

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



Evaluación de la influencia de nanoplaquetas de grafeno en la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto

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

AUTOR

Franklin Jesus Llontop Rodriguez

ASESOR

Roberto Bruno Reyes Aspiros

<https://orcid.org/0000-0002-1433-7750>

Chiclayo, 2026

**Evaluación de la influencia de nanoplaquetas de grafeno en la
resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto**

PRESENTADA POR

Franklin Jesus Llontop Rodriguez

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

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR

Juan Jacobo Sánchez Bautista

PRESIDENTE

Elmer Rolando Polo Briceño

SECRETARIO

Roberto Bruno Reyes Aspiros

VOCAL

Dedicatoria

A Dios por permitirme llegar a esta etapa de mi vida, por la salud, el bienestar y, sobre todo, por otorgarme la sabiduría y fortaleza necesaria para alcanzar este logro. Sin su luz, este camino no habría sido posible.

A mis padres José Dolores Llontop Ángeles y Rafaela Rodríguez Pisfil, por su amor incondicional, su apoyo constante y su fe inquebrantable en mí. Gracias por creer en mí, incluso cuando mis fuerzas flaqueaban. Esta etapa de mi vida es, en gran parte, fruto de su sacrificio y de su incansable esfuerzo.

A mi hermana Ericka Llontop Rodríguez, quien me impulsó a seguir adelante y jamás rendirme a pesar de los obstáculos. Esta dedicación también es para ti, porque sin tu presencia y tu apoyo, este logro no hubiera sido posible.

Agradecimientos

A mi compañera de vida, Karla Cabrera Diaz. Gracias por caminar a mi lado, por tu motivación, tu apoyo constante, tu amor incondicional y por darme la fuerza para superar los momentos más difíciles.

A mi asesor el Ing. Roberto Bruno Reyes Aspiros, por el conocimiento impartido y por apoyarme para culminar de manera satisfactoria esta investigación.

Evaluación de la influencia de nanoplaquetas de grafeno en la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	6%
2	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Católica San Pablo Trabajo del estudiante	<1%
7	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%

repositorio.upn.edu.pe

Índice

Resumen	11
Abstract	12
Introducción.....	13
Revisión de literatura.....	17
Materiales y métodos	32
Resultados y discusión	67
Conclusiones	101
Recomendaciones	103
Referencias	104
Anexos	107

Lista de Tablas

Tabla 01: Producción de cemento en el Perú en millones de toneladas	25
Tabla 02: Tamaño de partícula que deja pasar cada tamiz para agregado fino.....	26
Tabla 03: Tamaño de partícula que pasa de agregado grueso según Huso 06.....	26
Tabla 04: Límites máximos permisibles del uso del agua según NTP339.088	27
Tabla 05: Tabla de operacionalización de variables	33
Tabla 06: Muestreo de probetas cilíndricas para ensayo de resistencia a la compresión	35
Tabla 07: Muestreo de discos para ensayo de densidad, absorción y vacíos en el concreto ..	35
Tabla 08: Muestreo de discos para ensayo de resistencia a la penetración de iones cloruro ..	35
Tabla 09: Muestreo de vigas para ensayo de durabilidad ante sulfato de sodio	35
Tabla 10: Normativa empleada para confiabilidad de datos	36
Tabla 11: Resistencia promedio requerida a la compresión.....	48
Tabla 12: Asentamiento recomendado según consistencia.....	48
Tabla 13: Contenido de agua según asentamiento y TMN del Agregado grueso.....	49
Tabla 14: Contenido de aire atrapado según TMN	49
Tabla 15: Relación agua/cemento según resistencia requerida (f'_{cr})	50
Tabla 16: Volumen de ag. grueso, seco y compactado por unidad de volumen del concreto	50
Tabla 17: Tolerancia de tiempo permitida según edades de curado	56
Tabla 18: Granulometría del agregado fino – Cantera: “La Victoria – Pátapo”	67
Tabla 19: Granulometría del agregado grueso – Cantera: “La Victoria – Pátapo”	68
Tabla 20: Peso unitario suelto del agregado fino	69
Tabla 21: Peso unitario compactado del agregado fino	69
Tabla 22: Peso unitario suelto del agregado grueso.....	70
Tabla 23: Peso unitario compactado del agregado grueso	70
Tabla 24: Peso específico y absorción del agregado fino	71
Tabla 25: Peso específico y absorción del agregado grueso	71
Tabla 26: Contenido de humedad del agregado fino	72

Tabla 27: Contenido de humedad del agregado grueso	72
Tabla 28: Diseño de mezcla para concreto patrón	73
Tabla 29: Diseño de mezcla para concreto 0.2% NPG	73
Tabla 30: Diseño de mezcla para concreto 0.4% NPG	73
Tabla 31: Diseño de mezcla para concreto 0.6% NPG	74
Tabla 32: Registro de roturas de especímenes para el diseño de concreto patrón a los 7, 14 y 28 días	75
Tabla 33: Registro de roturas de especímenes para el diseño de concreto con 0.2% de NPG a los 7, 14 y 28 días.....	76
Tabla 34: Registro de roturas de especímenes para el diseño de concreto con 0.4% de NPG a los 7, 14 y 28 días.....	77
Tabla 35: Registro de roturas de especímenes para el diseño de concreto con 0.6% de NPG a los 7, 14 y 28 días.....	78
Tabla 36: Registro de masas secas al horno para el diseño de concreto patrón.....	81
Tabla 37: Registro de masas después de inmersión en agua para diseño de concreto patrón.	81
Tabla 38: Registro de masas después de inmersión para el diseño de concreto patrón	81
Tabla 39: Porcentaje de vacíos para el diseño de concreto patrón.....	81
Tabla 40: Registro de masas secas al horno para el diseño con 0.2% de NPG.....	82
Tabla 41: Registro de masas después de inmersión en agua para diseño con 0.2% de NPG .	82
Tabla 42: Registro de masas después de inmersión para el diseño con 0.2% de NPG	82
Tabla 43: Porcentaje de vacíos para el diseño con 0.2% de NPG.....	82
Tabla 44: Registro de masas secas al horno para el diseño con 0.4% de NPG.....	83
Tabla 45: Registro de masas después de inmersión en agua para diseño con 0.4% de NPG .	83
Tabla 46: Registro de masas después de inmersión para el diseño con 0.4% de NPG.....	83
Tabla 47: Porcentaje de vacíos para el diseño con 0.4% de NPG.....	83
Tabla 48: Registro de masas secas al horno para el diseño con 0.6% de NPG.....	84
Tabla 49: Registro de masas después de inmersión en agua para diseño con 0.6% de NPG .	84
Tabla 50: Registro de masas después de inmersión para el diseño con 0.6% de NPG	84
Tabla 51: Porcentaje de vacíos para el diseño con 0.6% de NPG.....	84

Tabla 52: Difusión del ion cloruro según la carga atravesada	88
Tabla 53: Resumen de resultados de penetrabilidad del ion cloruro	88
Tabla 54: Registro de los cambios de longitud en función del tiempo - diseño patrón	89
Tabla 55: Registro de los cambios de longitud en función del tiempo - diseño 0.2% NPG ...	90
Tabla 56: Registro de los cambios de longitud en función del tiempo - diseño 0.4% NPG ...	91
Tabla 57: Registro de los cambios de longitud en función del tiempo - diseño 0.6% NPG ...	92
Tabla 58: Costo unitario por m ³ para el diseño de concreto patrón	94
Tabla 59: Costo unitario por m ³ para el diseño de concreto con 0.2% de NPG	94
Tabla 60: Costo unitario por m ³ para el diseño de concreto con 0.4% de NPG	95
Tabla 61: Costo unitario por m ³ para el diseño de concreto con 0.6% de NPG	95

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1: Proporción típica en volumen de los componentes del concreto	23
Ilustración 2: Dimensiones del molde para ensayo de asentamiento	28
Ilustración 3: Estructura molecular del grafeno	31
Ilustración 4: Dimensiones de la probeta de concreto.....	34
Ilustración 5: Peso unitario suelto y compactado del ag. grueso.....	41
Ilustración 6: Peso unitario suelto y compactado del ag. fino	42
Ilustración 7: Procedimiento para hallar el peso unitario compactado del ag. grueso	42
Ilustración 8: Cuarteo de los agregados para ensayos de peso específico.....	45
Ilustración 9: Procedimiento para ensayo de peso específico del ag. fino	45
Ilustración 10: Procedimiento para ensayo de peso específico del ag. grueso.....	46
Ilustración 11: Ensayo de contenido de humedad para agregado fino y grueso	47
Ilustración 12: Peso unitario o densidad del concreto	53
Ilustración 13: Procedimiento para revenimiento del concreto	54
Ilustración 14: Toma de la temperatura del concreto en su estado fresco.....	55
Ilustración 15: Tipos de fracturas típicas en el ensayo de resistencia a compresión.....	56
Ilustración 16: Carga máxima aplicada a las muestras cilíndricas	57
Ilustración 17: Identificación de los tipos de fracturas generadas.....	57
Ilustración 18: Preparación de muestras para ensayo de absorción y vacíos	58
Ilustración 19: Preparación de muestras para ensayo de densidad.....	60
Ilustración 20: Pesaje del Cloruro e Hidróxido de Sodio	63
Ilustración 21: Llenado del equipo experimental con las soluciones de sodio.....	63
Ilustración 22: Sistema de conexiones del equipo experimental.....	64
Ilustración 23: Curado de las vigas de concreto en poza de agua	66
Ilustración 24: Colocación de barras en solución sulfatada	66
Ilustración 25: Toma de medidas con el comparador de longitud.....	66
Ilustración 26: Curva granulométrica del agregado fino – Cantera: “La Victoria – Pátapo”. 67	

Ilustración 27: Curva granulométrica del agregado grueso – Cantera: “La Victoria – Pátapo”	68
Ilustración 28: Resistencia a compresión a los 7 días de curado.....	79
Ilustración 29: Resistencia a compresión a los 14 días de curado.....	79
Ilustración 30: Resistencia a compresión a los 28 días de curado.....	79
Ilustración 31: Comparación de la evolución de resistencias a compresión para los distintos diseños	80
Ilustración 32: Comparación del porcentaje de volumen de vacíos para los distintos tipos de diseños	85
Ilustración 33: Evolución de la migración de cloruros en función del tiempo - diseño patrón	86
Ilustración 34: Evolución de la migración de cloruros en función del tiempo - diseño 0.2% NPG	86
Ilustración 35: Evolución de la migración de cloruros en función del tiempo - diseño 0.4% NPG	87
Ilustración 36: Evolución de la migración de cloruros en función del tiempo - diseño 0.6% NPG	87
Ilustración 37: Evolución de la expansión promedio para las muestras de diseño patrón	89
Ilustración 38: Evolución de la expansión promedio para las muestras del diseño con 0.2% NPG	90
Ilustración 39: Evolución de la expansión promedio para las muestras del diseño con 0.4% NPG	91
Ilustración 40: Evolución de la expansión promedio para las muestras del diseño con 0.6% NPG	92
Ilustración 41: Evolución de la expansión por exposición acelerada de sulfatos para los distintos diseños	93
Ilustración 42: Comparación de costos en soles por m ³ de concreto.....	96

Resumen

A nivel global, la industria de la construcción busca constantemente mejorar las propiedades del concreto como su resistencia a la compresión y su durabilidad, mismas que vienen siendo afectadas impidiendo que las estructuras sean eficientes y cumplan con su funcionalidad a lo largo de su vida útil proyectada. En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo principal analizar la influencia de incorporar NPG en dosis del 0.2%, 0.4% y 0.6% en la resistencia a la compresión y durabilidad del concreto. Para ello, se elaboró un estudio de tipo experimental a un conjunto de ensayos realizados a un total de 168 muestras, de las cuales 120 fueron destinadas para el ensayo de resistencia a la compresión, 24 para el ensayo volumen de vacíos, 12 para el ensayo de resistencia a la penetración de cloruros y 12 vigas para el ensayo de sulfatos. Los resultados para el ensayo de resistencia a compresión mostraron un incremento favorable en todas las adiciones; sin embargo, el diseño más destacable fue la dosis de 0.4% alcanzando un $f'c$ de 284.70 kg/cm² a un curado de 28 días en comparación con la muestra control que alcanzó un $f'c$ de 213.50 kg/cm². Asimismo, se observó una mejora en la reducción del volumen de vacíos y de la penetración de cloruros y sulfatos, lo que confirma que el incorporar NPG en la fabricación del concreto, mejora considerablemente su resistencia a la compresión y su resistencia frente al ataque de cloruros y sulfatos.

Palabras clave: Nanotecnología, concreto, durabilidad, grafeno, cloruros, sulfatos.

Abstract

The global construction industry seeks the constant improvement of concrete properties such as compressive strength and durability, which over time have been affected, preventing structures from being efficient and fulfilling their functionality throughout their projected useful life. Thus, the general objective of this research is to evaluate the influence of incorporating NPG in doses of 0.2%, 0.4% and 0.6% on the compressive strength and durability of concrete. For this purpose, an experimental study was carried out on a total of 168 samples, of which 120 were used for the compressive strength test, 24 for the voids volume test, 12 for the chloride penetration resistance test and 12 beams for the sulfate resistance test. The results obtained for the compressive strength test showed a favorable increase in all the additions; however, the most outstanding design was the 0.4% dosage, reaching an f'_c of 284.70 kg/cm² at a 28-day cure, compared to the control sample that reached an f'_c of 213.50 kg/cm² at the same curing age. On the other hand, an improvement in the reduction of the percentage of voids and of the penetration of chlorides and sulfates in the concrete was observed, which would confirm that the incorporation of NPG in the concrete mix considerably improves both its compressive strength and its resistance to chloride and sulfate attack.

Keywords: Nanotechnology, concrete, durability, graphene, chlorides, sulfates.

Introducción

El concreto es considerado el material de construcción más empleado a nivel mundial, conocido por su versatilidad, el cual permite que se utilice en diversas estructuras que van desde edificios y puentes hasta pavimentos y presas.

La elevada demanda de consumo a nivel mundial de este material trae consigo el incremento en la producción del cemento, misma que alcanzó una producción a nivel mundial de 4,129 millones de toneladas en el año 2016, siendo China el país con mayor demanda de cemento (el 58% del total del consumo a nivel mundial) [1]. Si producir 1 ton. de cemento emite alrededor de 0.83 toneladas de CO₂ [2]; entonces solo China libera un aproximado de 1,988 millones de toneladas de CO₂ al año; esta cifra es alarmante debido a que contribuye con el calentamiento global desencadenando consecuencias que terminan por afectar a todo el mundo. Sin embargo, el uso masivo de este material es prácticamente irremplazable en su totalidad debido a las características fundamentales que posee como su resistencia y durabilidad; mismas que en la actualidad se han visto afectadas por factores tanto internos como externos, por lo que surge la necesidad de una mejora constante con el fin de obtener estructuras seguras y duraderas capaces de soportar condiciones ambientales y las cargas a las cuales son sometidas en su periodo de vida útil.

Los problemas de durabilidad vienen afectando diversos tipos de estructuras, las cuales al presentarse las vuelven disfuncionales e ineficientes impidiendo que estas cumplan con su vida útil proyectada. Estos problemas no solo están vinculados a su diseño o construcción, sino que también influyen de manera considerable durante su fase operativa, generando gastos y daños económicos al propietario o financista, ya sea por reparaciones en áreas dañadas, sustitución de componentes estructurales deteriorados o por mantenimientos recurrentes [3]. Buffenbarger menciona que en EE. UU las estructuras de transporte intermodal afectadas por los problemas de durabilidad, tuvieron como consecuencia un gasto de 20 billones de dólares en el año 1986 [4]; mientras que Neville, comenta que uno de los grandes países desarrollados como el Reino Unido, el 40% de su inversión en el sector construcción va destinado a su mantenimiento y reparación, lo que representa un 4% de su PBI [5].

Por otro lado, un enfoque de la problemática nacional en la actualidad es que el Perú se encuentra ubicado geográficamente en una zona con alta vulnerabilidad sísmica, por lo que resulta necesario la mejora de sus propiedades mecánicas. El Instituto Geofísico del Perú, alerta a la población peruana sobre la posibilidad de un fuerte terremoto de magnitud 8.8 en escala de Richter debido a la liberación de la energía acumulada por muchos años en las zonas de alta actividad sísmica [6]. Se han reportado 593 sismos en lo que va del presente año, de los cuales

47 (8%) son sismos mayores a 5 grados de magnitud, siendo ésta una cifra preocupante para el sector de la construcción ya que, si no se contempla un adecuado diseño estructural y una buena calidad de los materiales usados, las estructuras corren riesgo de colapsar, trayendo consigo el deceso de vidas humanas y pérdidas de recursos materiales [7].

Por lo tanto, no es suficiente con que el concreto sea resistente, sino también es fundamental que sea duradero. Uno de los grandes problemas que presenta el concreto es el deterioro provocado por acción de los sulfatos y cloruros que se encuentran presentes ya sea en suelos contaminados, aguas con contenido de estos compuestos o incluso en estructuras expuestas a ambientes marinos. Estos iones presentes en el suelo o en el agua, terminan penetrando por los poros del concreto y llegando al acero, donde acaban rompiendo la capa pasivante y produciendo así la oxidación de la armadura y el desprendimiento del concreto; provocando que la estructura se debilite, lo que puede conllevar a fallos estructurales [8].

Es así como, en la actualidad se vienen realizando estudios e investigaciones que ayuden al concreto a mejorar su resistencia, durabilidad y a su vez disminuya la cantidad de cemento para su elaboración, teniendo como resultados la incorporación de materiales nanotecnológicos como adiciones para el concreto. Entre estos nanomateriales, el grafeno es una de las alternativas que pretende revolucionar la industria del sector construcción, pues tiene un gran impacto positivo en su aplicación a compuestos cementosos a través de mecanismos que restringen la propagación de grietas a una escala nanométrica.

El grafeno, se descubrió por primera vez en el año 2004 por Andre Geim y Konstantin Novoselov, científicos de origen ruso quienes recibieron el premio nobel en 2010 debido a las minuciosas investigaciones que realizaron al grafeno [9]. Estudios aseguran que este material posee muchas propiedades como la dureza, lo que hace que sea muy resistente al desgaste soportando incluso grandes pesos. También destaca por ser un material transparente, ligero (densidad de 0.77mg/m^2), flexible y con una alta elasticidad lo que permite su aplicación en diversas superficies aumentando de esta forma su durabilidad, pues al ser un material con alta elasticidad, tendrá menos probabilidad de quebrarse [10].

La solución para la problemática narrada en esta investigación radica en diseñar una mezcla de concreto adicionando nanoplaquetas de grafeno en proporciones del 0.2%, 0.4 % y 0.6% con relación al peso del cemento. Esto se plantea con el principal motivo de que la resistencia y durabilidad del concreto guardan relación con la organización y la estructura de sus partículas, por lo que adicionando este nanomaterial se lograría que el concreto mejore sus propiedades debido a las características que el grafeno posee. Ante esto, la formulación del problema en la presente investigación es ¿Qué tanto puede influir la incorporación de nanoplaquetas de grafeno

en la resistencia a la compresión y la durabilidad en el concreto? Como respuesta a ello, se plantea la siguiente hipótesis: la incorporación de nanoplaquetas de grafeno en la preparación de la mezcla de concreto aumenta su resistencia a la compresión y su durabilidad por lo que ofrecería una mayor resistencia contra el ataque de cloruros y sulfatos.

La utilización de este nanomaterial se justifica en varios aspectos que sirven como respaldo de esta investigación y se describen a continuación:

En el aspecto científico, es importante el desarrollo de nuevos materiales con mejoras en sus propiedades. Actualmente, hay empresas que se dedican a la exploración de materiales con el propósito de descubrir nuevas aplicaciones en la ingeniería. Por lo tanto, esta investigación pretende contribuir a la creciente comunidad de investigadores en nanotecnología y nanomateriales, promoviendo que la innovación de materiales de construcción vaya de la mano con las investigaciones realizadas.

Ahora bien, en el aspecto ambiental, la industria del sector construcción está considerado mundialmente como una de las mayores fuentes de emisión de GEI (gases de efecto invernadero), esto a causa de la sobreexplotación de materia prima, las constantes demoliciones producto de la limitada durabilidad y sobre todo de los gases emitidos a la atmósfera producto del uso de maquinarias y materiales utilizados (como el cemento) para la construcción de estas estructuras. Por ello, esta investigación busca la mejora del concreto en cuanto a su resistencia y durabilidad, alargando el periodo de vida de las estructuras y evitando demoliciones masivas las cuales solo generan múltiples impactos desfavorables al medio ambiente. Por otro lado, el uso de este nanomaterial en la construcción reduciría el volumen del concreto sin comprometer su resistencia y como consecuencia reduciríamos la producción y el consumo del cemento, lo que tendría un efecto positivo en el medio ambiente, dado que la manufactura de cemento es una fuente importante de emisiones de CO₂.

Por otro lado, desde el enfoque de aspecto social, el uso de este nanomaterial conseguirá en el concreto un aumento en su resistencia y durabilidad, construyendo de esta manera estructuras más seguras y duraderas, lo que reducirá el riesgo de colapsos y accidentes, protegiendo y salvaguardando así la vida de las personas. Además, la mayor durabilidad del concreto significa que las infraestructuras requerirán menor mantenimiento y reparación, lo que puede traducirse en una disminución de costos para los gobiernos. Esto permite redirigir recursos a otras áreas sociales, como la educación o la salud.

Finalmente, en el aspecto económico, la exigencia de incrementar las dimensiones en los elementos estructurales de concreto para mejorar sus propiedades implica un aumento de costos a comparación de usar un concreto con adición de grafeno ya que, por las propiedades que

posee este nanomaterial, requerirá una menor sección sin perjudicar su resistencia y durabilidad. Por otro lado, la adición de NPG al concreto beneficiará a futuro un significativo ahorro en costos de reparación y mantenimiento a comparación con el uso de un concreto tradicional.

Para concluir, se establecieron objetivos fundamentales que facilitarán el desarrollo de esta investigación, teniendo como objetivo general el evaluar el efecto de incorporar nanoplaquetas de grafeno en la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto. Para lograr el desarrollo de este objetivo general, se definió un número de objetivos específicos, los cuales son: Conocer la variación de la resistencia a la compresión del concreto que genera la adición de grafeno en porcentajes del 0.2%, 0.4% y 0.6%; determinar el porcentaje de volumen de vacíos en el concreto antes y después de adicionarle el grafeno en porcentajes del 0.2%, 0.4% y 0.6% para posteriormente realizar una comparativa de estos; analizar el efecto que causa la adición de grafeno en porcentajes del 0.2%, 0.4% y 0.6% en la penetrabilidad de iones de cloruros y sulfatos en el concreto y finalmente estimar una evaluación económica comparativa entre el concreto con adición de grafeno y el concreto con el método tradicional.

