBSERVACIONES:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.

**LEMS W&C EIRL.**  
**WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR**  
 T.E.C. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

**LEMS W&C EIRL.**  
**MIGUEL ÁNGEL RUIZ PERALES**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 246904

*Informe de laboratorio – Profundidad de penetración de agua bajo presión*



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

Solicitud de Ensayo : **2411A-22/ LEMS W&C**  
Solicitante : BONILLA DIAZ, CHRISTIAN JHAIR  
Proyecto / Obra : TESIS. "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO DEL CONCRETO FC 210 KG/CM<sup>2</sup> ADICIONANDO NANOPLACAS DE GRAFENO, CHICLAYO"  
Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque.  
Fecha de Apertura : Jueves, 24 de noviembre del 2022.  
Inicio de ensayo : Martes, 25 de abril del 2023.  
Fin de ensayo : Viernes, 28 de abril del 2023.  
Ensayo : ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO: - Parte 8: Profundidad de penetración de agua bajo presión.  
Norma : UNE-EN12390-8

Muestra N°	Descripción de la Muestra (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (Días)	Fecha		Hora		Tiempo (72 ± 2 Horas)	Cara	Penetración Máxima (mm)		
			Inicio	Final	Inicio	Final			Unidad	Promedio	Clase de exposición
M-01	CONCRETO PATRÓN 210 + 0.15% NPG	28	25/04/2023	28/04/2023	3:00 p. m.	3:00 p. m.	72	A	35.19	35.11	CUMPLE para elementos en masa o armados
								B	36.78		
M-02	CONCRETO PATRÓN 210 + 0.15% NPG	28	25/04/2023	28/04/2023	3:00 p. m.	3:00 p. m.	72	A	34.78		
								B	34.30		
M-03	CONCRETO PATRÓN 210 + 0.15% NPG	28	25/04/2023	28/04/2023	3:00 p. m.	3:00 p. m.	72	A	34.27		
								B	35.31		

NOTA

- PRESIÓN APLICADA: 500 kPa aplicada desde la base de la probeta.

OBSERVACIONES

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.

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

  
LEMS W&C EIRL.  
MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES  
INGENIERO CIVIL  
CIP: 248904



## Informe de laboratorio – Profundidad de penetración de agua bajo presión



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

Solicitud de Ensayo : **2411A-22/ LEMS W&C**  
Solicitante : BONILLA DIAZ, CHRISTIAN JHAIR  
Proyecto / Obra : TESIS: "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO DEL CONCRETO F'c 210 KG/CM<sup>2</sup> ADICIONANDO NANOPLACAS DE GRAFENO, CHICLAYO"  
Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque.  
Fecha de Apertura : Jueves, 24 de noviembre del 2022.  
Inicio de ensayo : Martes, 18 de abril del 2023.  
Fin de ensayo : Viernes, 21 de abril del 2023.  
Ensayo : ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO: - Parte B: Profundidad de penetración de agua bajo presión.  
Norma : UNE-EN12390-8

Muestra N°	Descripción de la Muestra (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (Días)	Fecha		Hora		Tiempo (72 ± 2 Horas)	Cara	Penetración Máxima (mm)		
			Inicio	Final	Inicio	Final			Unidad	Promedio	Clase de exposición
M-01	CONCRETO PATRÓN 210 + 0.20% NPG	28	18/04/2023	21/04/2023	3:00 p. m.	3:00 p. m.	72	A	32.92	34.08	CUMPLE para elementos en masa o armados
								B	33.97		
M-02	CONCRETO PATRÓN 210 + 0.20% NPG	28	18/04/2023	21/04/2023	3:00 p. m.	3:00 p. m.	72	A	33.67		
								B	34.43		
M-03	CONCRETO PATRÓN 210 + 0.20% NPG	28	18/04/2023	21/04/2023	3:00 p. m.	3:00 p. m.	72	A	34.68		
								B	34.80		

## NOTA:

- PRESIÓN APLICADA: 500 kPa aplicada desde la base de la probeta.