Revisión de literatura

○ *Antecedentes*

L. Choque Flores [11], propuso en su investigación emplear un procedimiento que ayude al incremento favorable de las propiedades mecánicas del concreto en procesos de construcción, específicamente para un diseño con resistencia nominal de 210 kg/cm². Para ello, desarrolló un diseño de tipo experimental a un grupo de 120 muestras ensayadas en un laboratorio. Este total de muestras incluyeron 90 muestras cilíndricas y 30 prismáticas. A estas se le añadieron dosis de grafeno en proporciones del 0.1%, 0.2%, 0.3% y 0.4% con relación al peso del cemento. Las muestras fueron expuestas a pruebas de tracción, flexión y compresión, evaluando su resistencia a los 7, 14 y 28 días para compresión y a los 7 y 28 días para pruebas a flexión y tracción. Los resultados corroboraron que el diseño de mezcla fue el adecuado ya que al añadir un porcentaje del 0.4% de grafeno y con un curado de 28 días, se logró un incremento relevante en las propiedades comparándola con la muestra de referencia. Como resultados arrojaron que, para la prueba a compresión, las muestras sin adición consiguieron una resistencia de 164.21 kg/cm², 187.60 kg/cm² y 211.28 kg/cm² a los 7, 14 y 28 días correlativamente, mientras que los testigos con adición de grafeno al 0.4% obtuvieron un f_c de 199.98 kg/cm², 229.43 kg/cm² y 283.12 kg/cm² en los mismos días de curado respectivamente. Para el ensayo a flexión, los especímenes patrón obtuvieron una resistencia de 19.06 kg/cm² y 39.53 kg/cm² a los 7 y 28 días de curado, mientras que el muestreo con incorporación del 0.4% generó una resistencia de 25.10 kg/cm² y 44.60 kg/cm² para los mismos días de curado correlativamente. Finalmente, para la prueba a tracción, los especímenes patrón obtuvieron una resistencia de 20.70 kg/cm² y 41.00 kg/cm² a los 7 y 28 días de curado correlativamente, mientras que los especímenes con adición al 0.4% obtuvieron una resistencia de 25.90 kg/cm² y 46.30 kg/cm² en los mismos días de curado correlativamente.

K. P. Guevara Rimarachin [12], desarrolló una investigación orientada a la mejora de las propiedades físicas y mecánicas para un concreto de alta resistencia adicionando NPG en concentraciones del 0.27% y 0.33% mediante la aplicación de ondas ultrasónicas. Como primer paso se realizó ensayos preliminares para determinar el tiempo óptimo para lograr una buena dispersión de partículas, optando como la mejor opción el aplicar ondas ultrasónicas por un periodo de 60 minutos. Los resultados arrojados para el ensayo de resistencia a compresión mostraron que las adiciones del 0.27% y 0.33% incrementaron respecto al concreto patrón en un 10.03% y 1.70% respectivamente. Por otro lado, el ensayo de volumen de vacíos mostró una

reducción del 53.12% y 32.47% para las concentraciones del 0.27% y 0.33% de NPG en comparación con el concreto de referencia. Finalmente, para el ensayo de durabilidad frente a sulfatos, se observó una reducción de expansión del 72.55% en las 4 primeras semanas y del 22.46% entre la octava semana y el sexto mes para una adición del 0.27% de NPG. Estos resultados mostraron que el incorporar nanoplaquetas de grafeno al concreto, mejoró ligeramente las propiedades de este, siendo el diseño con una concentración del 0.27%, el óptimo.

R. Quiroz y C. Hidalgo [13], realizaron una investigación en la que evaluaron la influencia del grafeno en las propiedades del concreto tanto en su condición fresca como endurecida. Para la evaluación de la resistencia a esfuerzos de compresión, se utilizaron 48 muestras cilíndricas de 5cm de radio x 20cm de altura, de las cuales 12 muestras fueron ensayadas para un diseño patrón y 36 muestras con adiciones de grafeno al 2%, 4% y 6 % las cuales fueron ensayadas a los 1, 3, 7 y 28 días. Asimismo, se utilizaron 48 testigos para la prueba de tracción directa por compresión diametral y 8 muestras más para la prueba de permeabilidad, sumando a un total de 104 muestras en total. Los resultados arrojados para la prueba de compresión para un curado de 28 días fueron de 214.07 kg/cm² para la muestra patrón, mientras que para las muestras con incorporación del 2%, 4% y 6% fueron de 218.67 kg/cm², 225.17 kg/cm² y 205.50 kg/cm² correlativamente. Por otro lado, los valores para el ensayo a tracción con un curado de 28 días fueron de 20.69 kg/cm² para la muestra control, mientras que para las muestras con incorporación del 2%, 4% y 6% fueron de 21.55 kg/cm², 22.33 kg/cm² y 19.55 kg/cm² correlativamente. Finalmente, el ensayo de volumen de poros permeables arrojó un 15.9% para la muestra de referencia, mientras que para las muestras con incorporación del 2%, 4% y 6% fueron de 12.61%, 8.63% y 5.74% respectivamente. Estos resultados indicaron que, mientras mayor sea el porcentaje de grafeno a usar, menor será el porcentaje de volumen de vacíos.

H. Yang, M. Monasterio, H. Cui, y N. Han [14], afirman en su artículo de investigación que la incorporación de GO (óxido de grafeno) incrementa la resistencia a la compresión, especialmente en edades tempranas de curado. Es así como decidieron realizar un estudio experimental de un grupo patrón (GP) y 3 grupos con adiciones del 0.10 %, 0.15% y 0.20% de óxido de grafeno a quienes denominó como G10, G15 Y G20 respectivamente, logrando como respuesta que las resistencias a la compresión de sus especímenes G10, G15 y G20 incrementó en un 56,4 %, 69,1 % y 81,8% después de 3 días de curado, en contraste con los especímenes de control. Un punto importante para tener en cuenta en esta investigación es que después de 3 días, la resistencia a la compresión disminuyó con la edad de curado, tomando valores de 4,8%,

7,4% y 11,2% después de 28 días para los grupos experimentales G10, G15 y G20 respectivamente. La conclusión a la que se llega es que el óxido de grafeno puede afectar considerablemente el proceso de hidratación y resistir mejor las fuerzas de compresión siempre y cuando se trabaje con porcentajes considerables.

Z. Jiang, O. Sevim y O. Ozbulu [15], desarrollaron una investigación experimental con el propósito de estudiar cómo las nanoplaquetas de grafeno (NPG) afectan las propiedades mecánicas del concreto. Para ello, prepararon mezclas de concreto con concentraciones de GNP que varían entre 0.025% y 0.1% respecto al peso del cemento, utilizando como técnica una dispersión que combina un mezclado de elevada cizalladura y un superplastificante a base de polycarboxilatos para esparcir las GNP en agua. Junto a este mezclado, se aplicó ultrasonido con una frecuencia de 10 kHz y una potencia de 240W. En este artículo de investigación se evaluaron 6 diseños de dispersión; las 3 primeras muestras se sometieron a 30, 60 y 90 minutos de cizallamiento respectivamente, mientras que las otras 3 muestras restantes fueron sometidas al mismo tiempo de cizallamiento anterior, pero con la diferencia de la adición de sondas de ultrasonido por un tiempo de 15 minutos. Los resultados concluyen que el uso de mezcla de elevada cizalladura junto con la aplicación de ultrasonido da como resultado escamas de GNP de dimensiones reducidas, siendo la ultrasonicación de sonda la más importante para la reducción del tamaño de estas láminas. Finalmente, se obtuvo como respuesta que al adicionar una concentración del 0.025% de GNP en la mezcla de concreto, se visualiza un incremento del 17% en la resistencia a compresión, mientras que, por otro lado, no se observa efectos significativos en su incremento de resistencia a flexión, pudiendo notar también que a un mayor incremento de concentración de GNP trae como resultado una depreciación de su resistencia atribuida a la posible aglomeración de GNP.

S. P. Dalal y P. Dalal [16], realizaron un estudio sobre la resistencia y durabilidad de un nuevo tipo de concreto que incorpora grafeno funcionalizado con surfactante (SG). Este grafeno funcionalizado se realizó en el laboratorio mediante un proceso de exfoliación por cizallamiento líquido del polvo de grafito. Se utilizaron como surfactantes al lauril sulfato de sodio (SLES) y sulfonatos de alquilbenceno; los mismos que fueron dispersados con el polvo de grafito para luego realizar una mezcla de alto cizallamiento en un mezclador de cizallamiento a 12000 rpm en un lapso de 30 minutos. A esta solución resultante se dejó secar en un horno durante 24 horas para finalmente obtener polvo de grafeno funcionalizado (SG). Una vez realizado este procedimiento, se introdujo el SG al concreto a través de su dispersión en agua, aplicando diferentes dosis de 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9 y 1 g/l en nueve mezclas de concreto diferentes.

Finalmente, se evaluó cuánto puede resistir esfuerzos a tracción, compresión y flexión, así como la absorción de agua y la contracción por secado, obteniendo como respuesta que la incorporación de 1 g/l de grafeno aumenta hasta el 55%, 27% y 95% la resistencia a la tracción, compresión y flexión, respectivamente. Por otro lado, también se notó un incremento en la absorción de agua y en la contracción del concreto.

L. Li, Q. Zheng, B. Han, y J. Ou [17], en su investigación aseguran que la incorporación de las multicapas de grafeno (MLG) genera que se reduzca significativamente la debilidad interna del RPC (Concreto en polvo reactivo). Este artículo analiza inicialmente el comportamiento a la fatiga del concreto en polvo reactivo (RPC) complementado con grafeno multicapa (MLG) bajo fuerzas de compresión. Presentando resultados experimentales que incluyen la vida útil por fatiga, el desarrollo de la deformación por fatiga, el índice de daño y la absorción de energía. También investiga la variación de temperatura dentro de los compuestos de concreto mediante el monitoreo de la temperatura de hidratación en diversas ubicaciones y analiza las microestructuras de debilidad interna del RPC utilizando microscopía de barrido electrónica (SEM), espectroscopia de energía dispersa (EDS) y procesamiento de imagen digital (DIP). Los resultados revelan que la adición de MLG reduce notablemente la debilidad interna del RPC. En particular, la MLG disminuye tanto la variación de temperatura como la tensión térmica en los compuestos de hormigón y reduce los orificios en la zona de grietas por fatiga. Al unirse las MLG a las microfisuras y fusionarse con la mezcla de cemento endurecido, la MLG en forma de lámina ralentiza la formación de microfisuras durante la fase de fluencia-fatiga, ralentiza el comienzo de fatiga e incrementa la deformación antes del fallo por fatiga. Como resultado, con un contenido de MLG del 0,075 % en peso, se observan incrementos del 49,3 % (en términos de logaritmo), 333,1 % y 22,23 % en la vida útil por fatiga, la absorción de energía y el índice de daño del RPC, respectivamente.

H. Du y S. D. Pang [18], llevaron a cabo una investigación experimental sobre el método de dispersión de las nanoplaquetas de grafeno (GNP) y su impacto en la fluidez y la generación de poros (permeabilidad) en la pasta de cemento. Para ello, primero determinaron la dosis mínima de surfactante (superplastificante a base de policarboxilatos) que pueda hacer que el compuesto de cemento con GNP sea igual de fluido que una pasta simple, siendo el 15% de este surfactante, con relación al peso del GNP, el nivel óptimo para lograr una buena dispersión sin comprometer la trabajabilidad. Lo anterior se concluyó debido a la modificación de las dosis de dispersante mediante ultrasonido a una potencia de 210W y una frecuencia de 20kHz. Se realizó la sedimentación en suspensión acuosa de 5 muestras en un lapso de 0, 15, 30, 60 y 120

minutos de permanecer en dispersión ultrasónica, para luego dejarla reposar y observar su cambio dentro de 1 y 24 horas. Para la muestra sin sonicación, las GNP tienden a aglomerarse y precipitarse en el fondo después de 1 h; sin embargo, las muestras con sonicación de 15 min o más, las GNP permanecieron suspendidas en las suspensiones acuosas después de 1 h. Por otro lado, la sedimentación después de 24 horas se puede apreciar una menor dispersión en muestras de 30 minutos de sonicación o menos. Esta observación respalda un período de sonicación de al menos 60 min para mejorar la dispersión de GNP y su estabilización en suspensiones durante al menos 1 día. Finalmente se determinó que la pasta de cemento con un 1% de GNP logró duplicar su dureza, mientras que la permeabilidad efectiva y el diámetro de los poros se redujeron en un 37% y un 30%, respectivamente. Sin embargo, al incrementar el contenido de GNP al 2% y al 4%, las nanoplaquetas no se dispersaron adecuadamente, lo que resultó en áreas débiles formadas por aglomeraciones en la pasta de GNP, lo que perjudicó las mejoras en dureza y el refinamiento de los poros.

F. I. Ismail et al. [19] realizaron una evaluación de la hidratación y las propiedades mecánicas de un concreto de elevado rendimiento (HPC) con la adición de nanoplaquetas de grafeno (GNP) manteniendo el curado en condiciones ambientales. Para ello, se necesitaron dosis de GNP de 0.02%, 0.05%, 0.10%, 0.30% y 0.50% con respecto a la masa del cemento, para luego evaluar sus propiedades mecánicas en distintos tiempos de curado (3, 7, 28, 56 y 90 días). Primero se analizó el comportamiento de hidratación del concreto junto con las GNP mediante espectroscopia infrarroja, teniendo como resultado que la incorporación de GNP aumenta el nivel de carbonización. Por otro lado, se llegó a concluir que la resistencia a la compresión, flexión, tracción, módulo de elasticidad, la tenacidad a la flexión y el índice de ductilidad mejoraron con las incorporaciones de hasta un 0.10% de GNP, a diferencia de las adiciones de 0.30% y 0.50% de GNP que propiciaron una reducción de estas mismas propiedades. Así también, se notó que la incorporación de 0.02% de NPG mejoró la resistencia tanto la compresión como a la flexión, tenacidad a la flexión, tracción directa, índice de ductilidad y módulo de elasticidad en un 20.82%, 13.16%, 79.9%, 30.05%, 43.10% y 21.70% respectivamente, a los 28 días de madurez. Finalmente, el artículo concluye que estos buenos resultados se deben a que las NPG llenan los vacíos, logrando un concreto compacto y robusto.

D. E. Bartra [20], en su investigación sostiene que la inclusión de grafeno en la preparación del concreto genera un incremento de resistencia a los esfuerzos de compresión en comparación con un diseño elaborado de forma ordinaria. Para llevar a cabo el estudio, se plantearon cuatro tipos de diseños: el primer diseño fue el de control, que no contenía adición de grafeno, el

segundo diseño contenía un 1% de grafeno (porcentaje medido respecto al peso total del cemento a usar), el tercer diseño incluía un 1.5% y el último un 2%. Transcurrido el tiempo reglamentario de curado (28 días), se efectuaron los ensayos de compresión a las muestras cilíndricas. Los resultados indicaron que las muestras de referencia lograron un $f'c$ de 217 kg/cm², mientras que las muestras con incorporación de grafeno al 1.0%, 1.5% y 2.0% lograron resistencias aproximadas de 240 kg/cm², 241 kg/cm² y 254 kg/cm², correlativamente. Estos resultados hacen concluir que la resistencia a los esfuerzos de compresión en términos de porcentaje, con un curado a los 28 días, comparado con la muestra de control, alcanzan un aumento aproximado del 114%, 115% y 121% en muestras con adiciones del 1.0%, 1.5% y 2.0% respectivamente.

B. M. Montañez y A. G. Zavala [21], centraron su investigación en el análisis de la durabilidad del concreto con una resistencia nominal de 210 kg/cm², mediante la inclusión de grafeno en porcentajes del 0.5% y 1% como aditivo funcional. El total de muestras constan de 27 cilíndricas para el ensayo de resistencia a la congelación y deshielo, de las cuales 9 de estas muestras fueron para una muestra control (concreto sin la incorporación de grafeno) y ensayadas a los 7, 14 y 28 días; 9 muestras más para un concreto con incorporación del 0.5% de grafeno ensayadas a los 7, 14 y 28 días y las 9 muestras restantes para un concreto con incorporación del 1% de grafeno ensayadas a los 7, 14 y 28 días. De la misma forma descrita anteriormente se usaron 27 especímenes más para la prueba de resistencia a la corrosión por sulfato de magnesio. Las muestras tanto para resistencia a sulfato como para congelación y deshielo fueron ensayadas luego por esfuerzos de compresión. Los resultados arrojados para la prueba de exposición a sulfatos de magnesio mostraron pérdidas de peso de 1.00g y 1.67g para los especímenes de concreto con incorporación del 0.5% y 1% de grafeno, mismas muestras que fueron sometidas luego a compresión obteniendo un incremento en porcentaje de resistencia del 127% y 117% respecto a las muestras de control. Finalmente, para el ensayo de congelación y deshielo se llevó a cabo a una temperatura de -25°C en un periodo de 6 horas para luego incorporarlo al horno por un lapso de 2 horas a 40°C repitiendo 5 veces este mismo ciclo. Terminado estos ciclos las muestras fueron ensayadas y sometidas a compresión obteniendo un incremento de resistencia en porcentajes del 126% y 118% respecto al concreto de control o patrón.

○ **Bases teóricas**

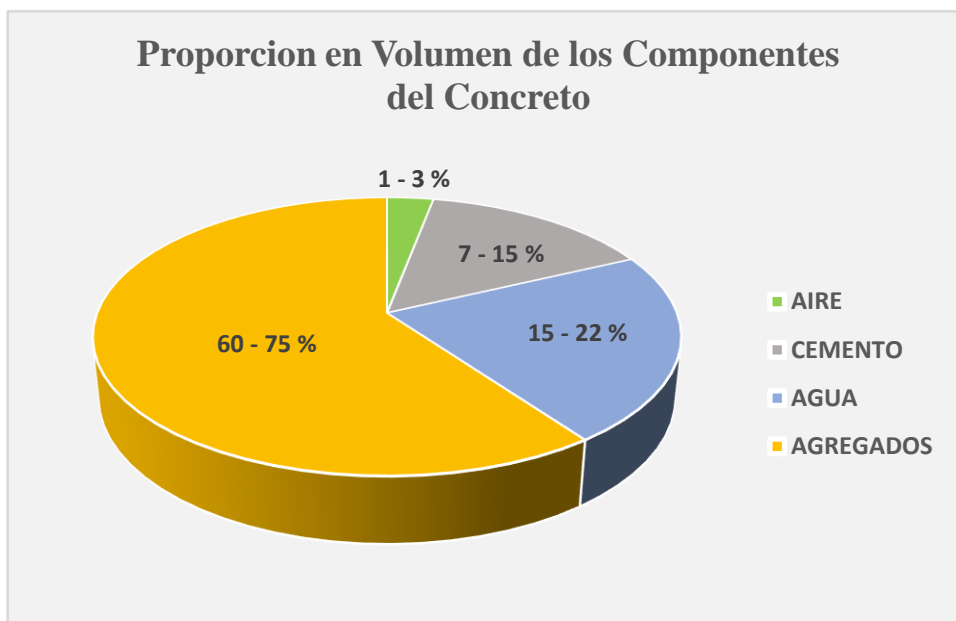
✓ **El concreto**

El concreto es un material duro similar a una roca, que se produce al mezclar agregados (piedra y arena), agua, cemento y aire. A comparación de las rocas, el concreto puede moldearse según las formas requeridas, utilizando encofrados o moldes [22].

El cemento, generalmente de tipo Portland, al hidratarse, establece una unión química entre los distintos componentes del concreto. Normalmente, los agregados constituyen entre el 60 y 75% del volumen total del concreto, el cemento entre el 7 y 15%, y el aire atrapado entre el 1 y 3% [23].

La resistencia del concreto varía según el diseño de la mezcla utilizada, así como la metodología empleada y la efectividad de un buen curado. Se sabe que el concreto soporta muy bien esfuerzos de compresión, pero por otro lado tiene una baja resistencia a esfuerzos de flexión y tracción; es por ello que se incorpora acero como refuerzo, pues en estos aspectos el concreto no es lo suficientemente eficiente por sí solo. En el pasado, los concretos tenían una resistencia bastante limitada, lo que requería el uso de elementos muy pesados para soportar grandes cargas. Hoy en día, este aspecto ha mejorado considerablemente, ya que existen concretos de alta resistencia que ayudan a disminuir el peso de las estructuras de gran tamaño [22].

Ilustración 1: Proporción típica en volumen de los componentes del concreto



Fuente: Ottazzi Pasino, 2004

✓ **Componentes del concreto:**

➤ **El Cemento**

El cemento puede definirse como un componente aglomerante con propiedades de cohesión y adherencia que son necesarias para unir fragmentos de minerales creando una masa compacta que cumple con las propiedades y características requeridas. Este material fue fabricado en Inglaterra por primera vez en el año 1824 [22]. En la construcción, el término cemento es utilizado para todo material cuyo fin es unir piezas de ladrillo y fabricar elementos constructivos. Este material cementante es capaz de endurecerse al interactuar con el agua, a través de una reacción química, lo que le otorga el nombre de cemento hidráulico.

El cemento actúa como aglutinante en la mezcla de concreto y su proceso de obtención inicia con la molienda en polvo de piedra caliza y arcilla, misma que luego se cocina en hornos a temperaturas de entre 1400 y 1600 grados centígrados. El resultado es un material gris y de tono oscuro conocido como "Clinker", que posteriormente se pulveriza y se combina con una cierta cantidad de yeso, lo que ayuda a controlar el tiempo de fraguado de la mezcla [24].

Existen distintos tipos de cemento Portland según las especificaciones ASTM C-150 [25], los cuales serán usados según los requerimientos físicos o químicos que se desean satisfacer:

- ❖ Tipo I (Cemento Portland estándar): Está destinado a un uso general, por ello no cuenta con propiedades especiales. Este tipo de cemento suele usarse en pavimentos rígidos y veredas, estructuras de concreto armado para edificaciones, puentes, unidades de albañilería, etc.
- ❖ Tipo II (Cemento Portland modificado): Destinado al uso general, pero en estructuras expuestas a ataques moderados de sulfatos. Se puede usar en estructuras expuestas al contacto directo con el suelo o aguas subterráneas que tienen acumulación de sulfatos más elevados de lo normal, pero sin ser severos.
- ❖ Tipo III (Cemento Portland de alta resistencia inicial): Se emplea cuando se necesita una alta resistencia inicial. Un ejemplo de ello es cuando la edificación será colocada en servicio de forma rápida o cuando es necesario remover encofrados lo más pronto posible por diversos motivos. Este cemento genera un elevado calor de hidratación

por lo que, en estructuras donde se requiere un vaciado de concreto masivo, su uso es peligroso.

- ❖ Tipo IV (Cemento Portland de bajo calor de hidratación): Se emplea cuando es necesario mantener al mínimo el calor de hidratación. Este cemento desarrolla su resistencia muy lenta a diferencia de los demás tipos, y se utiliza mayormente para estructuras con un vaciado masivo de concreto; por ejemplo, la construcción de presas donde se vierten elevados volúmenes de concreto.
- ❖ Tipo V (Cemento Portland de elevada resistencia a sulfatos): Se emplea solamente en estructuras de concreto que se encuentren expuestas a una acción muy severa de sulfatos. De forma general se emplea donde las estructuras tienen contacto directo con el suelo o el agua subterránea con un elevado contenido de sulfatos; por ejemplo, en la construcción de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Por otro lado, se estima que la producción de cemento en el Perú en el año 2022 bordeó los 13.2 millones de toneladas anuales y en el año 2024 el consumo superó los 11 millones de toneladas. Si partimos del hecho de que un metro cúbico de concreto contiene en peso, aproximadamente el 12% de cemento, 18 % de agua y 70% de agregados entre fino y grueso; llegamos a la conclusión que la manufactura del concreto en el año 2024 consumió alrededor de 64.2 millones de toneladas de agregados (piedra y arena) y 16.5 millones de toneladas de agua [26].

Tabla 01: Producción de cemento en el Perú en millones de toneladas

<i>Producción de Cemento en el Perú (millones de toneladas)</i>	
2021	12.855
2022	13.196
2023	11.404
2024	11.066

Fuente: ASOCEM, INEI 2023

➤ **Los Agregados**

Según la NTP 400.011 [27], describe al agregado como un grupo de partículas que pueden ser de procedencia natural o artificial cuyos parámetros y tamaños se encuentran normados por la NTP 400.037. Los agregados ocupan un volumen de hasta un 75% por cada metro cúbico de mezcla de concreto. Estos se pueden clasificar según su composición granulométrica (Fino de 150 μ m a 4.75 mm o grueso de 9.50 mm a 100.00

mm), según la densidad (liviano o pesado), según la mineralogía que lo compone (sílice, carbonatos, feldespatos, sulfuro de hierro, óxido de hierro, rocas ígneas, rocas sedimentarias y rocas metamórficas), según la forma que estos poseen (Redondo, angulado, laminado, irregular y alargado) y según la textura que tienen (liso, granular, vidrioso, rugoso, cristalino, panal de abeja).

- ❖ Agregado Fino: Este agregado proviene de la descomposición ya sea de forma artificial o natural que atraviesa el 100% de material en el tamiz de 3/8" (9.5 mm) y queda atrapado en la malla #200 (75 µm). debiendo cumplir con lo establecido en la normativa NTP 400.037.

Tabla 02: Tamaño de partícula que deja pasar cada tamiz para agregado fino

Tamices normalizados	Porcentaje que pasa (%)
3/8" (9.52 mm)	100
N° 4 (4.75 mm)	95 a 100
N° 8 (2.36 mm)	80 a 100
N° 16 (1.18 mm)	50 a 85
N° 20 (600 µm)	25 a 60
N° 50 (300 µm)	5 a 30
N° 100 (150 µm)	0 a 10

Fuente: NTP 400.037 – ASTM C136

- ❖ Agregado Grueso: Es el agregado que queda atrapado en el tamiz N° 4 (4.75 mm) y proviene de la descomposición natural o de la trituración de rocas o grava. Estos agregados deben cumplir con los límites estipulados en la norma NTP 400.037.

Tabla 03: Tamaño de partícula que pasa de agregado grueso según Huso 06

Tamices normalizados	Porcentaje que pasa (%)
1 ½" (37.5 mm)	-
1" (25 mm)	100
¾" (19 mm)	90 a 100
½" (12.5 mm)	20 a 55
3/8" (9.52 mm)	0 a 15
N° 4 (4.75 mm)	0 a 5
N° 8 (2.36 mm)	-

Fuente: NTP 400.037 – ASTM C33

➤ ***El Agua en el concreto***

El agua utilizada para la mezcla representa entre el 15% y el 22% en volumen del concreto. Este componente cumple dos funciones esenciales: humectar al cemento para que desarrolle sus propiedades aglutinantes y proporcionar fluidez a la mezcla, lo que facilita su manejo en estado fresco.

El agua al entrar en contacto con el cemento genera una reacción química que lo hace incorporarse en el concreto; mientras que, por otro lado, otorga manejabilidad a la mezcla en su condición fresca lo que genera que parte de ella se evapore, dejando espacios capilares dentro del concreto cuando esté ya endurezca. Estos espacios capilares influyen significativamente en las características del concreto endurecido. Primero, reducen la densidad, lo que disminuye la resistencia. Segundo, permiten el ingreso de líquidos, vapores y gases, volviendo de esta manera al concreto permeable, lo que facilita la entrada de elementos dañinos que pueden afectar al concreto tanto física como químicamente. Tercero, los vacíos creados por la evaporación del agua aumentan el peligro de que sufra fisuras por contracción, ya que la masa de concreto tiene mayor libertad para retraerse. Finalmente, estos vacíos también pueden facilitar procesos de corrosión del acero [28].

Por todo esto, la dosis de agua en el diseño es crucial, pues esta impacta directamente a las principales propiedades del concreto en su estado fresco como endurecido, por lo que este componente se vuelve fundamental controlarlo en la dosificación.

La norma NTP 339.088 especifica las condiciones de calidad del agua adecuada para obtener un buen curado del concreto. Las características que necesita tener el agua a emplear en nuestro diseño se especifican en la siguiente tabla a continuación:

Tabla 04: Límites máximos permisibles del uso del agua según NTP 339.088

Descripción	Límites permisibles máximos
Sólidos en suspensión	5,000 ppm
Alcalinidad	1,000 ppm
Cloruros	100 ppm
Sulfatos	600 ppm
Materias Orgánicas	3 ppm
pH	5 a 8

Fuente: NTP 339.088

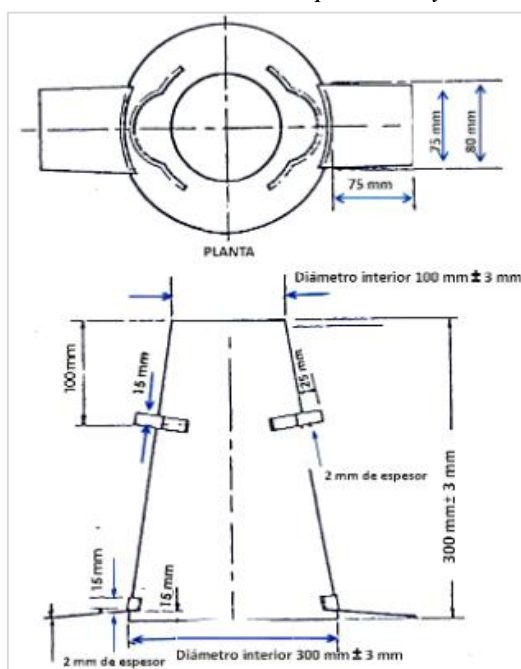
✓ Propiedades del concreto

○ En estado Fresco:

❖ Asentamiento:

La Norma técnica peruana 339.035 (método de ensayo para medir el asentamiento del concreto de cemento Portland), señala que el procedimiento para realizar esta prueba radica en verter una porción de concreto fresco en un cono metálico en tres etapas, llenando un tercio del molde en cada intervalo. En cada etapa, se debe varillar el concreto 25 veces de manera uniforme y distribuida para asegurar una mejor distribución, similar a la función del vibrado. Una vez completado el proceso, se retira el molde y se procede a medir la longitud entre la posición final y la inicial del concreto. Con este procedimiento conocemos el asentamiento que tiene el concreto.

Ilustración 2: Dimensiones del molde para ensayo de asentamiento



Fuente: NTP 339.035

❖ Peso unitario:

La Norma técnica peruana 339.046 (método de ensayo para medir el peso unitario y rendimiento del concreto), señala que el procedimiento para realizar esta prueba radica en verter el concreto fresco en un recipiente metálico de forma cilíndrica en tres porciones de relativamente igual volumen. Cada porción se tendrá que varillar 25 veces introduciendo la varilla de manera uniforme en toda la sección transversal del cilindro. Luego de haber varillado, se golpeará 15 veces con un martillo de goma

los lados externos del cilindro usando una fuerza apropiada de modo que elimine el aire atrapado en su interior. Posterior a ello, se realiza el alisado de la superficie para luego limpiar los residuos de concreto que pudieron quedar en las paredes exteriores del recipiente y finalmente determinar en una balanza el peso del concreto.

El Peso unitario del concreto es calculado haciendo una división de la masa neta (masa del recipiente lleno de concreto menos la masa del recipiente antes del llenado), entre el volumen del cilindro metálico.

❖ **Temperatura:**

La Norma técnica peruana 339.184 (método de ensayo para determinar la temperatura del concreto fresco), señala que el procedimiento para realizar esta prueba consiste en introducir un dispositivo de medición de temperatura (termómetro digital con precisión de ± 0.05 °C y un intervalo de temperatura de 0°C hasta 50°C), de manera que este quede introducido una distancia mínima de 3 pulgadas en un tiempo determinado de mínimo 2 minutos y máximo 5 minutos para finalmente leer y registrar la temperatura una vez que se haya estabilizado el dispositivo.

○ ***En estado endurecido***

❖ **Resistencia a la compresión:**

Esta propiedad es una de las más importantes y fundamentales que tiene el concreto, ya que esta indica la capacidad que tiene el concreto para soportar cargas sin fallar. Los ingenieros utilizan esta información para dimensionar adecuadamente las estructuras y así asegurarse de que estas puedan soportar las cargas que se le aplicarán durante su vida útil.

La Norma técnica peruana 339.034 (método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión del concreto), establece el procedimiento para medir la resistencia a la compresión del concreto. Este proceso comienza con la preparación de cilindros de concreto fresco, que se deben elaborar y curar de acuerdo con especificaciones estándar. Los cilindros se desmoldan después de un período de curado y, posteriormente, se someten a pruebas de compresión en una prensa hasta su ruptura. La resistencia final se calcula con la división de la carga máxima que soporta el espécimen al ser sometido en la prensa de compresión y el área de la

sección transversal del cilindro. Este ensayo permite determinar la capacidad del concreto para soportar esfuerzos de compresión.

❖ **Durabilidad:**

La durabilidad es la capacidad que tienen las estructuras de las edificaciones para conservar sus propiedades físicas y químicas intactas a lo largo de su ciclo de vida, aun cuando estas estructuras se encuentren expuestas al deterioro por los efectos de cargas y sollicitaciones, mismos que deben ser contemplados en su diseño estructural.

Para diseñar una edificación, es necesario contemplar requisitos que garanticen que la edificación alcanzará su ciclo de vida proyectado, considerando factores como las condiciones ambientales y climáticas. Por ello, es fundamental identificar cuáles son los agentes agresivos a los que la edificación será vulnerable. Por todas estas razones, es importante tomar acciones preventivas eficaces en la etapa de diseño que ayude de esta manera a evitar costos adicionales a futuro [30].

✓ **Nanotecnología:**

El término "nanotecnología" se utiliza ampliamente para describir las ciencias y técnicas que operan a nivel de nanoescala, es decir, en dimensiones muy pequeñas, conocidas como "nanos", que van a permitir trabajar con estructuras a nivel molecular y atómico. El origen de la nanotecnología surge de la idea de Richard Feynman, a quien se considera padre de la "nanociencia" y acreedor del Premio Nobel de Física. En el año 1959, Feynman tuvo la idea de elaborar productos mediante la reorganización de moléculas y átomos. En un artículo, el destacado físico exploró cómo las computadoras que operan a nivel de átomos pueden emplear una mínima energía y su vez alcanzar velocidades impresionantes [29].

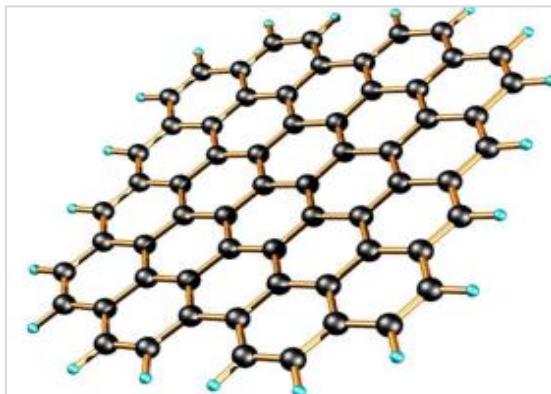
✓ **Nanomateriales:**

Es considerado como nanomateriales aquellos que tienen propiedades de forma y estructura inferiores a un micrómetro en al menos una de sus dimensiones. Aunque no existe un acuerdo general sobre los límites de su tamaño, muchos autores lo consideran dentro de un rango de 1 a 100 nanómetros. De esta manera, se podría definir a la nanoescala como un intervalo entre la escala molecular (aproximadamente 0.2 nanómetros) y la microescala (1 micrómetro) [29].

✓ **Grafeno:**

El grafeno es una forma alotrópica del carbono. Se puede describir al grafeno como una estructura nanométrica bidimensional de átomos de carbono puro formando una malla cristalina con forma similar a la de un havo de abejas y con un ancho de un solo átomo. Por su configuración hexagonal se considera para el entendimiento de las propiedades de alótropos de carbono.

Ilustración 3: Estructura molecular del grafeno



Fuente: Infografeno

Este material cuenta con muchas propiedades [10]. Dentro de esas propiedades destaca su dureza, pues esta es muy similar a la del diamante, lo que hace que sea un material que resiste el deterioro y a su vez es capaz de soportar elevadas cargas. También destaca por ser un material muy elástico lo que genera que sea aplicado en diversas superficies aumentando su durabilidad, pues al ser un material elástico tendrá menos probabilidad de quebrarse. El grafeno posee también propiedades como la flexibilidad (lo que aumenta la aplicación en los diversos campos a utilizar), es muy buen conductor del calor y electricidad, es transparente, liviano, tiene capacidad de reaccionar de manera química con otras sustancias e incluso es capaz de soportar bien la radiación ionizante [10].

Materiales y métodos

○ *Tipo y nivel de investigación*

✓ *Tipo de investigación:*

Esta investigación es de naturaleza experimental, ya que se realizó una manipulación intencionada de la variable independiente (al concreto elaborado de forma convencional, incorporarle el grafeno). Los datos se obtuvieron a través de muestras ensayadas en laboratorios, lo que permitió conocer el impacto que tiene el incorporar grafeno en el concreto, tanto en su condición fresco como endurecido. Para esto, se llevó a cabo un control interno del experimento, asegurándose de que cualquier cambio en el concreto durante los ensayos sea exclusivamente resultado de la manipulación de la variable independiente (grafeno).

✓ *Nivel de investigación:*

La presente investigación es de nivel aplicativo, pues se desea solucionar una problemática mediante la intervención de una variable independiente como es el grafeno, para así pronosticar la mejora de las propiedades del concreto tales como su resistencia a la compresión o su durabilidad.

○ *Hipótesis y variables*

✓ *Hipótesis:*

En relación con la pregunta de investigación formulada en la problemática, se planteó la siguiente hipótesis: La incorporación de nanoplaquetas de grafeno en la preparación de la mezcla de concreto aumenta su resistencia a la compresión y su durabilidad ofreciendo así una mayor resistencia al ataque de cloruros y sulfatos

✓ *Variables y operacionalización:*

➤ **Variable independiente:**

Nanoplaquetas de grafeno

➤ **Variables dependientes:**

Resistencia a la compresión del concreto

Durabilidad del concreto

➤ **Variables intervinientes:**

Tamaño del agregado grueso

Trabajabilidad del concreto

Tiempo de curado

Tipo de cemento

➤ **Objeto de estudio:**

El concreto

➤ **Operacionalización de variables:**

A continuación, se presenta la matriz de operacionalización de variables para un mayor conocimiento de lo realizado:

Tabla 05: Tabla de operacionalización de variables

VARIABLE	INDICADOR	UND. DE MEDIDA	RANGO DE VARIABILIDAD	MÉTODO DE MEDICIÓN (Instrumento, ensayo, NTP)
<u>VARIABLE INDEPENDIENTE (X):</u>				
Nanoplaquetas de Grafeno	Cantidad de grafeno	%	0.2, 0.4 y 0.6%	BALANZA (SUSTITUIR EL PORCENTAJE DE CEMENTO POR GRAFENO SEGÚN LA DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA)
<u>VARIABLE DEPENDIENTE (Y):</u>				
Resistencia a la compresión del concreto	Resistencia a la compresión	kg/cm ²	-	NTP 339.034 (MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO)
Durabilidad del concreto	Volumen de vacíos	%	-	ASTM C 642 (MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA DETERMINAR PORCENTAJE DE VACÍOS EN EL CONCRETO ENDURECIDO)
	Resistencia a la penetración de iones de cloruros	Coulombs	-	NORMA ASTM C 1202 (PRUEBA RÁPIDA DE RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA PENETRACIÓN DEL CLORURO)
	Resistencia a la penetración de sulfatos	%	-	NTP 334.094 (MÉTODO PARA DETERMINAR EL CAMBIO DE LONGITUD EN MORTEROS DE CEMENTO PORTLAND EXPUESTOS A SOLUCIONES SULFATADAS)
<u>VARIABLES INTERVINIENTES:</u>				
Curado del concreto	Tiempo de curado	Días	7,14 y 28 días	NTP-339.033 (PRÁCTICA NORMALIZADA PARA LA ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO EN CAMPO)
Trabajabilidad del concreto	Slump	Pulg.	4"	NTP 339.035 (MÉTODO DE ENSAYO PARA MEDIR EL ASENTAMIENTO DEL CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND)
Agregado grueso	Tamaño del ag. Grueso	Pulg.	3/4"	NTP 400.037 (REQUISITOS DE LOS AGREGADOS PARA EL CONCRETO)
Cemento	Tipo de cemento	Bolsa	Tipo MS	ASTM C-150 (ESPECIFICACIÓN NORMALIZADA PARA CEMENTO PORTLAND)

Fuente: Elaboración propia

○ ***Población y muestra***

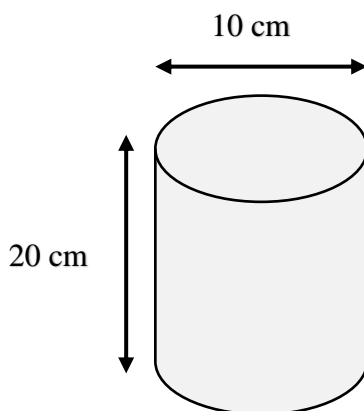
✓ **Población:**

Se encuentra definida por todo concreto utilizado en cualquier tipo de estructuras o edificaciones, por ello, debido a que el objeto de estudio no existe, la cantidad de muestras se determinará tomando en consideración a la cantidad de ensayos realizados y en función de la variabilidad del estímulo.

✓ **Muestra:**

Se optó por el uso de un muestreo no probabilístico por conveniencia. O. Hernández [31], en su artículo menciona que el muestreo no probabilístico por conveniencia depende únicamente del investigador, lo cual permitió una elección arbitraria del total de muestras que se realizaron en este estudio. Es así como, se realizó un total de 120 muestras cilíndricas de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura según la norma ASTM C39 para el ensayo de resistencia a la compresión, 24 discos para el ensayo de volumen de vacíos, 12 discos para ensayar su resistencia a la penetración de ataques de cloruros y finalmente 12 vigas para el ensayo de resistencia a la penetración de sulfatos de sodio; dando un total de 168 muestras.

Ilustración 4: Dimensiones de la probeta de concreto



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se describe las cantidades de muestras ensayadas tanto para el concreto patrón como para el concreto con incorporación de nanoplaquetas de grafeno:

Tabla 06: Muestreo de probetas cilíndricas para ensayo de resistencia a la compresión

DESCRIPCIÓN	% DE ESTÍMULO	EADADES DE CURADO			SUB TOTAL
		7 días	14 días	28 días	
Patrón	Sin % de nanoplaquetas de grafeno	10	10	10	30
	0.2 % de nanoplaquetas de grafeno	10	10	10	30
Experimental	0.4 % de nanoplaquetas de grafeno	10	10	10	30
	0.6 % de nanoplaquetas de grafeno	10	10	10	30
				Total:	120

Fuente: Elaboración propia

Tabla 07: Muestreo de discos para ensayo de densidad, absorción y vacíos en el concreto

DESCRIPCIÓN	% DE ESTÍMULO	EADADES DE CURADO	SUB TOTAL
		28 días	
Patrón	Sin % de nanoplaquetas de grafeno	6	6
	0.2 % de nanoplaquetas de grafeno	6	6
Experimental	0.4 % de nanoplaquetas de grafeno	6	6
	0.6 % de nanoplaquetas de grafeno	6	6
			Total: 24

Fuente: Elaboración propia

Tabla 08: Muestreo de discos para ensayo de resistencia a la penetración de iones cloruro

DESCRIPCIÓN	% DE ESTÍMULO	EADADES DE CURADO	SUB TOTAL
		28 días	
Patrón	Sin % de nanoplaquetas de grafeno	3	3
	0.2 % de nanoplaquetas de grafeno	3	3
Experimental	0.4 % de nanoplaquetas de grafeno	3	3
	0.6 % de nanoplaquetas de grafeno	3	3
			Total: 12

Fuente: Elaboración propia

Tabla 09: Muestreo de vigas para ensayo de durabilidad ante sulfato de sodio

DESCRIPCIÓN	% DE ESTÍMULO	EADADES DE CURADO	SUB TOTAL
		28 días	
Patrón	Sin % de nanoplaquetas de grafeno	3	3
	0.2 % de nanoplaquetas de grafeno	3	3
Experimental	0.4 % de nanoplaquetas de grafeno	3	3
	0.6 % de nanoplaquetas de grafeno	3	3
			Total: 12

Fuente: Elaboración propia

○ ***Técnicas e instrumentos de recolección de datos***

✓ **Técnica de investigación:**

Para que esta investigación sea elaborada, primero se realizó una búsqueda minuciosa de documentos, artículos científicos, libros, entre otros, que ayudaron de cierta forma a identificar vacíos de conocimiento y fundamentar la investigación de esta tesis. La técnica utilizada en esta investigación fue la observación, pues a lo largo de la elaboración de los ensayos de resistencia a la compresión; densidad, absorción y vacíos en el concreto endurecido; resistencia a la penetración de iones de cloruro y durabilidad a la penetración de sulfatos, se observaron y registraron los valores obtenidos apoyándose en instrumentos de recolección como las fichas técnicas o tablas en Excel.

✓ **Herramientas de recolección de datos:**

Como herramienta para el recojo de datos se empleó una ficha de observación; en la cual se anotaron los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos. Además de eso se hizo uso de tablas en Excel que facilitaron el procesamiento de resultados mediante gráficos o tablas para su posterior análisis.

✓ **Validez y confiabilidad:**

Para validar la fiabilidad en esta investigación, se hizo uso de lineamientos establecidos por la NTP (Norma Técnica Peruana) la cual se fundamentan en la normativa ASTM para la realización de los ensayos propuestos. A continuación, se detalla la normativa que se utilizó para cada uno de los ensayos ejecutados.

Tabla 10: Normativa empleada para confiabilidad de datos

Ensayos Ejecutados	Normativa
Granulometría para agregados	NTP 400.012
Diseño de mezcla	ACI 211
Resistencia a la compresión	NTP 339.034
Densidad, absorción y vacíos	ASTM C-642
Resistencia a la penetración de iones de cloruro	ASTM C-1202
Durabilidad a la penetración de sulfatos	NTP 334.094

Fuente: Elaboración propia

✓ **Aspectos éticos:**

Esta investigación se realizó siguiendo los rigurosos estándares de una investigación de tesis, asegurando el uso adecuado de la información a través de una correcta referenciación, respetando los derechos de autor y cumpliendo con las normativas establecidas por la universidad, bajo derecho de autoría propia para su debida sustentación.

✓ **Procedimientos para demostración de hipótesis:**

Para llevar a cabo el desarrollo de esta investigación y la demostración de la hipótesis, se siguió una secuencia ordenada de pasos, mismos que se redactan a continuación:

- a. El primer paso fue la obtención de las nanoplaquetas de grafeno. Estas se obtuvieron por financiamiento de la universidad mediante el laboratorista encargado. Una vez recibido el material, fue trasladado al laboratorio donde se incorporó al diseño de mezcla en el momento oportuno.
- b. Posteriormente, se adquirieron los insumos como el cemento Pacasmayo Tipo MS, los agregados provenientes de la cantera la victoria y los equipos de seguridad personal necesarios para la elaboración de los ensayos.
- c. A continuación, se procedió a la realización de los ensayos granulométricos de los agregados, obteniendo resultados como la curva granulométrica, el peso unitario suelto y compactado, peso específico, la absorción y su porcentaje de humedad.
- d. Luego, con los resultados obtenidos de los ensayos a los agregados, se comenzó a realizar nuestro diseño de mezcla tanto para el concreto convencional como para el concreto con adición de nanoplaquetas de grafeno.
- e. Con los valores de nuestra dosificación de mezcla y los materiales a utilizar ya listos, se inició con la preparación de la mezcla y el vaciado de moldes de concreto tanto para las muestras cilíndricas como para las vigas. Cabe recalcar que el proceso de curado fue de 7, 14 y 28 días para el ensayo de resistencia a la compresión y 28 días para los ensayos de densidad y vacíos; resistencia a la penetración de iones de cloruro y durabilidad a la penetración de sulfatos.
- f. Finalmente, una vez concluidos los ensayos, se registraron los valores obtenidos en las hojas técnicas para luego hacer una comparativa y verificación de los resultados planteados en la hipótesis.