## OBSERVACIONES:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.

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

  
**LEMS W&C EIRL.**  
MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES  
INGENIERO CIVIL  
CIP: 246004



## Anexo 02: Fotografías

### Empaque de Nanoplacas de Grafeno



*Fuente: Pertenencia del autor*

### Pesaje de Nanoplacas de grafeno



*Fuente: Pertenencia del autor*

*Proceso de adición de las Nanoplacas de Grafeno*



*Fuente: Pertenencia del autor*

*Moldes para probetas cilíndricas*



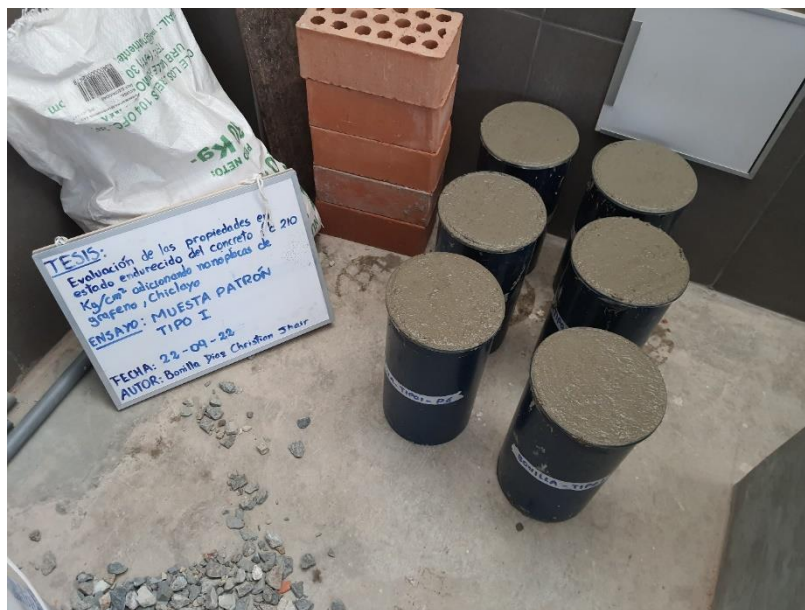
*Fuente: Pertenencia del autor*

### Cementos usados



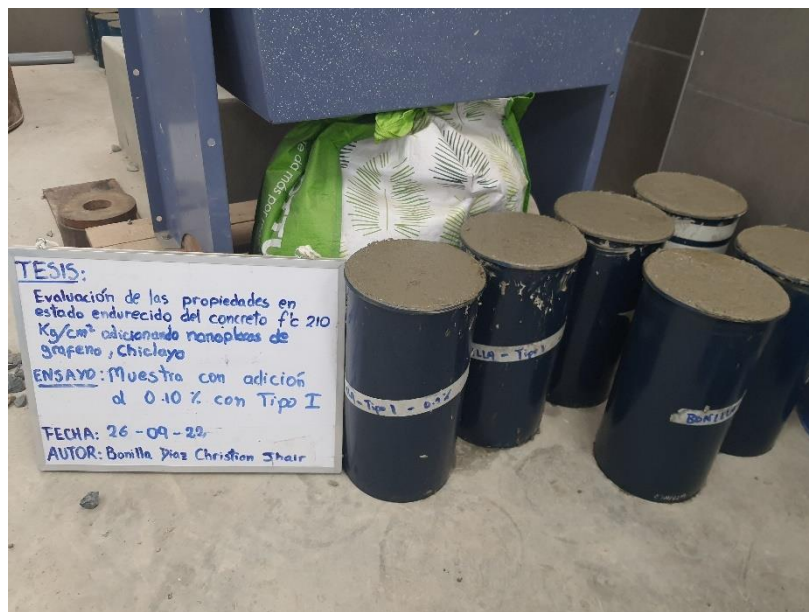
*Fuente: Pertenencia del autor*

### Elaboración de las probetas patrón – Cemento Tipo I



*Fuente: Pertenencia del autor*

*Elaboración de las probetas patrón + 0.10% Nanoplacas de Grafeno – Cemento Tipo I*



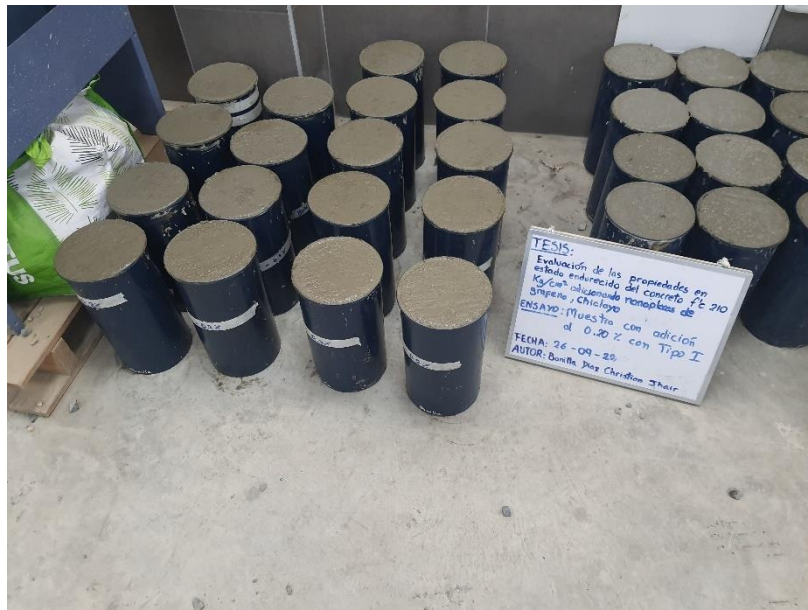
*Fuente: Pertenencia del autor*

*Elaboración de las probetas patrón + 0.15% Nanoplacas de Grafeno – Cemento Tipo I*



*Fuente: Pertenencia del autor*

*Elaboración de las probetas patrón + 0.20% Nanoplacas de Grafeno – Cemento Tipo I*



*Fuente: Pertenencia del autor*

*Elaboración de las probetas patrón – Cemento Tipo V*



*Fuente: Pertenencia del autor*

*Elaboración de las probetas patrón + 0.10% Nanoplacas de Grafeno – Cemento Tipo V*



*Fuente: Pertenencia del autor*

*Elaboración de las probetas patrón + 0.15% Nanoplacas de Grafeno – Cemento Tipo V*



*Fuente: Pertenencia del autor*

*Elaboración de las probetas patrón + 0.20% Nanoplacas de Grafeno – Cemento Tipo V*



*Fuente: Pertenencia del autor*