○ *Procedimiento de ensayos a realizar*

➤ *Ensayo realizado a los agregados*

✓ **Análisis granulométrico del agregado fino y grueso:**

Esta prueba se utiliza para evaluar la granulometría que poseen los materiales que se proponen a ser empleados como agregados. Estos resultados van a permitir corroborar si la distribución del tamaño de las partículas cumple con los límites especificados en la normativa, además de proporcionar información crucial para el control de la fabricación de diferentes mezclas de concreto que incluyan áridos. Por lo tanto, este ensayo ayuda a definir las dimensiones de las partículas del agregado que se emplea en nuestro diseño de mezcla ya que esto influirá en las propiedades de nuestro concreto.

a) Normativa empleada

Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global - NTP 400.012 teniendo como antecedente a la normativa ASTM C 136.

b) Aparatos y equipos empleados

- Balanza con proximidad de 0.1g y exactitud de 0.1% del total de la masa para el agregado fino y con una proximidad de 0.5g y exactitud de 0.1% del total de la masa a ensayar para el agregado grueso.
- Horno que pueda mantener una temperatura constante de 110 ± 5 °C.
- Tamices normados según el tipo de agregado
- Juego de taras o vasijas metálicas
- Cucharón metálico

c) Procedimiento

• Para el agregado fino:

Tomamos una muestra y pesamos una cantidad no menor a 300gr. Dicha muestra fue lavada por la malla N° 200 con la finalidad de quitar partículas de polvo para posteriormente colocarlo al horno con una temperatura aproximada de 110 °C durante un periodo de 24 horas. Concluido ese tiempo, retiramos la muestra, pesamos (se consideró un peso de 580gr) y procedemos a seleccionar los tamices de manera ordenada (3/8", N° 04, N° 08, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100, N° 200 y fondo). Después, se vertió el agregado en los tamices para luego zarandear con movimientos de vaivén de tal forma que el agregado quede retenido en los diferentes tamices. Culminado el procedimiento anterior, vertemos en los

recipientes (taras) el material atrapado en cada tamiz para posteriormente pesarlo en la balanza sin considerar el peso del recipiente.

Finalmente, con los pesos registrados, se llevan a cabo los cálculos para la elaboración de la curva granulométrica. De esta forma, nos aseguramos de que esta curva no exceda los rangos granulométricos establecidos por la normativa.

- Para el agregado grueso:

Tomamos una muestra y pesamos una cantidad no menor a 5000gr. Dicha muestra se coloca al horno con una temperatura aproximada de 110 °C durante un periodo de 24 horas. Concluido ese tiempo, retiramos la muestra, pesamos (se consideró un peso de 5000gr) y procedemos a seleccionar los tamices de manera ordenada (2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N° 04, N° 08 y fondo).

Después, se vertió el agregado en los tamices para luego zarandear con movimientos de vaivén de tal forma que el agregado quede retenido en los diferentes tamices. Culminado el procedimiento anterior, vertemos en los recipientes (taras) el material atrapado en cada tamiz para posteriormente pesarlo en la balanza sin considerar el peso del recipiente.

Finalmente, con los pesos registrados, se llevan a cabo los cálculos para la elaboración de la curva granulométrica. De esta forma, nos aseguramos de que esta curva no exceda los rangos granulométricos establecidos por la normativa.

d) Fórmulas y cálculos

- Fórmula a emplear para el porcentaje que pasa retenido:

$$\%_{Pasa Ret.} = \frac{P_r}{P_s} \times 100$$

Donde:

P_r = Peso retenido

P_s = Peso seco de la muestra

$P_{Pasa Ret}$ = Porcentaje que pasa retenido

- Fórmula a emplear para el módulo de finura:

$$M_f = \frac{\sum \% ret. acum. (3" + 1\frac{1}{2}" + 3/4" + 3/8" + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

Donde:

M_f = Módulo de finura

$\sum \%_{ret.acum.}$ = Sumatoria de porcentaje retenido acumulado

✓ **Peso unitario suelto y compactado del agregado fino y grueso:**

Esta prueba consta de introducir una muestra de agregado en un molde de forma cilíndrica y de volumen unitario conocido para luego pesar y determinar su densidad de masa, también se le conoce como el peso unitario de una muestra, tanto en forma suelta como compactada. Este peso unitario depende directamente del aspecto y las dimensiones de las partículas del agregado y sobre todo del grado de compactación de estas.

a) Normativa empleada

Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado - NTP 400.017 utilizando como antecedente a la ASTM C 29.

b) Aparatos y equipos empleados

- Balanza con proximidad de 0.05kg y exactitud de 0.1% del total del peso de la muestra del agregado.
- Molde cilíndrico metálico
- Varilla de acero liso
- Mazo de goma
- Cucharón metálico
- Brocha

c) Procedimiento

• **Para el peso unitario suelto:**

Como primer paso se tomó el peso del molde cilíndrico metálico vacío, para luego comenzar a llenar el molde con el material correspondiente (grava o arena). Este material se vertió con la ayuda del cucharón y desde una altura que no supere los 5cm por arriba del borde superior del molde. Luego del llenado en su totalidad, se procedió a enrasar la superficie apoyándonos de la varilla de acero liso, para finalmente limpiar con la brocha los alrededores del recipiente el material excedente y proceder al pesado.

Nota: Se determinó la toma de 3 pesos siguiendo el procedimiento redactado anteriormente y considerando que los valores no difieran mucho para así luego sacar un promedio de estos.

• **Para el peso unitario compactado:**

Como primer paso se tomó el peso del molde cilíndrico metálico vacío, para luego comenzar a llenar el molde con el material correspondiente (grava o arena). Este

material se vertió al recipiente en tres porciones de aproximadamente igual volumen. Por cada porción, se compactó 25 veces de manera uniforme con la ayuda de la varilla de acero, adicionándole también 15 golpes con el martillo de goma, los cuales se deben aplicar a la altura de la capa llena. Una vez completado el llenado en su totalidad, se procedió a enrasar la superficie apoyándonos de la varilla de acero liso, para finalmente limpiar con la brocha los alrededores del recipiente el material excedente y proceder al pesado.

Nota: Se determinó la toma de 3 pesos siguiendo el procedimiento redactado anteriormente y considerando que los valores sean cercanos para luego obtener un promedio de estos.

d) Fórmulas y cálculos

- Fórmula a emplear para determinar el peso unitario suelto y compactado tanto del agregado fino como grueso:

$$P_{Unit} = \frac{(P_t - P_r)}{V_r}$$

Donde:

P_{Unit} = Peso unitario del agregado en gr/cm³

P_t = Peso total (recipiente + agregado) en gr

P_r = Peso del recipiente en gr

V_r = Volumen del recipiente en cm³

e) Imágenes del proceso de ensayo

Ilustración 5: Peso unitario suelto y compactado del ag. grueso

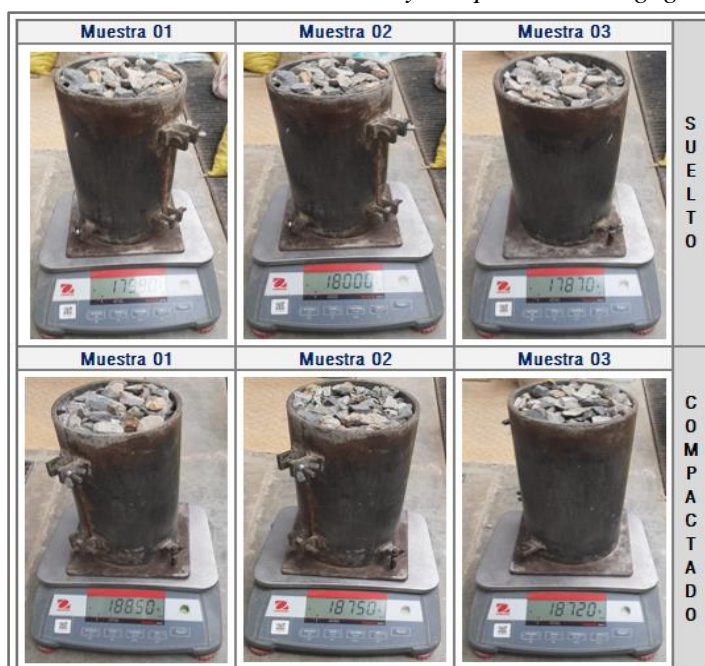


Ilustración 6: Peso unitario suelto y compactado del ag. fino

Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	S U E L T O
			
Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	C O M P A C T A D O
			

Ilustración 7: Procedimiento para hallar el peso unitario compactado del ag. grueso



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

Esta prueba permite conocer la densidad de los agregados y la cantidad de agua que estos pueden retener ya que esto afecta directamente la relación entre el agua y el cemento en la mezcla de concreto. El valor del peso específico para concretos ligeros puede tomar rangos entre 1.2 a 2.2 g/cm³, mientras que para concretos normales es recomendable que oscile entre 2.3 a 2.9 g/cm³ y finalmente para concreto pesado su variación se encuentra entre rangos de 3.0 a 5.0 g/cm³.

a) Normativa empleada

- Método de ensayo para la densidad, peso específico y absorción del agregado fino - NTP 400.022 utilizando como antecedente a la ASTM C 128.
- Método de ensayo para la densidad, peso específico y absorción del agregado grueso- NTP 400.021 utilizando como antecedente a la ASTM C 127.

b) Aparatos y equipos empleados

- Balanza con proximidad de 0.1g y exactitud de 0.1% del total de la masa para el agregado fino y con una proximidad de 0.5g y exactitud de 0.1% del total de la masa a ensayar para el agregado grueso.
- Horno que pueda mantener una temperatura constante de 110 ± 5 °C.
- Juego de taras o vasijas metálicas
- Fiola con capacidad de 500cm³
- Embudo pequeño
- Canastilla
- Pipeta
- Balde

c) Procedimiento

- Para el agregado fino:

Primero se realiza un cuarteo de nuestro material para luego tomar una muestra representativa de 500gr. Acto seguido se procede a pesar la fiola para después con la ayuda de un embudo introducir los 500gr de agregado. Una vez vertido todo el material, se llena la fiola con agua destilada hasta la altura de la marca superior, misma que nos indica un volumen de 500cm³. A continuación, se agita la fiola de forma rotacional en la palma de la mano de tal manera que eliminemos todas las burbujas de aire atrapadas, para luego dejarla reposar durante 24 horas.

Al cumplirse el tiempo establecido, pesamos la muestra con todo y la fiola para después verterlo en un recipiente metálico y dejar que repose por unos 30 minutos de tal forma que el agua que repose en la superficie pueda ser extraída cuidadosamente con la ayuda de algún succionador o chupón. Finalmente, la muestra del recipiente se coloca al horno a una temperatura de 110 °C en un lapso de 24 horas. Transcurrido este tiempo, se extrae la muestra del horno y se deja secar al aire libre para luego ser pesada y con los datos obtenidos lograr calcular el peso específico y su grado de absorción de la muestra.

Para el agregado grueso:

Primero se toman dos muestras representativas del material producto del cuarteo, considerando que el material seleccionado no atraviese la malla del tamiz N°04. Luego, se procede al lavado de la muestra de tal manera que se quite el polvo adherido al material. A continuación, se sumerge la muestra en un balde con agua durante un periodo de 24 horas.

Al cumplirse el tiempo establecido, extraemos nuestra muestra del balde con agua y la dejamos secar al aire libre (se puede apoyar secando la superficie de cada partícula con un paño absorbente), obteniendo de esta manera el valor del peso de nuestra muestra saturada pero superficialmente seca. Como siguiente paso, introducimos el material a la canastilla y lo sumergimos en un recipiente de agua donde se tomará el valor del peso de nuestra muestra saturada pero sumergida en agua. Finalmente, extraemos la muestra de la canastilla y la vertemos en un envase metálico (tara) para posteriormente colocarlo al horno a una temperatura de 110 °C en un lapso de 24 horas. Habiendo transcurrido ese tiempo, se extrae la muestra del horno y se deja secar al aire libre para luego ser pesada y con los datos obtenidos lograr calcular el peso específico y su grado de absorción.

d) Fórmulas y cálculos

- Fórmula a emplear para determinar el porcentaje de absorción tanto del agregado fino como grueso:

$$P_{Abs} = \frac{(P_{SSS} - P_S)}{P_S} \times 100$$

Donde:

P_{Abs} = Porcentaje de absorción del agregado fino o grueso (%)

P_{SSS} = Peso de la muestra saturada superficialmente seca en gr

P_S = Peso de la muestra seca al horno en gr

- Fórmula a emplear para determinar el peso específico del agregado fino:

$$P_{Esp} = \frac{P_S}{(V - P_A)}$$

Donde:

P_S = Peso de la muestra seca al horno en gr

P_A = Peso del agua añadida al frasco en gr

V = Volumen del frasco en cm³

- Fórmula a emplear para determinar el peso específico del agregado grueso:

$$P_{Esp} = \frac{P_S}{(P_{SSS} - P_{SA})}$$

Donde:

P_{SSS} = Peso de la muestra saturada superficialmente seca en gr

P_S = Peso de la muestra seca al horno en gr

P_{SA} = Peso de la muestra saturada dentro del agua en gr

e) Imágenes del proceso de ensayo

Ilustración 8: Cuarteo de los agregados para ensayos de peso específico



Ilustración 9: Procedimiento para ensayo de peso específico del ag. fino



Ilustración 10: Procedimiento para ensayo de peso específico del ag. grueso



✓ **Contenido de humedad del agregado fino y grueso:**

Esta prueba permite conocer la cantidad de agua que contiene nuestro agregado (fino o grueso) en su estado natural. Esto se realiza con la finalidad de no perjudicar aumentando o disminuyendo la proporción de agua en nuestro diseño de mezcla.

a) Normativa empleada

- Método de ensayo normalizado para contenido total de humedad en agregados por secado - NTP 339.185 utilizando como antecedente a la ASTM C 566.

b) Aparatos y equipos empleados

- Balanza con proximidad de 0.1g y exactitud de 0.1% del total de la masa para el agregado fino y con una proximidad de 0.5g y exactitud de 0.1% del total de la masa a ensayar para el agregado grueso.
- Horno que pueda mantener una temperatura constante de 110 ± 5 °C.
- Juego de taras o vasijas metálicas
- Cucharón

c) Procedimiento

- Para el agregado fino:

Primero tomamos una porción de muestra total de 500gr de agregado para luego colocarlo en un recipiente metálico (tara) y llevarlo al horno a una temperatura de 110 °C en un lapso de 24 horas. Transcurrido este tiempo, se extrae la muestra del

horno y se deja secar al aire libre para finalmente ser pesado y tomar nota de la variación del peso antes y después de haberlo introducido al horno.

Nota: Se determinó la toma de 3 pesos siguiendo el procedimiento redactado anteriormente para luego obtener un promedio de estos valores.

Para el agregado grueso:

Primero tomamos una porción de muestra total de 3000gr (masa mínima para un agregado de tamaño nominal $\frac{3}{4}$ según la NTP339.185) para luego colocarlo en un recipiente metálico (tara) y llevarlo al horno a una temperatura de 110 °C en un lapso de 24 horas. Transcurrido este tiempo, se extrae la muestra del horno y se deja secar al aire libre para finalmente ser pesado y tomar nota de la variación del peso antes y después de haberlo introducido al horno.

Nota: Se determinó la toma de 3 pesos siguiendo el procedimiento redactado anteriormente para luego obtener un promedio de estos valores.

d) Fórmulas y cálculos

- Fórmula a emplear para determinar el porcentaje de contenido de humedad tanto del agregado fino como grueso:

$$C_{Hum} = \frac{(W_A - W_D)}{W_D} \times 100$$

Donde:

C_{Hum} = Porcentaje de contenido de humedad del agreg. fino o grueso (%)

W_A = Peso de la muestra en su estado natural en gr

W_D = Peso de la muestra seca al horno en gr

e) Imágenes del proceso de ensayo

Ilustración 11: Ensayo de contenido de humedad para agregado fino y grueso



➤ **Diseño de mezcla**

Este procedimiento se realiza con la finalidad de calcular las proporciones adecuadas de los componentes presentes que conforman la mezcla para de esta manera poder asegurar una muy buena calidad en cuanto a resistencia y durabilidad que son factores importantes en el concreto. Para ello, esta investigación toma como referencia lo estipulado por la ACI 211 en donde nos brinda una secuencia de pasos a seguir acompañado de tablas las cuales nos permitirán encontrar la mejor dosificación de acuerdo con la resistencia deseada.

- ✓ **Paso 01:** Necesitamos conocer cuál será nuestra resistencia promedio requerida (f'_{cr}).

Para conocer nuestro f'_{cr} la normativa nos brinda unas tablas determinadas según los datos que tengamos a disposición. Como no se cuenta con datos posteriores para el cálculo de la desviación estándar, recurrimos al uso de la siguiente tabla:

Tabla 11: Resistencia promedio requerida a la compresión

Resistencia especificada a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia promedio requerida a la compresión (kg/cm ²)
$f'_c < 210$	$f'_{cr} = f'_c + 70$
$210 \leq f'_c \leq 350$	$f'_{cr} = f'_c + 85$
$f'_c > 350$	$f'_{cr} = 1.1 f'_c + 50$

Fuente: RNE E.060

- ✓ **Paso 02:** Ahora se procede a la selección del asentamiento deseado (Slump).

La normativa nos da al alcance un cuadro donde recomienda distintos valores de Slump según el tipo de estructuras a diseñar. Para este caso se eligió trabajar con un asentamiento de 3 a 4 pulg. ya que se encontraría en un límite de consistencia plástica además de estar dentro del rango de estructuras en edificaciones.

Tabla 12: Asentamiento recomendado según consistencia

Tipos de estructuras	Slump	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación	3"	1"
Cimentaciones simples y calzaduras	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas	4"	1"
Losas y Pavimentos	3"	1"
Concreto Ciclópeo	2"	1"

Fuente: ACI 211.1-91 (Tabla 6.3.1 diseño de mezcla)

- ✓ **Paso 03:** Después, determinamos la cantidad de agua requerida en nuestro diseño.

Para conocer la cantidad de agua necesaria, recurrimos a la tabla 13 donde nos brinda un valor en litros/m³ que depende del asentamiento elegido anteriormente y del TMN (tamaño máximo nominal) de nuestro agregado grueso. Cabe recalcar que para nuestro diseño se consideró un concreto sin la incorporación de aire.

Tabla 13: Contenido de agua según asentamiento y TMN del Agregado grueso

Asentamiento	Tamaño máximo nominal de agregado grueso							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	...
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	...

Fuente: ACI 211.1-91 (Tabla 6.3.2 diseño de mezcla)

- ✓ **Paso 04:** Ahora, determinamos la cantidad en porcentaje de aire atrapado.

Es importante conocer el porcentaje de aire que posee nuestro concreto al momento de su elaboración ya que esto nos dará una idea del aumento de porosidad en nuestro concreto y por ende afectar negativamente la resistencia de este. Este porcentaje depende del TMN de nuestro agregado grueso una vez elaborada su granulometría.

Tabla 14: Contenido de aire atrapado según TMN

Tamaño máximo nominal	% de Aire atrapado
3/8"	3.0
1/2"	2.5
3/4"	2.0
1"	1.5
1 1/2"	1.0
2"	0.5
3"	0.3
6"	0.2

Fuente: ACI 211. 1-91 (Tabla 6.3.3 diseño de mezcla)

- ✓ **Paso 05:** Continuamos con el valor de nuestra relación agua-cemento (a/c).

El ACI nos brinda una tabla con diferentes valores de relación agua/cemento para una resistencia a los 28 días de curado. Es necesario recalcar que se trabaja con el valor del

f'_{cr} obtenido en la tabla 11 y también dependerá de si consideramos un concreto con o sin aire incorporado. Este paso es fundamental ya que es la clave para poder obtener una buena o deficiente resistencia, pues el valor de la relación que tiene el agua con el cemento influye mucho en ello.

Tabla 15: Relación agua/cemento según resistencia requerida (f'_{cr})

Resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm ²)	Relación agua/cemento de diseño en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	...
450	0.38	...

Fuente: ACI 211. 1-91 (Tabla 6.3.4 diseño de mezcla)

- ✓ **Paso 06:** Luego se procederá a calcular la cantidad de cemento.

En este paso solo bastará apoyarnos de los valores obtenidos en el paso 03 que nos brindó la cantidad de agua necesaria y del paso 05 que nos brindó la relación a/c. Para ello solo basta hacer una igualdad y despejar nuestra incógnita “cemento” para así tener fácilmente la cantidad de cemento que se necesita.

- ✓ **Paso 07:** A continuación, determinamos la cantidad de agregado grueso.

Para conocer cuál es la cantidad necesaria de agregado grueso por volumen unit. de concreto, recurrimos a la tabla 16 brindada por el ACI:

Tabla 16: Volumen de ag. grueso, seco y compactado por unidad de volumen del concreto

Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso	Volumen del ag. Grueso, seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos de finura del ag. Fino (b/b_0)			
	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. 1-91 (Tabla 6.3.6 diseño de mezcla)

Esta tabla nos brinda el valor representado por b/bo, el cual dependerá (según el cuadro) del TMN del agregado grueso, así como también del módulo de fineza del agregado fino. Una vez obtenido el valor b/bo, tendremos que multiplicarlo por el valor del peso unitario seco y compactado de nuestro agregado grueso conseguido en nuestros ensayos de granulometría para de esta manera tener la cantidad necesaria de agregado grueso a emplear en nuestro diseño.

- ✓ **Paso 08:** Ahora se procede a hallar el valor de la cantidad de agregado fino.

Para este paso, ya tenemos todos los valores en cantidad de los materiales que conforman nuestra mezcla, menos el del agregado fino el cual lo calcularemos restándole a la unidad (representa 1m^3) la suma de todos los demás valores obtenidos anteriormente.

- ✓ **Paso 09:** Ya tenemos nuestro Proporcionamiento del diseño en condiciones secas.
- ✓ **Paso 10:** Generamos nuestra corrección por la humedad que contiene nuestros agregados.

Para corregir la cantidad de nuestros agregados tendremos que sumarle la unidad al valor del contenido de humedad de cada agregado dividido entre 100 y al resultado multiplicarle el peso seco de cada agregado.

- ✓ **Paso 11:** Obtendremos nuestra agua afectiva.

Este valor obtenido del aporte que genera los agregados en el paso anterior tendrá que ser restado o sumado (dependerá si aporta o quita) a la cantidad de agua calculada en el paso 03.

- ✓ **Paso 12:** Ahora ya tendremos nuestro diseño de mezcla en condiciones húmedas.
- ✓ **Paso 13:** Finalmente podremos tener nuestras proporciones en peso y volumen de nuestros materiales.

➤ **Ensayos al concreto en estado fresco**

✓ **Densidad o peso unitario:**

Esta prueba permite conocer el peso del concreto en unidades de m³ para de esta manera corroborar su rendimiento. Esta densidad depende directamente de las cantidades de los agregados, el cemento, el agua e inclusive del aire atrapado.

a) Normativa empleada

Método estándar para determinar la densidad (peso unitario) del concreto - NTP 339.047 utilizando como antecedente a la ASTM C 138.

b) Aparatos y equipos empleados

- Balanza con proximidad de 45g.
- Molde cilíndrico metálico
- Varilla de acero liso
- Cucharón metálico
- Mazo de goma
- Brocha

c) Procedimiento

Primero se tomó el peso del molde cilíndrico metálico vacío, para luego comenzar a llenar el molde con el material (concreto). Este material se vertió al recipiente en tres porciones de aproximadamente igual volumen. Por cada porción, se compactó 25 veces de manera uniforme con la ayuda de la varilla de acero, adicionándole también 15 golpes con el martillo de goma, los cuales se deben aplicar a la altura de la capa llena. Una vez completado el llenado en su totalidad, se procedió a enrasar la superficie apoyándonos de la varilla de acero liso, para finalmente limpiar con la brocha los alrededores del recipiente el material excedente y proceder al pesado.

d) Fórmulas y cálculos

- Fórmula a emplear para el cálculo del peso unitario:

$$P_{Unit.} = \frac{(M_C - M_R)}{V_R}$$

Donde:

M_C = Peso del molde lleno de concreto en kg

M_R = Peso del molde vacío en kg

V_R = Volumen del molde en m³

e) *Imágenes del proceso de ensayo*

Ilustración 12: Peso unitario o densidad del concreto



✓ **Revenimiento o asentamiento del concreto:**

Esta prueba permite conocer la consistencia o fluidez que posee nuestro concreto con la finalidad de mostrar qué tan trabajable es y qué tanto fluido o seco se encuentra. Esto se realiza con la prueba conocida como “Cono de Abrams”.

a) *Normativa empleada*

Método estándar para medir el revenimiento del concreto - NTP 339.035 utilizando como antecedente a la ASTM C 143.

b) *Aparatos y equipos empleados*

- Molde con superficie lateral en forma de tronco de cono (Cono de abrams) con diámetro de 200 mm y 100 mm en la parte inferior y superior relativamente.
- Wincha o regla metálica
- Varilla de acero liso
- Cucharón metálico

c) *Procedimiento*

Humedecemos el molde cónico para luego colocarlo encima de una superficie plana. Acto seguido se procede a pisar con fuerza los pinzones laterales del cono, para luego comenzar a llenar el molde con el material (concreto). Este material se vertió al recipiente en tres porciones de aproximadamente igual volumen. Por cada porción, se compactó 25 veces de manera uniforme con la ayuda de la varilla de acero. Una vez completado el llenado en su totalidad, se procedió a enrasar la superficie apoyándonos de la varilla de acero liso, para finalmente limpiar los alrededores del recipiente el

material excedente y proceder a levantamiento del molde de forma cuidadosa para finalmente medir el asentamiento que se generó con la ayuda de la wincha.

d) Imágenes del proceso de ensayo

Ilustración 13: Procedimiento para revenimiento del concreto



✓ **Temperatura del concreto en su estado fresco:**

Esta prueba permite conocer el valor de la temperatura del concreto en su estado fresco para su verificación requerida dentro de los límites permitidos según la normativa ya que el controlar esto, garantiza una buena calidad y resistencia del producto.

a) Normativa empleada

Método de ensayo para la determinación de temperatura del concreto en su estado fresco - NTP 339.184 utilizando como antecedente a la ASTM C 1064.

b) Aparatos y equipos empleados

- Molde o recipiente con una capacidad no menor a 7.5cm o 3 pulgadas de concreto alrededor de todas las direcciones del dispositivo de medición.
- Termómetro para la medición de la temperatura con una exactitud de ± 0.5 °C y en un rango de temperatura desde los 0 °C hasta los 50°C.

c) Procedimiento

Introducimos el aparato con el que mediremos la temperatura (termómetro) en el concreto; percatándonos que esté quede inmerso a una distancia no menor de 7.5cm. Luego tapamos los vacíos que deja el haber introducido el termómetro presionando de forma suave el área alrededor del mismo; esto ayudará a que la temperatura ambiental no altere los resultados. Finalmente dejamos introducido el termómetro por

un tiempo no menor a 2 minutos ni mayor a 5 minutos o caso contrario hasta que se estabilice y así registrar dicha temperatura.

d) Imágenes del proceso de ensayo

Ilustración 14: Toma de la temperatura del concreto en su estado fresco



➤ **Ensayos al concreto en estado endurecido**

✓ **Resistencia a la compresión del concreto:**

Esta prueba nos va a permitir conocer el valor máximo de carga de compresión que es capaz de soportar nuestras muestras cilíndricas antes de llegar al fallo. De esta forma sabremos el comportamiento que tiene nuestro material (concreto) frente a una carga de presión o aplastamiento que está en constante aumento.

a) Normativa empleada

Método de prueba estándar para determinar la resistencia a compresión de muestras cilíndricas de concreto - NTP 339.034 utilizando como antecedente a la ASTM C 39.

b) Aparatos y equipos empleados

- Máquina de ensayo a compresión con su respectivo certificado de calibración que no exceda los 13 meses.

c) Procedimiento

Antes de iniciar la prueba, debemos extraer las muestras cilíndricas de la poza de agua y dejarlas secar superficialmente a temperatura ambiente. La normativa empleada nos brinda información acerca de la tolerancia del tiempo para realizar los ensayos según

la edad de curado que tienen las muestras cilíndricas, esto se puede apreciar de forma detallada en la siguiente tabla:

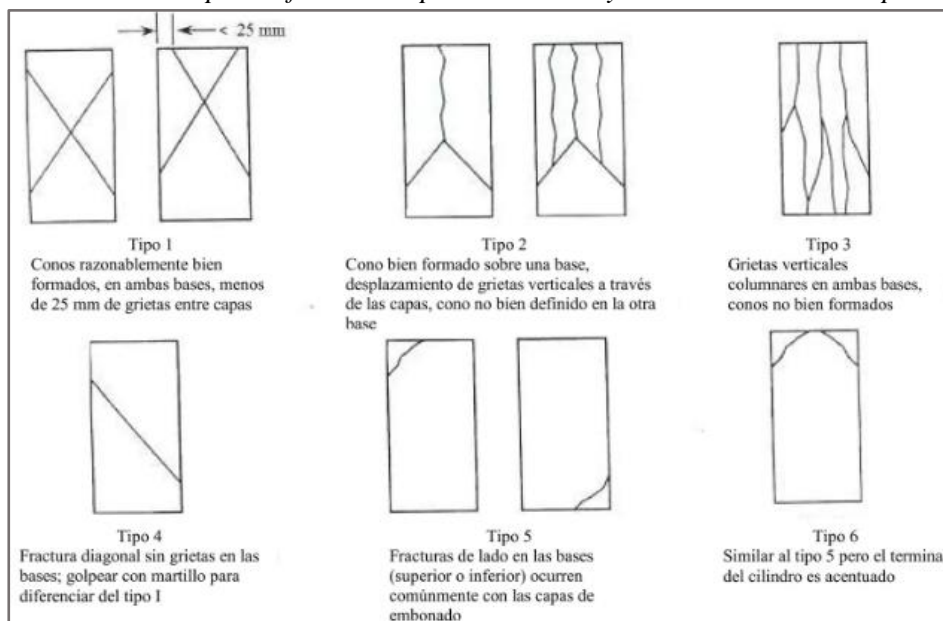
Tabla 17: Tolerancia de tiempo permitida según edades de curado

Edad de ensayo	Tolerancia de tiempo permitida
24 hrs.	± 0.5 horas o 2.1%
72 hrs.	± 2.0 horas o 2.8%
7 d	± 6.0 horas o 3.6%
28 d	± 20 horas o 3.0%
90 d	± 48 horas o 2.2%

Fuente: NTP 339.034

Luego llevamos los cilindros a la máquina de ensayo donde se procederá a centrar de tal forma que quede alineado con las placas. Ahora, configuramos la máquina colocando datos como el tamaño de la pieza de prueba (en nuestro caso es de 10cm de diámetro y 20cm de altura), el nombre de la muestra a romper (M-01, M-02, etc.) y sobre todo verificando que el indicador de carga se encuentre en “0”. A continuación, procedemos a iniciar la aplicación de la carga de manera constante hasta que los cilindros lleguen a su fallo para finalmente, anotar los resultados obtenidos e identificar el tipo de falla que se generó producto de la aplicación de la carga.

Ilustración 15: Tipos de fracturas típicas en el ensayo de resistencia a compresión



Fuente: NTP 339.034

d) Fórmulas y cálculos

- La fórmula por emplear para el cálculo de la resistencia a compresión soportada por las muestras de cilindro es la siguiente:

$$R_C = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A_P}$$

Donde:

R_C = Resistencia a compresión máxima expresada en kg/cm^2

$P_{m\acute{a}x}$ = Carga máxima obtenida en el ensayo expresada en kg

A_P = Área de la muestra cilíndrica expresada en cm^2

e) Imágenes del proceso de ensayo

Ilustración 16: Carga máxima aplicada a las muestras cilíndricas



Ilustración 17: Identificación de los tipos de fracturas generadas



✓ **Densidad, absorción y volumen de vacíos en el concreto:**

Esta prueba tiene como objetivo principal el ayudar a determinar y conocer el nivel de porosidad que tiene el concreto ya que este factor va a influir directamente en la durabilidad de este.

a) Normativa empleada

Método de prueba estándar para conocer la densidad, absorción y vacíos en el concreto endurecido - NTP 339.187 utilizando como antecedente a la ASTM C 642.

b) Aparatos y equipos empleados

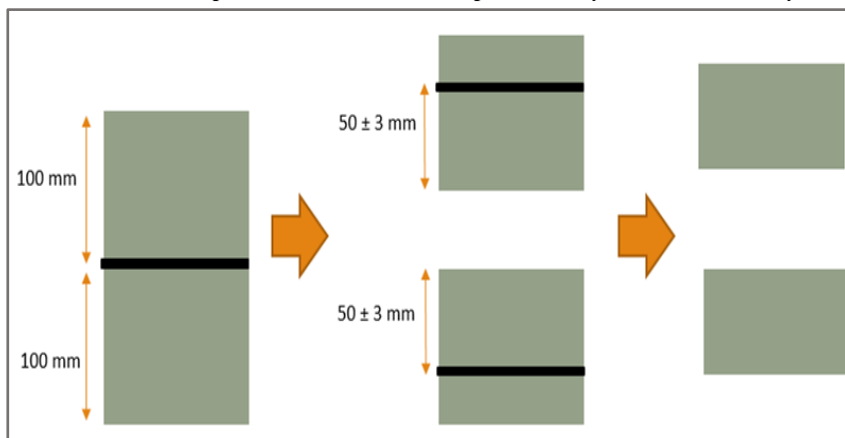
- Discos cortados de los testigos que servirán como muestra con un volumen no menor a 350cm^3 .
- Balanza con una proximidad al 0.025% del peso total del disco.
- Tarugos o alambre adecuado para suspender los discos en agua.
- Recipientes con capacidad para sumergir los discos.
- Olla metálica

c) Procedimiento

• **Preparación de las muestras:**

Primero se extraen discos de 5 ± 0.3 cm de grosor de un espécimen cilíndrico de concreto de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura las cuales deberán tener un volumen mayor a 350 cm^3 o en su defecto un peso aproximado de 0.8 kg. Para ello, se realiza un corte al centro de la probeta y a partir de ahí, hacemos 2 cortes más de 5 cm a las 2 partes generadas, desechando los discos extremos de la probeta y tomando los 2 discos de la parte central, tal y como se muestra en la siguiente imagen:

Ilustración 18: Preparación de muestras para ensayo de absorción y vacíos



- Procedimiento para peso seco (A):

Primero tomamos una porción de disco y lo llevamos al horno a una temperatura de 110 °C en un lapso de 24 horas. Transcurrido este tiempo, se extrae el disco del horno y se deja dentro de un desecador o en su defecto lo dejamos secar al aire libre a una temperatura de entre 20 a 25 °C para luego pesarlo (1° masa). Acto seguido, colocamos nuevamente el mismo disco al horno por un lapso de 24 horas más de tal forma que repitamos la misma secuencia anterior (2° masa). Si el valor de los pesos difiere menos del 0.5% respecto a la 1° masa, este último valor se consideraría como el valor de la masa seca; caso contrario repetimos el procedimiento anterior hasta cumplir con este límite. A este último peso seco se le considera como “A”.

- Procedimiento para peso saturado después de inmersión (B):

Luego de secar y enfriar el disco en el paso anterior, lo sumergimos en agua en un lapso de 48 horas. Transcurrido este tiempo, se extrae el disco del horno y secamos su superficie con ayuda de una toalla para luego pesarlo (1° masa). Repetimos este proceso hasta que 2 pesadas sucesivas en intervalos de 24h no difieran del 0.5% de la masa mayor. A este último peso saturado de superficie seca después de su inmersión se le considera como “B”.

- Procedimiento para peso saturado después de hervir (C):

Ahora colocamos el disco en una olla metálica cubriéndola con agua para luego hacerla hervir en un lapso de 5 horas. Transcurrido este tiempo, se extrae el disco y lo dejamos enfriar de forma natural en un lapso mayor de 14 horas para luego secar su superficie con ayuda de una toalla y finalmente pesarlo (1° masa). A este peso saturado, hervido y de superficie se le considera como “C”.

- Procedimiento para peso aparente sumergido (D):

Por último, el disco se tendrá que suspender dentro del agua con un alambre generando una especie de sistema de Arquímedes, determinando de esta manera su masa sumergida aparente que se le considera como “D”.

d) Fórmulas y cálculos

- Fórmula a emplear para la absorción después de la inmersión en %:

$$A_{in} = \frac{(B - A)}{A} \times 100$$

- Fórmula a emplear para la absorción después de inmersión y ebullición en %:

$$A_{eb} = \frac{(C - A)}{A} \times 100$$

- Fórmula a emplear para la densidad global seca en g/cm³:

$$\rho_s = \frac{A}{(C - D)} \times \rho_{agua}$$

- Fórmula a emplear para la densidad después de inmersión en g/cm³:

$$\rho_{in} = \frac{B}{(C - D)} \times \rho_{agua}$$

- Fórmula a emplear para la densidad después de inmersión y ebullición en g/cm³:

$$\rho_{eb} = \frac{C}{(C - D)} \times \rho_{agua}$$

- Fórmula a emplear para la densidad aparente en g/cm³:

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

- Fórmula a emplear para el volumen de vacíos en %:

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

Donde:

A: Masa del disco seco en el horno en g.

B: Masa del disco después de inmersión en agua en g.

C: Masa del disco después de inmersión y ebullición en agua en g.

D: Masa aparente del disco después de inmersión y ebullición en agua en g.

e) *Imágenes del proceso de ensayo*

Ilustración 19: Preparación de muestras para ensayo de densidad



✓ **Resistencia del concreto a la penetración de iones cloruro:**

Esta prueba permite monitorear la cantidad de corriente eléctrica que atraviesa la muestra de prueba en un tiempo determinado de 6 horas en intervalos de 30 minutos y conservando una diferencia potencial de 60 Voltios en cada extremo de la muestra; por lo que el objetivo principal es el analizar la conducta eléctrica que tiene el concreto para indicarnos de esta forma su resistencia a la penetración de iones de cloruro.

a) Normativa empleada

Método de prueba para determinar la resistencia del concreto a la penetración del ion cloruro - utilizando como antecedente a la ASTM C 1202.

b) Aparatos y equipos empleados

- Equipo experimental de conductividad de voltaje acondicionada con 2 cámaras simétricas y cada una con una malla conductora de electricidad y con conectores externos, tal y como se muestra en la ilustración 22.
- Sellador para los especímenes como juntas de goma o silicón caliente
- Núcleos de testigos cilíndricos de 10cm de diámetro y 5 cm de espesor
- Cable de 2 conductores N°14 de 600V
- Fuente de corriente continua de 60V
- Papel filtro de 90mm de diámetro
- Solución de hidróxido de sodio
- Solución de cloruro sódico
- Multitester digital

c) Procedimiento

• **Preparación de las muestras:**

Primero se extraen discos de 5 ± 0.3 cm de grosor de un espécimen cilíndrico de concreto de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura las cuales deberán tener un volumen mayor a 350 cm^3 o en su defecto un peso aproximado de 0.8 kg. Para ello, se realiza un corte al centro de la probeta y a partir de ahí, hacemos 2 cortes más de 5 cm a las 2 partes generadas, desechando los discos extremos de la probeta y tomando los 2 discos de la parte central, tal y como se muestra en la ilustración 18.

- Acondicionamiento de las muestras:

Primero impermeabilizamos la superficie lateral de la muestra con algún tipo de fraguador rápido para luego dejarlo curar hasta que ya no sea pegajoso al tacto.

Ahora, colocamos las muestras directamente en una cámara de vacío (tomando en cuenta que ambos lados de la muestra se encuentren expuestas) durante un periodo de 3 horas. Este paso se realiza con la finalidad de eliminar todas las burbujas de aire que se encuentren en las muestras.

Luego, con la bomba de vacío encendida, vertemos suficiente agua (O agua destilada) en el recipiente de modo que cubra la muestra en su totalidad para luego dejar que la bomba de vacío funcione durante otra hora más; esto con el propósito de seguir eliminando burbujas de aire y que estos espacios se rellenen con el agua. Una vez transcurrido este tiempo, apagamos la bomba de vacío y dejamos las muestras sumergidas en el agua en un lapso de 18 ± 2 horas para a continuación tener las muestras ya acondicionadas y de esta forma el flujo de corriente eléctrica (al momento de realizar la prueba) sea continuo y no se vea obstruido por el aire.

- Uso del equipo experimental de conductividad:

Ensamblamos la muestra del procedimiento anterior en ambas caras del equipo experimental colocando silicona por todos los bordes y así evitar pérdida de soluciones entre las conexiones.

Ahora llenamos un recipiente extremo del equipo experimental con 1 litro de solución de Cloruro de Sodio en agua destilada al 3%. Por lo que se emplea 30g de NaCl en 1 litro de agua (este recipiente actuará como conducto y se conectará al cátodo de los suministros alimentarios).

Luego, llenamos el otro recipiente con una solución al 0.3 Normal de Hidróxido de Sodio (NaOH), donde se emplea 12g de NaOH en 1 litro de agua destilada (este recipiente se conectará al ánodo de la fuente de alimentación).

A continuación, conectamos el cátodo al polo negativo y el ánodo al polo positivo para después encender la fuente de alimentación y aplicar un voltaje de 60 V. De esta manera registramos el primer valor de la corriente con un multímetro.

Finalmente, medimos el amperaje cada 30 minutos por un lapso de 6 horas recolectando dicha información para su posterior análisis comparativo mediante cuadros y gráficos.

d) Fórmulas y cálculos

- Fórmula a emplear para determinar la carga total que atraviesa la muestra durante el periodo de prueba:

$$Q = 900 (I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{300} + 2I_{330} + 2I_{360})$$

Donde:

Q = Carga pasada en coulomb

I_0 = Corriente inmediatamente después de aplicar la tensión en amperios

I_t = Corriente en t minutos después de aplicar la tensión en amperios

e) Imágenes del proceso de ensayo

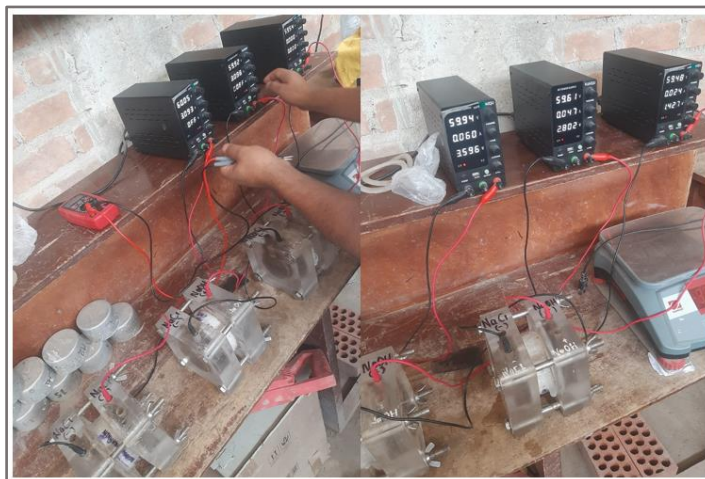
Ilustración 20: Pesaje del Cloruro e Hidróxido de Sodio



Ilustración 21: Llenado del equipo experimental con las soluciones de sodio



Ilustración 22: Sistema de conexiones del equipo experimental



✓ **Durabilidad del concreto expuesto a sulfato de sodio:**

Esta prueba permite determinar las variaciones de la longitud de las barras de concreto al ser sumergidas en soluciones con sulfato de sodio; teniendo en cuenta que las barras deberán ser prismáticas con una sección transversal de dimensiones 2.5cm x 2.5cm y con una longitud igual a 28.5cm.

f) Normativa empleada

Método de prueba para determinar el cambio de longitud en concretos de cemento Portland expuestos a soluciones sulfatadas – utilizando como antecedente la NTP 334.094.

g) Aparatos y equipos empleados

- Moldes prismáticos de acero para la elaboración de las barras de concreto
- Comparador de longitud
- Contenedores de plástico
- Sulfato de Sodio (Na_2SO_4)
- Anclajes de acero inoxidable
- Horno

h) Procedimiento

- **Preparación de la solución con sulfato de sodio (Na_2SO_4):**

Primero se disuelve el sulfato de sodio en agua; considerando que, para cada litro de solución, esta debe contener 50 g de Na_2SO_4 disueltos en 900 ml de agua. Este proceso se realiza 24 hrs antes de sumergir las barras, además de permanecer cubierta y almacenada a una temperatura aproximada de 23°C.

Transcurrido este tiempo, se procederá a medir el pH de la solución. Se procederá a sumergir las barras siempre y cuando los valores del pH se encuentren dentro del rango de 6 a 8; caso contrario la solución tendrá que ser rechazada.

- Procedimiento para las barras de concreto y su posterior medición:

El moldeado de las barras de concreto se realiza siguiendo los lineamientos de la NTP 334.165. Además, se deberá disponer de 3 barras de concreto como mínimo por cada muestra. Una vez desencofrado las muestras, se debe sumergir en una poza de agua para su respectivo curado durante mínimo 7 días, considerando que alcance una resistencia mínima de 210 kg/cm², caso contrario las muestras deberán continuar siendo curadas hasta alcanzar esa resistencia mínima.

A continuación, colocamos las barras de concreto en la solución sulfatada la cual deberá ser cubierta y sellada con la finalidad de prevenir la evaporación de la solución, para luego proceder con las mediciones de cambios de longitud a 1, 2, 3, 4, 8, 13 y 15 semanas después de permanecer sumergidas. Se deberá tener en cuenta que el comparador de longitud se encuentre calibrado para un correcto proceso de información.

Finalmente, anotamos las medidas obtenidas del comparador recolectando dicha información para su posterior análisis mediante cuadros y gráficos.

i) Fórmulas y cálculos

- Fórmula a emplear para determinar el cambio de longitud a cualquier edad en %:

$$\Delta L = \frac{(L_x - L_i)}{L_g} \times 100$$

Donde:

ΔL = Variación de la longitud en %

L_x = Longitud final de la barra de ensayo en mm

L_i = Longitud inicial de la barra de ensayo en mm

L_g = Longitud nominal de la barra de ensayo (285 mm para nuestro caso)

j) *Imágenes del proceso de ensayo*

Ilustración 23: Curado de las vigas de concreto en poza de agua

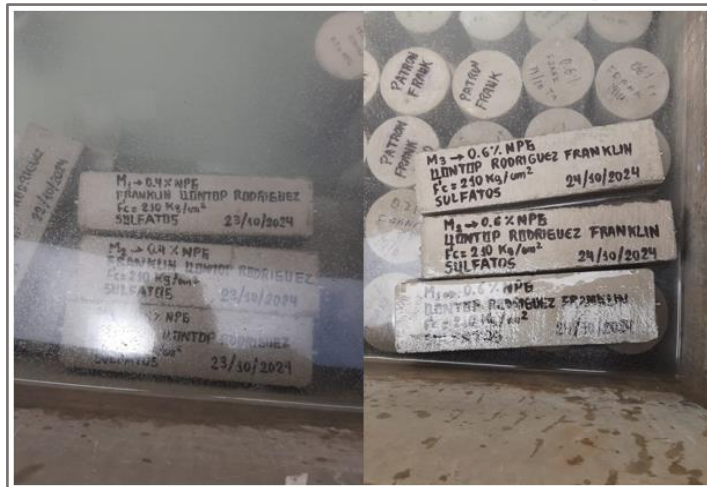


Ilustración 24: Colocación de barras en solución sulfatada



Ilustración 25: Toma de medidas con el comparador de longitud



Resultados y discusión

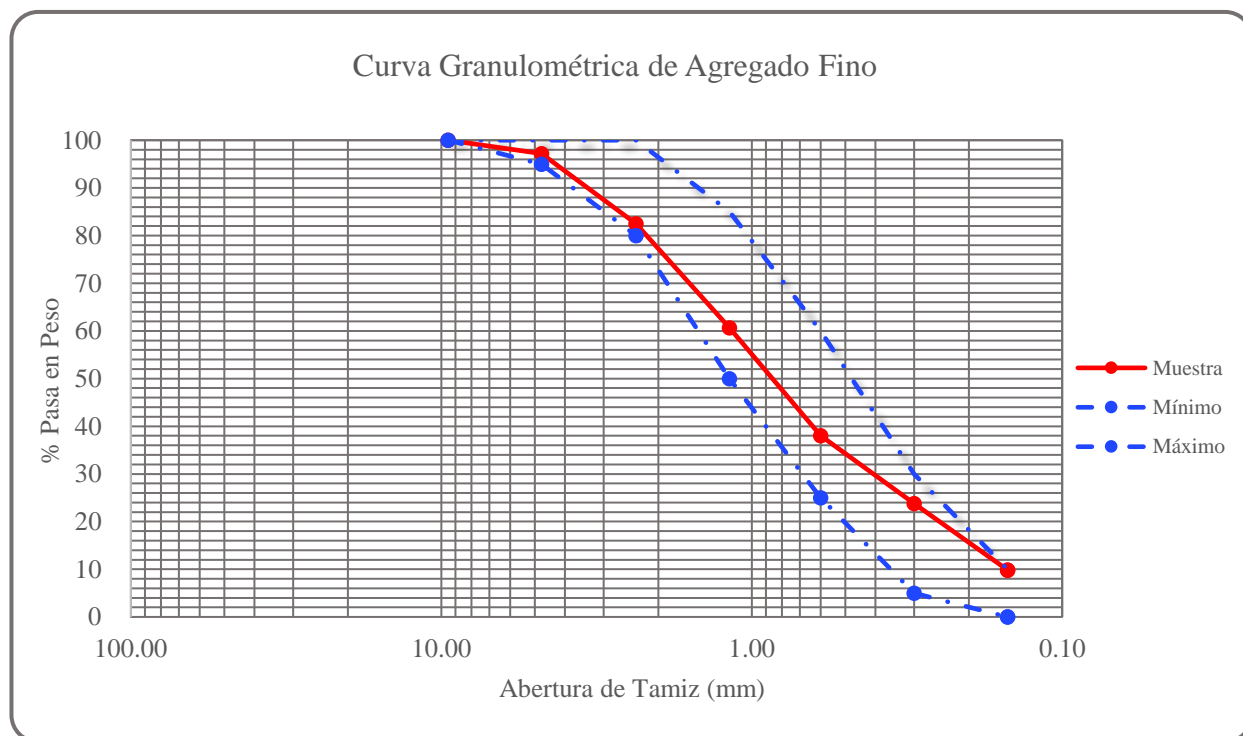
➤ Resultados de ensayos preliminares para la caracterización de los agregados

✓ Análisis granulométrico del agregado fino:

Tabla 18: Granulometría del agregado fino – Cantera: “La Victoria – Pátapo”

Tamiz		Peso Retenido (gr)	% Retenido		% Pasa	Porcentaje que pasa	
N°	mm		Total %	Acumulado %		NTP 400.037 - 2001	
3/8"	9.50	0.0	0.00	0.00	100.00	100	100
N° 04	4.75	16.5	2.84	2.84	97.16	95	100
N° 08	2.36	85.2	14.69	17.53	82.47	80	100
N° 16	1.18	126.4	21.79	39.33	60.67	50	85
N° 30	0.60	131.5	22.67	62.00	38.00	25	60
N° 50	0.30	82.6	14.24	76.24	23.76	5	30
N° 100	0.15	80.7	13.91	90.16	9.84	0	10
< N° 100	0.00	57.1	9.84	100.00	0.00	0	0
Peso Total (gr)		580					

Ilustración 26: Curva granulométrica del agregado fino – Cantera: “La Victoria – Pátapo”



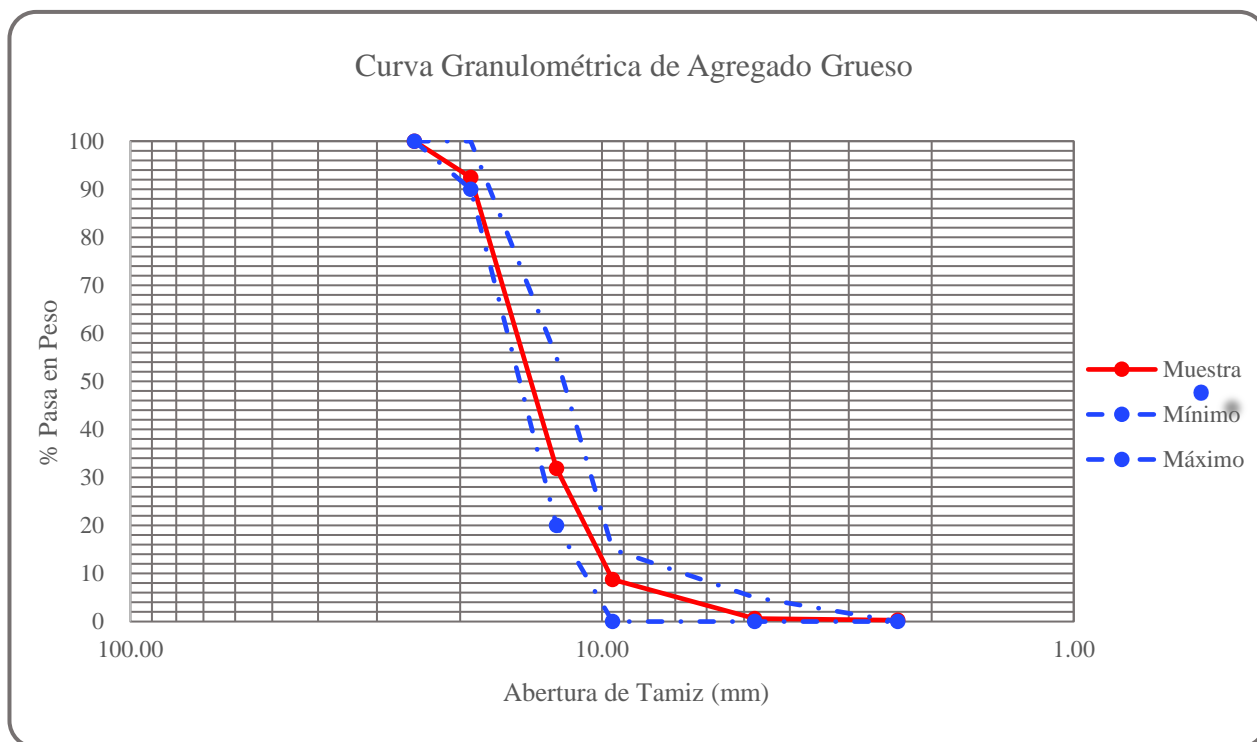
Se puede notar que el agregado fino con el cual se trabajó derivado de la cantera “La victoria”, cumple los requerimientos aceptables según la normativa empleada. Por otro lado, al calcular su módulo de finesa con los datos obtenidos, tendremos como resultado el valor de 2.88 lo cual cumple de igual forma con el acápite 5.2 de la NTP 400.037.

✓ Análisis granulométrico del agregado grueso:

Tabla 19: Granulometría del agregado grueso – Cantera: “La Victoria – Pátapo”

Tamiz		Peso Retenido (gr)	% Retenido		% Pasa	Porcentaje que pasa		
N°	mm		Total %	Acumulado %		NTP 400.037 - 2001		
1"	25.00	0	0.00	0.00	100.00	100	100	
3/4"	19.00	377	7.54	7.54	92.46	90	100	
1/2"	12.50	3030	60.60	68.14	31.86	20	55	
3/8"	9.50	1155	23.10	91.24	8.76	0	15	
N° 4	4.75	408	8.16	99.40	0.60	0	5	
N° 8	2.36	16	0.32	99.72	0.28	0	0	
Fondo	0.00	14	0.28	100.00	0.00	0	0	
Peso Total (gr)		5000						

Ilustración 27: Curva granulométrica del agregado grueso – Cantera: “La Victoria – Pátapo”



Tomando como referencia el Huso granulométricos 06 brindado por la normativa NTP 400.037, se puede concluir que la granulometría de nuestro agregado grueso procedente de la cantera “La victoria” satisface el límite permitido por dicha norma. Por otro lado, podemos observar que el tamaño tanto máximo (TM) como el nominal (TMN) del agregado en estudio es de 1” y 3/4” correlativamente.

✓ **Peso unitario suelto y compactado del agregado fino:**

Tabla 20: Peso unitario suelto del agregado fino

	Descripción	Unidad	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
A	Peso de muestra + molde	gr.	19020	18920	19000
B	Peso del molde	gr.	10260	10260	10260
C	Peso de la muestra (A-B)	gr.	8760	8660	8740
D	Volumen del molde	cm ³	5301	5301	5301
E	Peso unit Suelto de la Muestra	gr/cm ³	1.652	1.634	1.649

<i>Peso Unitario Suelto Promedio</i>	1.645	gr/cm³
---	--------------	--------------------------

Tabla 21: Peso unitario compactado del agregado fino

	Descripción	Unidad	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
A	Peso de muestra + molde	gr.	20060	20110	20110
B	Peso del molde	gr.	10260	10260	10260
C	Peso de la muestra (A-B)	gr.	9800	9850	9850
D	Volumen del molde	cm ³	5301	5301	5301
E	Peso unit Comp. de la Muestra	gr/cm ³	1.849	1.858	1.858

<i>Peso Unitario Compactado Promedio</i>	1.855	gr/cm³
---	--------------	--------------------------

Haciendo referencia a lo establecido por la normativa NTP 400.017, se logró calcular el peso unitario suelto y compactado del agregado fino, obteniendo valores de 1.64 gr/cm³ para el peso suelto (Tabla 20) y 1.85 gr/cm³ para el peso compactado (Tabla 21). Estos valores fueron necesarios calcularlos para nuestro cálculo posterior de diseño de mezcla.

✓ **Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso:**

Tabla 22: Peso unitario suelto del agregado grueso

	Descripción	Unidad	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
A	Peso de muestra + molde	gr.	17990	18000	17870
B	Peso del molde	gr.	10080	10080	10080
C	Peso de la muestra (A-B)	gr.	7910	7920	7790
D	Volumen del molde	cm ³	5301	5301	5301
E	Peso unit Suelto de la Muestra	gr/cm ³	1.492	1.494	1.469

<i>Peso Unitario Suelto Promedio</i>	1.485	gr/cm³
---	--------------	--------------------------

Tabla 23: Peso unitario compactado del agregado grueso

	Descripción	Unidad	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
A	Peso de muestra + molde	gr.	18850	18750	18720
B	Peso del molde	gr.	10080	10080	10080
C	Peso de la muestra (A-B)	gr.	8770	8670	8640
D	Volumen del molde	cm ³	5301	5301	5301
E	Peso unit Comp. de la Muestra	gr/cm ³	1.654	1.635	1.630

<i>Peso Unitario Compactado Promedio</i>	1.640	gr/cm³
---	--------------	--------------------------

Haciendo referencia a lo establecido por la normativa NTP 400.017, se logró calcular el peso unitario suelto y compactado del agregado grueso, obteniendo valores de 1.48 gr/cm³ para el peso suelto (Tabla 22) y 1.64 gr/cm³ para el peso compactado (Tabla 23). Estos valores nos indican la densidad del agregado grueso en condición suelta y compactada, siendo necesario estos valores para nuestro posterior cálculo del diseño de mezcla.

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

Tabla 24: Peso específico y absorción del agregado fino

A.- Datos de la Arena		Muestra	Unidad
1	Peso de la muestra Saturada Superficialmente Seca.	500.0	gr.
2	Peso del frasco.	192.0	gr.
3	Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca + Peso frasco + Peso del agua.	996.1	gr.
4	Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca + Peso frasco. (1+2)	692.0	gr.
5	Peso del agua. (3 - 4)	304.1	gr.
6	Peso de la Muest. Secada al horno + Peso del frasco. (2+7)	688.7	gr.
7	Peso de la Muest. Seca en el horno.	496.7	gr.
8	Volumen del frasco.	500.0	cm ³

B.- Resultados		Muestra	Unidad
A.	Peso específico de la Arena $7 / (8-5)$	2.53	gr/cm ³
B.	Peso específico de la Masa S.S.S $7 / (7-5)$	2.55	gr/cm ³
C.	Peso Específico Aparente $7 / ((8-5) - (8-7))$	2.58	gr/cm ³
D.	Porcentaje de Absorción $((1-7)/7)*100$	0.67	%

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

Tabla 25: Peso específico y absorción del agregado grueso

A.- Datos de la Grava		Muestra	Unidad
1	Peso de la muestra Saturada Superficialmente Seca.	4013.0	gr.
2	Peso de la canastilla.	880.0	gr.
3	Peso de la muestra seca al horno.	3980.0	gr.
4	Peso de la muestra Saturada dentro del Agua + Peso de la Canastilla	3430.0	gr.
5	Peso de la muestra Saturada dentro del Agua (4 - 2)	2550.0	gr.

B.- Resultados		Muestra	Unidad
A.	Peso específico de la Grava $3 / (1-5)$	2.72	gr/cm ³
B.	Peso específico de la Masa S.S.S $1 / (1-5)$	2.74	gr/cm ³
C.	Peso Específico Aparente $3 / (3-5)$	2.78	gr/cm ³
D.	Porcentaje de Absorción $((1-3)/3)*100$	0.83	%

Tomando como referencia lo establecido por la normativa NTP 400.022, se logró obtener resultados de 2.53 gr/cm³ para el peso específico y 0.67% para su grado de absorción del agregado fino. Por otro lado, referenciando lo establecido por la normativa NTP 400.021, se logró obtener resultados de 2.72 gr/cm³ para el peso específico y 0.83% para su grado de absorción del agregado grueso. Estos valores fueron necesarios calcularlos para nuestro cálculo posterior del diseño de mezcla.

✓ **Contenido de humedad del agregado fino:**

Tabla 26: Contenido de humedad del agregado fino

	Descripción	Unidad	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
1	Peso de la muestra húmeda	gr.	500	500	500
2	Peso de la muestra seca	gr.	497.9	498	497.8
3	Contenido de Agua	gr.	2.1	2	2.2
4	Contenido de Humedad	%	0.42	0.40	0.44
5	Promedio	%	0.42		

PROMEDIO CONTENIDO DE HUMEDAD	0.42	%
-------------------------------	------	---

✓ **Contenido de humedad del agregado grueso:**

Tabla 27: Contenido de humedad del agregado grueso

	Descripción	Unidad	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
1	Peso de la muestra húmeda	gr.	3000	3000	3000
2	Peso de la muestra seca	gr.	2984.6	2984.8	2984.3
3	Contenido de Agua	gr.	15.4	15.2	15.7
4	Contenido de Humedad	%	0.52	0.51	0.53
5	Promedio	%	0.52		

PROMEDIO CONTENIDO DE HUMEDAD	0.52	%
-------------------------------	------	---

Tomando como referencia lo establecido por la normativa NTP 339.185, se logró obtener el resultado de 0.42 % para el contenido de humedad del agregado fino (Tabla 26). Por otro lado, se logró obtener el resultado de 0.52 % para el contenido de humedad del agregado grueso (Tabla 27). La importancia de hallar estos valores radica en que existe un aporte de agua tanto del agregado fino como del grueso, datos que se tomarán en cuenta para el posterior cálculo del diseño de mezcla.

➤ **Resultados del diseño de mezcla**

Se llevó a cabo un diseño de mezcla de concreto (Sin aire incorporado) para una resistencia de diseño de 210 kg/cm² empleando la metodología ACI 211.

Tabla 28: Diseño de mezcla para concreto patrón

Diseño para muestra control	
Materiales	Cantidad por m³
Agregado grueso	1008.58 kg
Agregado fino	714.14 kg
Cemento	368.04 kg
Agua	209.90 kg
Grafeno	0.00 kg

Tabla 29: Diseño de mezcla para concreto 0.2% NPG

Diseño para muestra con 0.2% NPG	
Materiales	Cantidad por m³
Agregado grueso	1008.58 kg
Agregado fino	714.14 kg
Cemento	368.04 kg
Agua	209.90 kg
Grafeno	0.74 kg

Tabla 30: Diseño de mezcla para concreto 0.4% NPG

Diseño para muestra con 0.4% NPG	
Materiales	Cantidad por m³
Agregado grueso	1008.58 kg
Agregado fino	714.14 kg
Cemento	368.04 kg
Agua	209.90 kg
Grafeno	1.47 kg

Tabla 31: Diseño de mezcla para concreto 0.6% NPG

Diseño para muestra con 0.6% NPG	
Materiales	Cantidad por m³
Agregado grueso	1008.58 kg
Agregado fino	714.14 kg
Cemento	368.04 kg
Agua	209.90 kg
Grafeno	2.21 kg

Los resultados mostrados en las tablas 28, 29, 30 y 31 corresponden al diseño de mezcla elaborado siguiendo los pasos establecidos por la metodología ACI 211 para una resistencia nominal de 210 kg/cm². El procedimiento detallado para el cálculo de estos valores se encuentra descrito en el Anexo 09. Cabe precisar que los resultados mostrados en las tablas 28 – 31 son valores que se requieren por cada m³ de concreto a elaborar y solo difieren en la cantidad de grafeno a incorporar; con un total de 736.08 gr para un diseño del 0.2% de NPG, 1472.16 gr para el diseño con 0.4% de NPG y una cantidad de 2208.24 gr para el diseño con 0.6% de NPG. Es así como se mantiene constante la base del diseño y solo cambia las cantidades de grafeno a utilizar, pues esta adición se realizó en función del peso del cemento, sin considerarse como un reemplazo de este.

➤ **Resultados de ensayos al concreto en estado endurecido**

✓ **Resistencia a la compresión del concreto**

➔ **Resistencia a compresión para el diseño de concreto patrón:**

Tabla 32: Registro de roturas de especímenes para el diseño de concreto patrón a los 7, 14 y 28 días

N° de muestra	Edad (días)	Fecha		Diámetro cm	Área cm ²	Cargas		Diseño: f _c kg/cm ²	Porcentaje (%)	Promedio	
		Vaciado	Rotura			kg	kg/cm ²			Kg/cm ²	(%)
P-01	7	25/09/24	02/10/24	10	78.54	12205.2	155.4	210	74.00	174.1	82.90
P-02		25/09/24	02/10/24	10	78.54	13040.9	166.0	210	79.07		
P-03		25/09/24	02/10/24	10	78.54	14059.6	179.0	210	85.24		
P-04		25/09/24	02/10/24	10	78.54	12377.0	157.6	210	75.04		
P-05		25/09/24	02/10/24	10	78.54	13575.6	172.8	210	82.31		
P-06		25/09/24	02/10/24	10	78.54	13831.8	176.1	210	83.86		
P-07		25/09/24	02/10/24	10	78.54	13940.6	177.5	210	84.52		
P-08		25/09/24	02/10/24	10	78.54	14386.3	183.2	210	87.22		
P-09		25/09/24	02/10/24	10	78.54	14601.8	185.9	210	88.53		
P-10		25/09/24	02/10/24	10	78.54	14681.0	186.9	210	89.01		
P-01	14	25/09/24	09/10/24	10	78.54	16220.0	206.5	210	98.34	204.8	97.54
P-02		25/09/24	09/10/24	10	78.54	17120.0	218.0	210	103.80		
P-03		25/09/24	09/10/24	10	78.54	15960.0	203.2	210	96.77		
P-04		25/09/24	09/10/24	10	78.54	16170.0	205.9	210	98.04		
P-05		25/09/24	09/10/24	10	78.54	15620.0	198.9	210	94.70		
P-06		25/09/24	09/10/24	10	78.54	16170.0	205.9	210	98.04		
P-07		25/09/24	09/10/24	10	78.54	15920.0	202.7	210	96.52		
P-08		25/09/24	09/10/24	10	78.54	15820.0	201.4	210	95.92		
P-09		25/09/24	09/10/24	10	78.54	16120.0	205.2	210	97.74		
P-10		25/09/24	09/10/24	10	78.54	15760.0	200.7	210	95.55		
P-01	28	27/09/24	25/10/24	10	78.54	16670.0	212.2	210	101.07	213.5	101.68
P-02		27/09/24	25/10/24	10	78.54	17040.0	217.0	210	103.31		
P-03		27/09/24	25/10/24	10	78.54	16950.0	215.8	210	102.77		
P-04		27/09/24	25/10/24	10	78.54	15670.0	199.5	210	95.01		
P-05		27/09/24	25/10/24	10	78.54	17620.0	224.3	210	106.83		
P-06		27/09/24	25/10/24	10	78.54	16830.0	214.3	210	102.04		
P-07		27/09/24	25/10/24	10	78.54	17030.0	216.8	210	103.25		
P-08		27/09/24	25/10/24	10	78.54	15970.0	203.3	210	96.83		
P-09		27/09/24	25/10/24	10	78.54	17550.0	223.5	210	106.41		
P-10		27/09/24	25/10/24	10	78.54	16380.0	208.6	210	99.31		

→ Resistencia a compresión para el diseño de concreto con 0.2% NPG:

Tabla 33: Registro de roturas de especímenes para el diseño de concreto con 0.2% de NPG a los 7, 14 y 28 días

N° de muestra	Edad (días)	Fecha		Diámetro cm	Área cm ²	Cargas		Diseño: f _c kg/cm ²	Porcentaje (%)	Promedio	
		Vaciado	Rotura			kg	kg/cm ²			Kg/cm ²	(%)
P-01	7	05/10/24	12/10/24	10	78.54	13550.0	172.5	210	82.15	180.5	85.90
P-02		05/10/24	12/10/24	10	78.54	14030.0	178.6	210	85.06		
P-03		05/10/24	12/10/24	10	78.54	14540.0	185.1	210	88.16		
P-04		05/10/24	12/10/24	10	78.54	14590.0	185.8	210	88.46		
P-05		05/10/24	12/10/24	10	78.54	14390.0	183.2	210	87.25		
P-06		05/10/24	12/10/24	10	78.54	14170.0	180.4	210	85.91		
P-07		05/10/24	12/10/24	10	78.54	14180.0	180.5	210	85.97		
P-08		05/10/24	12/10/24	10	78.54	15290.0	194.7	210	92.70		
P-09		05/10/24	12/10/24	10	78.54	12990.0	165.4	210	78.76		
P-10		05/10/24	12/10/24	10	78.54	14020.0	178.5	210	85.00		
P-01	14	05/10/24	19/10/24	10	78.54	16930.0	215.6	210	102.65	216.7	103.17
P-02		05/10/24	19/10/24	10	78.54	17779.0	226.4	210	107.79		
P-03		05/10/24	19/10/24	10	78.54	16950.0	215.8	210	102.77		
P-04		05/10/24	19/10/24	10	78.54	16860.0	214.7	210	102.22		
P-05		05/10/24	19/10/24	10	78.54	17440.0	222.1	210	105.74		
P-06		05/10/24	19/10/24	10	78.54	18050.0	229.8	210	109.44		
P-07		05/10/24	19/10/24	10	78.54	15550.0	198.0	210	94.28		
P-08		05/10/24	19/10/24	10	78.54	16420.0	209.1	210	99.56		
P-09		05/10/24	19/10/24	10	78.54	17020.0	216.7	210	103.19		
P-10		05/10/24	19/10/24	10	78.54	17170.0	218.6	210	104.10		
P-01	28	05/10/24	02/11/24	10	78.54	18890.0	240.5	210	114.53	247.9	118.04
P-02		05/10/24	02/11/24	10	78.54	19470.0	247.9	210	118.05		
P-03		05/10/24	02/11/24	10	78.54	19670.0	250.4	210	119.26		
P-04		05/10/24	02/11/24	10	78.54	20150.0	256.6	210	122.17		
P-05		05/10/24	02/11/24	10	78.54	19290.0	245.6	210	116.96		
P-06		05/10/24	02/11/24	10	78.54	18660.0	237.6	210	113.14		
P-07		05/10/24	02/11/24	10	78.54	19570.0	249.2	210	118.65		
P-08		05/10/24	02/11/24	10	78.54	18740.0	238.6	210	113.62		
P-09		05/10/24	02/11/24	10	78.54	20280.0	258.2	210	122.96		
P-10		05/10/24	02/11/24	10	78.54	19970.0	254.3	210	121.08		

→ Resistencia a compresión para el diseño de concreto con 0.4% NPG:

Tabla 34: Registro de roturas de especímenes para el diseño de concreto con 0.4% de NPG a los 7, 14 y 28 días

N° de muestra	Edad (días)	Fecha		Diámetro cm	Área cm ²	Cargas		Diseño: f _c kg/cm ²	Porcentaje (%)	Promedio	
		Vaciado	Rotura			kg	kg/cm ²			Kg/cm ²	(%)
P-01	7	08/10/24	15/10/24	10	78.54	14380.0	183.1	210	87.19	191.4	91.10
P-02		08/10/24	15/10/24	10	78.54	15320.0	195.1	210	92.89		
P-03		08/10/24	15/10/24	10	78.54	16920.0	215.4	210	102.59		
P-04		08/10/24	15/10/24	10	78.54	14340.0	182.6	210	86.94		
P-05		08/10/24	15/10/24	10	78.54	14230.0	181.2	210	86.28		
P-06		08/10/24	15/10/24	10	78.54	14740.0	187.7	210	89.37		
P-07		08/10/24	15/10/24	10	78.54	15240.0	194.0	210	92.40		
P-08		08/10/24	15/10/24	10	78.54	14760.0	187.9	210	89.49		
P-09		08/10/24	15/10/24	10	78.54	15140.0	192.8	210	91.79		
P-10		08/10/24	15/10/24	10	78.54	15250.0	194.2	210	92.46		
P-01	14	08/10/24	22/10/24	10	78.54	17740.0	225.9	210	107.56	229.8	109.45
P-02		08/10/24	22/10/24	10	78.54	17290.0	220.1	210	104.83		
P-03		08/10/24	22/10/24	10	78.54	18940.0	241.2	210	114.83		
P-04		08/10/24	22/10/24	10	78.54	18250.0	232.4	210	110.65		
P-05		08/10/24	22/10/24	10	78.54	16980.0	216.2	210	102.95		
P-06		08/10/24	22/10/24	10	78.54	19060.0	242.7	210	115.56		
P-07		08/10/24	22/10/24	10	78.54	17940.0	228.4	210	108.77		
P-08		08/10/24	22/10/24	10	78.54	17510.0	222.9	210	106.16		
P-09		08/10/24	22/10/24	10	78.54	19020.0	242.2	210	115.32		
P-10		08/10/24	22/10/24	10	78.54	17790.0	226.5	210	107.86		
P-01	28	08/10/24	05/11/24	10	78.54	21980.0	279.9	210	133.27	284.7	135.59
P-02		08/10/24	05/11/24	10	78.54	22340.0	284.4	210	135.45		
P-03		08/10/24	05/11/24	10	78.54	22830.0	290.7	210	138.42		
P-04		08/10/24	05/11/24	10	78.54	21740.0	276.8	210	131.81		
P-05		08/10/24	05/11/24	10	78.54	22410.0	285.3	210	135.87		
P-06		08/10/24	05/11/24	10	78.54	23360.0	297.4	210	141.63		
P-07		08/10/24	05/11/24	10	78.54	21670.0	275.9	210	131.39		
P-08		08/10/24	05/11/24	10	78.54	22570.0	287.4	210	136.84		
P-09		08/10/24	05/11/24	10	78.54	21760.0	277.1	210	131.93		
P-10		08/10/24	05/11/24	10	78.54	22970.0	292.5	210	139.27		

→ Resistencia a compresión para el diseño de concreto con **0.6% NPG**:

Tabla 35: Registro de roturas de especímenes para el diseño de concreto con 0.6% de NPG a los 7, 14 y 28 días

N° de muestra	Edad (días)	Fecha		Diámetro cm	Área cm ²	Cargas		Diseño: f _c kg/cm ²	Porcentaje (%)	Promedio	
		Vaciado	Rotura			kg	kg/cm ²			Kg/cm ²	(%)
P-01	7	11/10/24	18/10/24	10	78.54	14440.0	183.9	210	87.55	175.9	83.8
P-02		11/10/24	18/10/24	10	78.54	14950.0	190.3	210	90.64		
P-03		11/10/24	18/10/24	10	78.54	11980.0	152.5	210	72.64		
P-04		11/10/24	18/10/24	10	78.54	16540.0	210.6	210	100.28		
P-05		11/10/24	18/10/24	10	78.54	13930.0	177.4	210	84.46		
P-06		11/10/24	18/10/24	10	78.54	13260.0	168.8	210	80.40		
P-07		11/10/24	18/10/24	10	78.54	12930.0	164.6	210	78.40		
P-08		11/10/24	18/10/24	10	78.54	15050.0	191.6	210	91.25		
P-09		11/10/24	18/10/24	10	78.54	13560.0	172.7	210	82.21		
P-10		11/10/24	18/10/24	10	78.54	11550.0	147.1	210	70.03		
P-01	14	11/10/24	25/10/24	10	78.54	16540.0	210.6	210	100.28	206.9	98.51
P-02		11/10/24	25/10/24	10	78.54	15930.0	202.8	210	96.58		
P-03		11/10/24	25/10/24	10	78.54	16860.0	214.7	210	102.22		
P-04		11/10/24	25/10/24	10	78.54	15330.0	195.2	210	92.95		
P-05		11/10/24	25/10/24	10	78.54	16340.0	208.0	210	99.07		
P-06		11/10/24	25/10/24	10	78.54	16110.0	205.1	210	97.68		
P-07		11/10/24	25/10/24	10	78.54	15620.0	198.9	210	94.70		
P-08		11/10/24	25/10/24	10	78.54	16760.0	213.4	210	101.62		
P-09		11/10/24	25/10/24	10	78.54	17130.0	218.1	210	103.86		
P-10		11/10/24	25/10/24	10	78.54	15860.0	201.9	210	96.16		
P-01	28	11/10/24	08/11/24	10	78.54	18680.0	237.8	210	113.26	227.5	108.35
P-02		11/10/24	08/11/24	10	78.54	17090.0	217.6	210	103.62		
P-03		11/10/24	08/11/24	10	78.54	18360.0	233.8	210	111.32		
P-04		11/10/24	08/11/24	10	78.54	17930.0	228.3	210	108.71		
P-05		11/10/24	08/11/24	10	78.54	17470.0	222.4	210	105.92		
P-06		11/10/24	08/11/24	10	78.54	16960.0	215.9	210	102.83		
P-07		11/10/24	08/11/24	10	78.54	17350.0	220.9	210	105.19		
P-08		11/10/24	08/11/24	10	78.54	18270.0	232.6	210	110.77		
P-09		11/10/24	08/11/24	10	78.54	17730.0	225.7	210	107.50		
P-10		11/10/24	08/11/24	10	78.54	18860.0	240.1	210	114.35		

Ilustración 28: Resistencia a compresión a los 7 días de curado

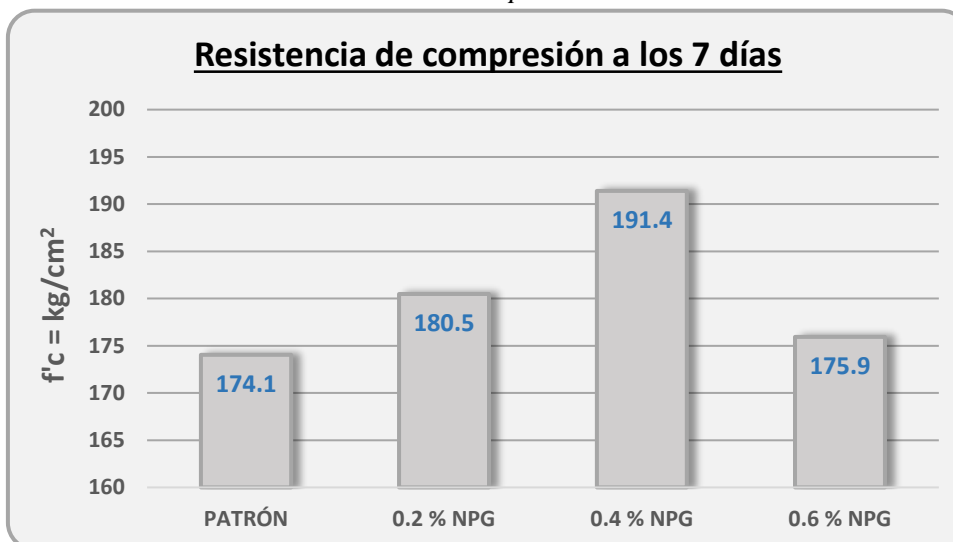


Ilustración 29: Resistencia a compresión a los 14 días de curado

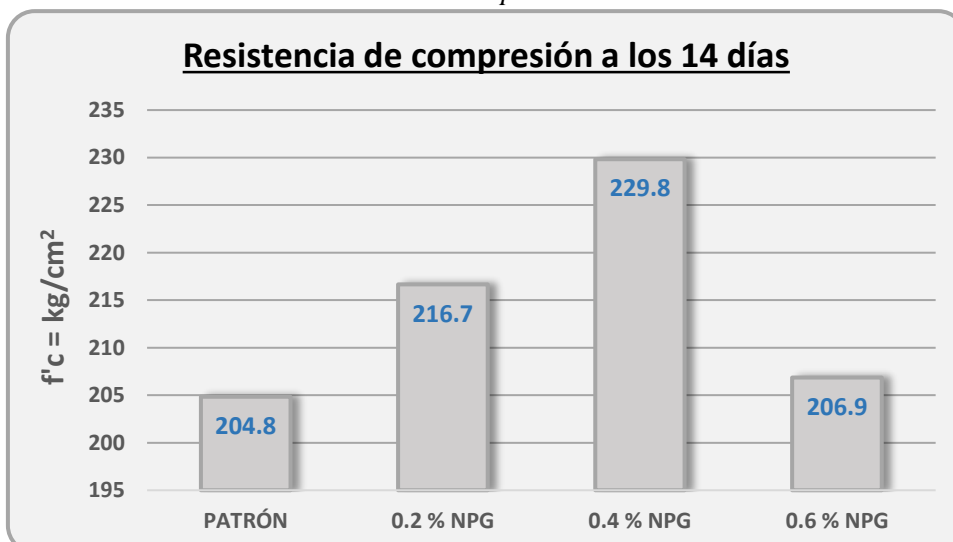


Ilustración 30: Resistencia a compresión a los 28 días de curado

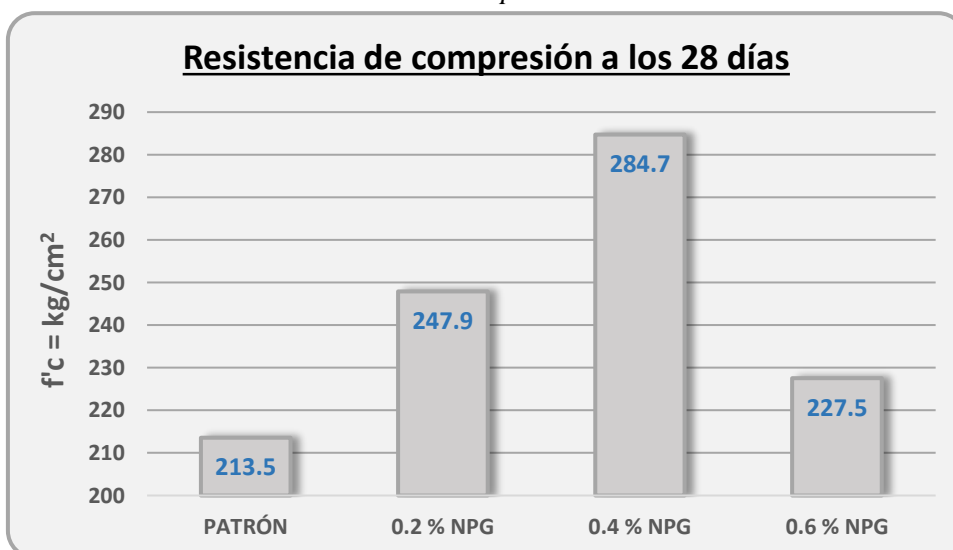
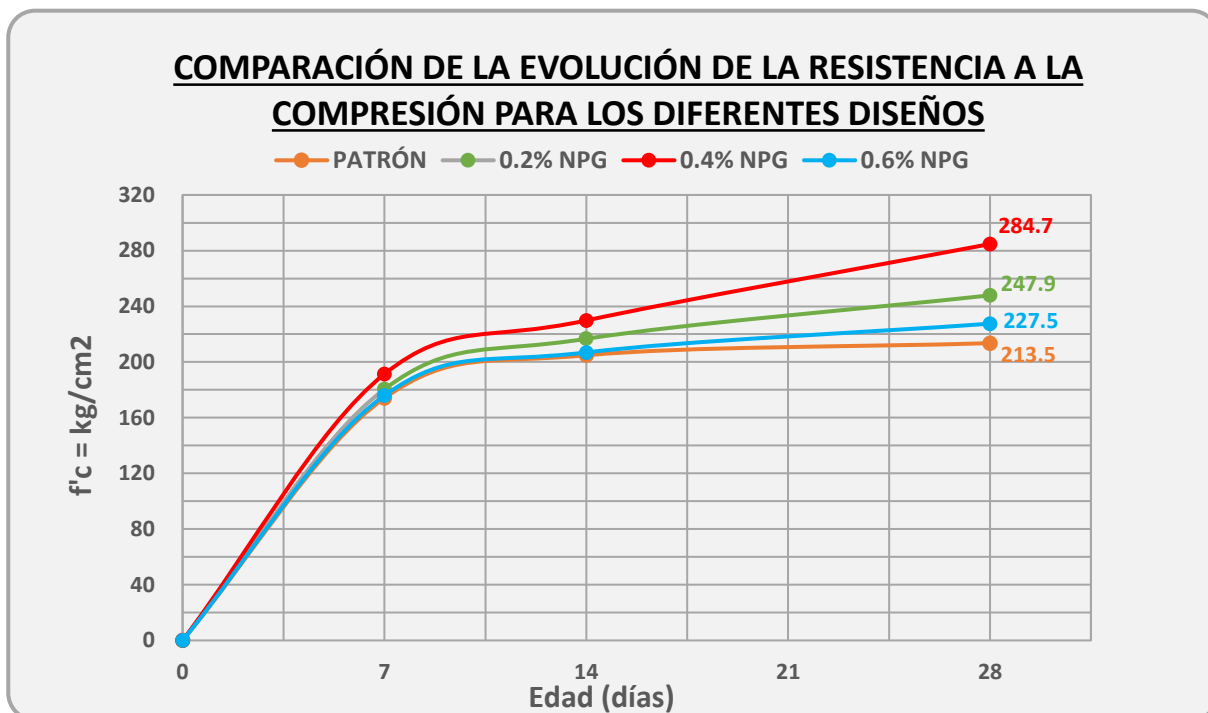


Ilustración 31: Comparación de la evolución de resistencias a compresión para los distintos diseños



En las ilustraciones 28 - 31 se puede observar que, a los 28 días de curado, la muestra diseño que incluye 0.2% de NPG logró una resistencia de 247.9 kg/cm², lo que representa un incremento del 18.04% en comparación con la muestra control. Por otro lado, el diseño con una adición de 0.4% de NPG alcanzó un $f'c$ de 284.7 kg/cm² equivalente a un incremento del 35.59% respecto a la muestra patrón; sin embargo, el diseño con 0.6% NPG presentó un incremento menor de su resistencia con un valor de 227.5 kg/cm² lo que representa solo un 8.35% de mejora respecto al diseño referencial. Es así como destaca el diseño con 0.4% de NPG, pues este alcanzó un incremento considerable de resistencia a comparación de los demás diseños evaluados.

✓ Densidad, absorción y porcentaje de vacíos en el concreto

➔ Densidad, absorción y % de vacíos para el diseño de concreto patrón:

Tabla 36: Registro de masas secas al horno para el diseño de concreto patrón

MUESTRA N°	MASA DE PROBETA SECA AL HORNO (g)				MASA SECA FINAL (g)
	24h.	48h.	Δ%	OBSERVACION	
M - 01	849.86	847.15	0.32	OK	847.15
M - 02	809.23	805.55	0.45	OK	805.55
M - 03	864.05	860.69	0.39	OK	860.69
M - 04	829.75	826.23	0.42	OK	826.23
M - 05	856.02	851.98	0.47	OK	851.98
M - 06	837.59	835.73	0.22	OK	835.73

Tabla 37: Registro de masas después de inmersión en agua para diseño de concreto patrón

MUESTRA N°	MASA DE PROBETA DESPUES DE INMERSION (g)				MASA DESPUES DE INMERSION FINAL (g)
	48h.	72h.	Δ%	OBSERVACION	
M - 01	937.83	939.32	0.16	OK	939.32
M - 02	905.19	906.82	0.18	OK	906.82
M - 03	959.04	960.31	0.13	OK	960.31
M - 04	915.53	917.05	0.17	OK	917.05
M - 05	941.76	943.09	0.14	OK	943.09
M - 06	930.79	932.05	0.14	OK	932.05

Tabla 38: Registro de masas después de inmersión para el diseño de concreto patrón

MUESTRA N°	MASA DESPUES DE INMERSION (g)	
	EBULLICION	SUMERGIDO APARENTE
	5h + 14h	
M - 01	942.91	529.62
M - 02	911.56	497.81
M - 03	964.68	549.28
M - 04	923.04	506.75
M - 05	947.82	536.67
M - 06	939.01	518.36

Tabla 39: Porcentaje de vacíos para el diseño de concreto patrón

PROPIEDAD	PROBETA N°	VALOR	PROMEDIO
VOLUMEN DE VACIOS (%)	M - 01	23.17	24.16
	M - 02	25.62	
	M - 03	25.03	
	M - 04	23.26	
	M - 05	23.31	
	M - 06	24.55	

→ *Densidad, absorción y % de vacíos para el diseño de concreto con 0.2% NPG:*

Tabla 40: Registro de masas secas al horno para el diseño con 0.2% de NPG

MUESTRA N°	MASA DE PROBETA SECA AL HORNO (g)				MASA SECA FINAL (g)
	24h.	48h.	Δ%	OBSERVACION	
M - 01	827.02	823.20	0.34	OK	824.20
M - 02	845.26	841.06	0.50	OK	841.06
M - 03	849.08	846.95	0.25	OK	846.95
M - 04	807.93	805.13	0.35	OK	805.13
M - 05	833.57	831.38	0.26	OK	831.38
M - 06	815.08	811.12	0.49	OK	811.12

Tabla 41: Registro de masas después de inmersión en agua para diseño con 0.2% de NPG

MUESTRA N°	MASA DE PROBETA DESPUES DE INMERSION (g)				MASA DESPUES DE INMERSION FINAL (g)
	48h.	72h.	Δ%	OBSERVACION	
M - 01	922.86	924.77	0.21	OK	924.77
M - 02	932.28	933.67	0.15	OK	933.67
M - 03	935.55	937.21	0.18	OK	937.21
M - 04	901.62	903.13	0.17	OK	903.13
M - 05	925.56	926.84	0.14	OK	926.84
M - 06	905.41	907.10	0.19	OK	907.10

Tabla 42: Registro de masas después de inmersión para el diseño con 0.2% de NPG

MUESTRA N°	MASA DESPUES DE INMERSION (g)	
	EBULLICION	SUMERGIDO APARENTE
	5h + 14h	
M - 01	922.42	469.17
M - 02	933.63	509.15
M - 03	937.27	517.86
M - 04	902.31	468.64
M - 05	926.43	502.98
M - 06	906.68	476.72

Tabla 43: Porcentaje de vacíos para el diseño con 0.2% de NPG

PROPIEDAD	PROBETA N°	VALOR	PROMEDIO
VOLUMEN DE VACIOS (%)	M - 01	21.67	22.02
	M - 02	21.81	
	M - 03	21.54	
	M - 04	22.41	
	M - 05	22.45	
	M - 06	22.23	

→ *Densidad, absorción y % de vacíos para el diseño de concreto con 0.4% NPG:*

Tabla 44: Registro de masas secas al horno para el diseño con 0.4% de NPG

MUESTRA N°	MASA DE PROBETA SECA AL HORNO (g)				MASA SECA FINAL (g)
	24h.	48h.	Δ%	OBSERVACION	
M - 01	810.34	807.09	0.40	OK	807.09
M - 02	825.68	823.34	0.28	OK	823.34
M - 03	791.94	788.37	0.45	OK	788.37
M - 04	783.57	780.81	0.35	OK	780.81
M - 05	827.91	825.60	0.28	OK	825.60
M - 06	867.19	864.18	0.35	OK	864.18

Tabla 45: Registro de masas después de inmersión en agua para diseño con 0.4% de NPG

MUESTRA N°	MASA DE PROBETA DESPUES DE INMERSION (g)				MASA DESPUES DE INMERSION FINAL (g)
	48h.	72h.	Δ%	OBSERVACION	
M - 01	904.63	906.52	0.21	OK	906.52
M - 02	913.80	915.66	0.20	OK	915.66
M - 03	892.42	894.25	0.21	OK	894.25
M - 04	885.30	887.65	0.27	OK	887.65
M - 05	922.77	925.26	0.27	OK	925.26
M - 06	945.20	947.43	0.24	OK	947.43

Tabla 46: Registro de masas después de inmersión para el diseño con 0.4% de NPG

MUESTRA N°	MASA DESPUES DE INMERSION (g)	
	EBULLICION	SUMERGIDO APARENTE
	5h + 14h	
M - 01	900.17	401.59
M - 02	911.63	413.79
M - 03	882.76	401.36
M - 04	872.13	376.71
M - 05	917.36	427.27
M - 06	944.95	469.89

Tabla 47: Porcentaje de vacíos para el diseño con 0.4% de NPG

PROPIEDAD	PROBETA N°	VALOR	PROMEDIO
VOLUMEN DE VACIOS (%)	M - 01	18.67	18.36
	M - 02	17.73	
	M - 03	19.61	
	M - 04	18.43	
	M - 05	18.72	
	M - 06	17.00	

→ *Densidad, absorción y % de vacíos para el diseño de concreto con 0.6% NPG:*

Tabla 48: Registro de masas secas al horno para el diseño con 0.6% de NPG

MUESTRA N°	MASA DE PROBETA SECA AL HORNO (g)				MASA SECA FINAL (g)
	24h.	48h.	Δ%	OBSERVACION	
M - 01	829.14	826.65	0.30	OK	826.65
M - 02	819.73	816.31	0.42	OK	816.31
M - 03	833.59	831.28	0.28	OK	831.28
M - 04	827.06	824.50	0.31	OK	824.50
M - 05	836.98	834.79	0.26	OK	834.79
M - 06	826.45	822.64	0.46	OK	822.64

Tabla 49: Registro de masas después de inmersión en agua para diseño con 0.6% de NPG

MUESTRA N°	MASA DE PROBETA DESPUES DE INMERSION (g)				MASA DESPUES DE INMERSION FINAL (g)
	48h.	72h.	Δ%	OBSERVACION	
M - 01	921.64	923.14	0.16	OK	923.14
M - 02	908.44	910.23	0.20	OK	910.23
M - 03	922.74	924.48	0.19	OK	924.48
M - 04	916.50	918.32	0.20	OK	918.32
M - 05	926.03	927.48	0.16	OK	927.48
M - 06	918.80	920.99	0.24	OK	920.99

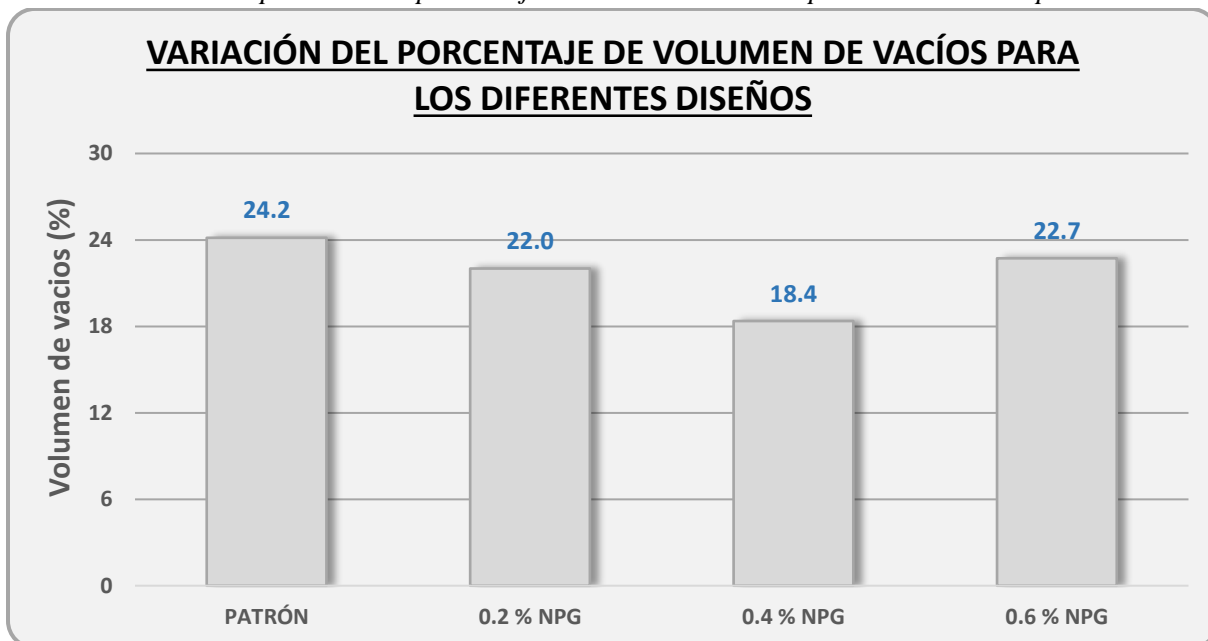
Tabla 50: Registro de masas después de inmersión para el diseño con 0.6% de NPG

MUESTRA N°	MASA DESPUES DE INMERSION (g)	
	EBULLICION	SUMERGIDO APARENTE
	5h + 14h	
M - 01	922.36	506.61
M - 02	910.17	495.69
M - 03	923.98	507.67
M - 04	917.82	504.14
M - 05	928.43	513.62
M - 06	919.75	503.68

Tabla 51: Porcentaje de vacíos para el diseño con 0.6% de NPG

PROPIEDAD	PROBETA N°	VALOR	PROMEDIO
VOLUMEN DE VACIOS (%)	M - 01	23.02	22.73
	M - 02	22.65	
	M - 03	22.27	
	M - 04	22.56	
	M - 05	22.57	
	M - 06	23.34	

Ilustración 32: Comparación del porcentaje de volumen de vacíos para los distintos tipos de diseños

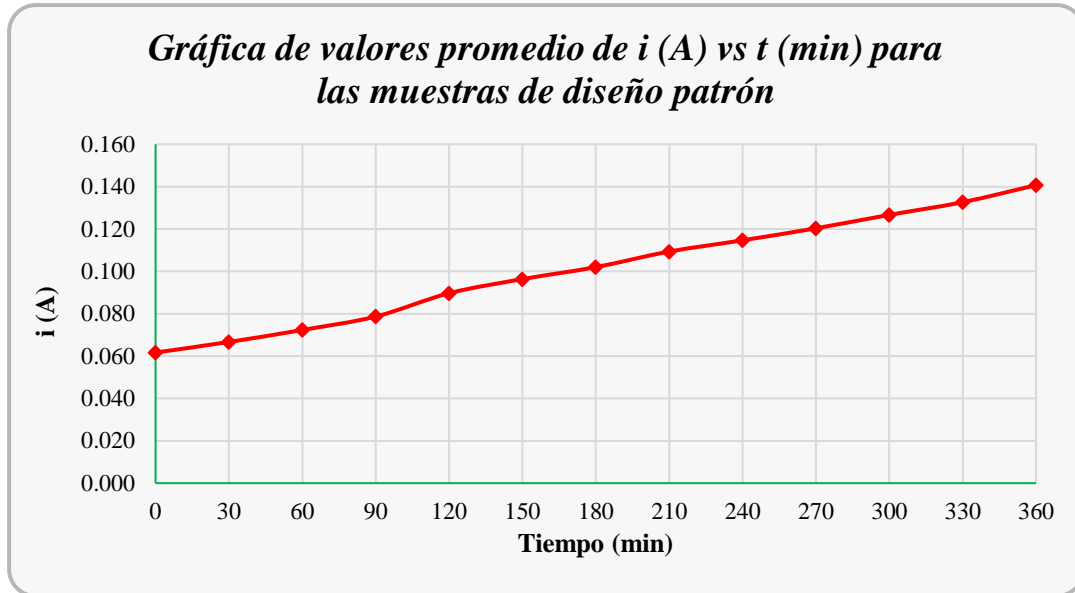


En la ilustración 32, se observa un 24.2% de volumen de poros para la muestra control, mientras que para los diseños con concentraciones del 0.2%, 0.4% y 0.6% de NPG mostró valores del 22.0%, 18.4% y 22.7% de volumen de vacíos respectivamente. Estos valores respecto al concreto patrón indican una reducción del 9% de vacíos en el concreto para el diseño con 0.2% NPG y del 23.97% de vacíos para el diseño con 0.4% NPG; sin embargo, existe un aumento del volumen de poros con un valor del 6.19% para el diseño con 0.6% NPG. Esto permite conocer que el porcentaje idóneo para lograr un menor porcentaje de poros en el concreto es la adición del 0.4% de NPG.

✓ Resistencia a la migración de iones de cloruro

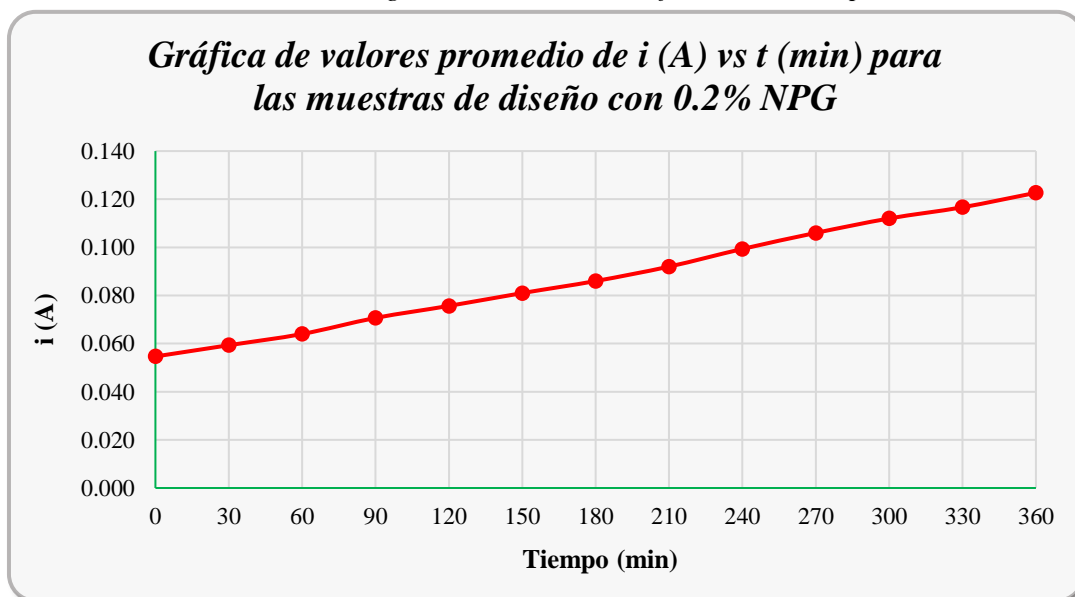
➔ Capacidad de resistencia a la transferencia de iones cloruro para el diseño de concreto **patrón**:

Ilustración 33: Evolución de la migración de cloruros en función del tiempo - diseño patrón



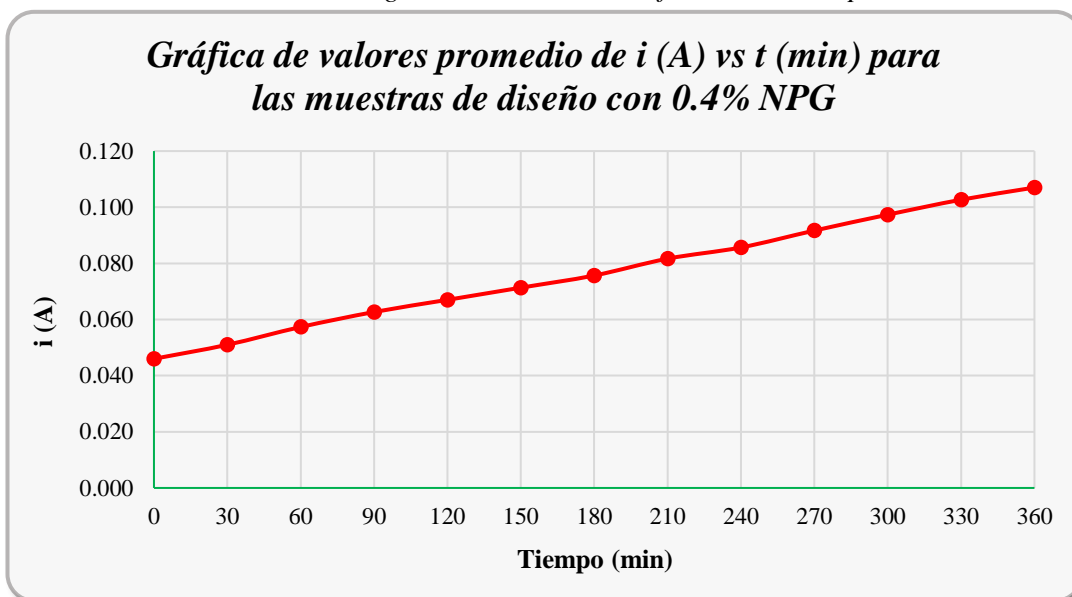
➔ Capacidad de resistencia a la transferencia de iones cloruro para el diseño con **0.2% NPG**:

Ilustración 34: Evolución de la migración de cloruros en función del tiempo - diseño 0.2% NPG



→ Capacidad de resistencia a la transferencia de iones cloruro para el diseño con 0.4% NPG:

Ilustración 35: Evolución de la migración de cloruros en función del tiempo - diseño 0.4% NPG



→ Capacidad de resistencia a la transferencia de iones cloruro para el diseño con 0.6% NPG:

Ilustración 36: Evolución de la migración de cloruros en función del tiempo - diseño 0.6% NPG

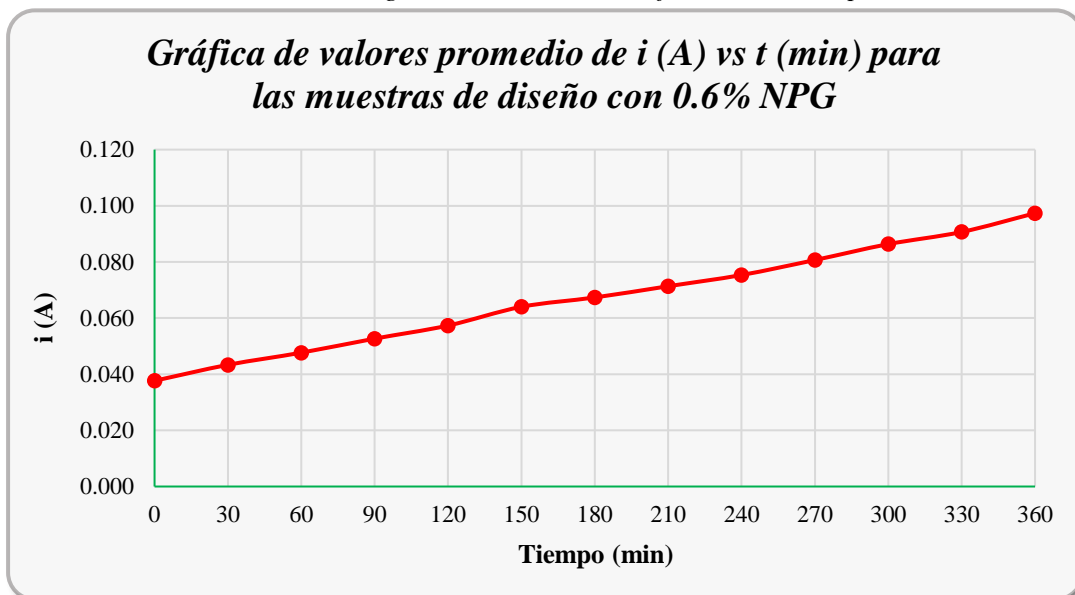


Tabla 52: *Difusión del ion cloruro según la carga atravesada*

PENETRABILIDAD DEL ION CLORURO BASADA EN LA CARGA PASADA	
CARGA PASADA (COULOMBS)	PENETRABILIDAD DEL ION CLORURO
>4000	ALTA
2000 - 4000	MODERADA
1000 - 2000	BAJA
100 - 1000	MUY BAJA
<100	INELEGIBLE

Fuente: ASTM C - 1202

Tabla 53: *Resumen de resultados de penetrabilidad del ion cloruro*

Condición de Muestra	Qs (coulombs)	Penetrabilidad del Ion Cloruro
Patrón	1934.13	BAJA
Con 0.2% NPG	1668.89	BAJA
Con 0.4% NPG	1472.29	BAJA
Con 0.6% NPG	1275.42	BAJA

En la tabla 53 presenta un resumen de los resultados obtenidos en el ensayo de penetración de iones cloruro. De acuerdo con estos datos, la muestra correspondiente al diseño con 0.2% NPG permite una difusión de la carga de 1668 Coulombs, valor que según la norma ASTM C-1202 permite una penetrabilidad del ion cloruro BAJA. Por otro lado, el diseño con adición del 0.4% de NPG también genera una penetrabilidad BAJA, pero con un valor de carga reducido de 1472 Coulombs, al igual que el diseño con 0.6% con una carga de 1275 Coulombs. Estos valores representan una reducción de la difusión de iones cloruro respecto a la muestra patrón del 13.8%, 23.9% y 34.1% para los diseños con concentraciones del 0.2%, 0.4% y 0.6% de NPG respectivamente.

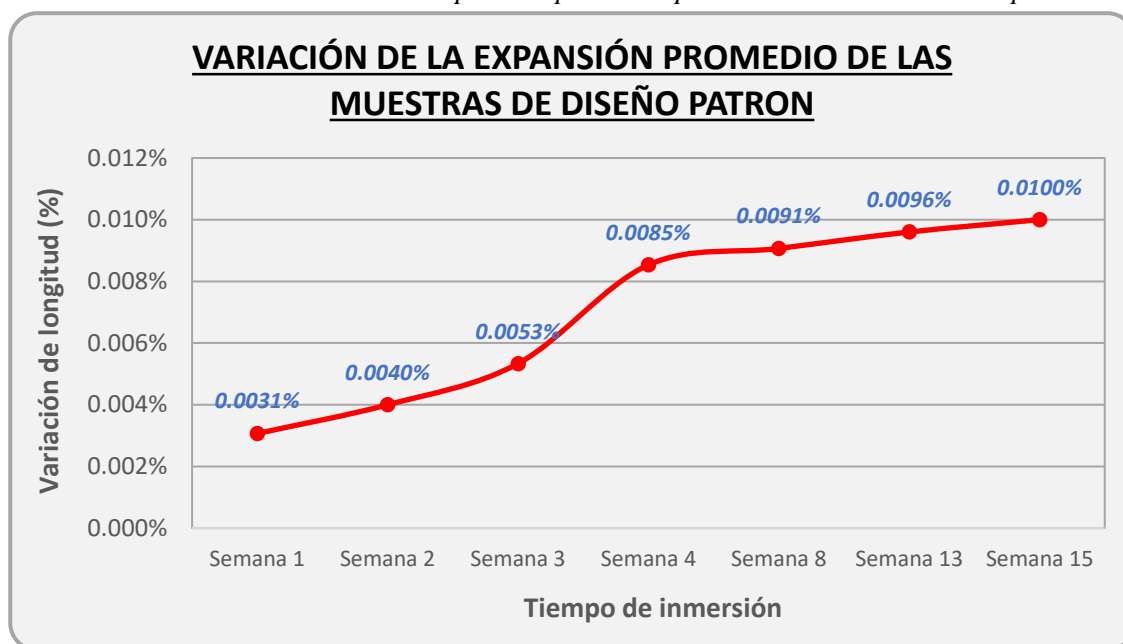
✓ Durabilidad del concreto expuesto a sulfato de sodio

→ Durabilidad del concreto expuesto a sulfato para el diseño de concreto **patrón**:

Tabla 54: Registro de los cambios de longitud en función del tiempo - diseño patrón

<i>Tiempo de inmersión</i>	<i>Δ - M1</i>	<i>Δ - M2</i>	<i>Δ - M3</i>	<i>Δ Promedio</i>
1° Semana	0.0032%	0.0036%	0.0024%	0.0031%
2° Semana	0.0028%	0.0060%	0.0032%	0.0040%
3° Semana	0.0032%	0.0076%	0.0052%	0.0053%
4° Semana	0.0048%	0.0128%	0.0080%	0.0085%
8° Semana	0.0052%	0.0136%	0.0084%	0.0091%
13° Semana	0.0056%	0.0144%	0.0088%	0.0096%
15° Semana	0.0060%	0.0144%	0.0096%	0.0100%

Ilustración 37: Evolución de la expansión promedio para las muestras de diseño patrón

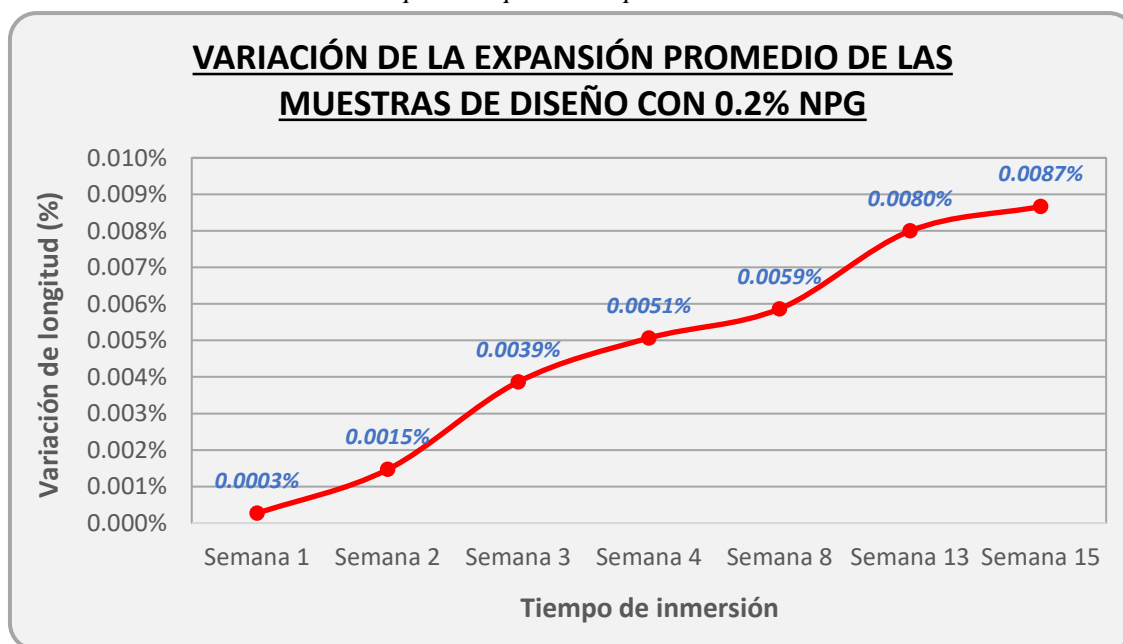


→ Durabilidad del concreto expuesto a sulfato para el diseño de concreto con 0.2% NPG:

Tabla 55: Registro de los cambios de longitud en función del tiempo - diseño 0.2% NPG

<i>Tiempo de inmersión</i>	<i>Δ - M1</i>	<i>Δ - M2</i>	<i>Δ - M3</i>	<i>Δ Promedio</i>
1ª Semana	0.0004%	0.0000%	0.0004%	0.0003%
2ª Semana	0.0012%	0.0012%	0.0020%	0.0015%
3ª Semana	0.0028%	0.0036%	0.0052%	0.0039%
4ª Semana	0.0036%	0.0048%	0.0068%	0.0051%
8ª Semana	0.0044%	0.0060%	0.0072%	0.0059%
13ª Semana	0.0060%	0.0080%	0.0100%	0.0080%
15ª Semana	0.0068%	0.0088%	0.0104%	0.0087%

Ilustración 38: Evolución de la expansión promedio para las muestras del diseño con 0.2% NPG

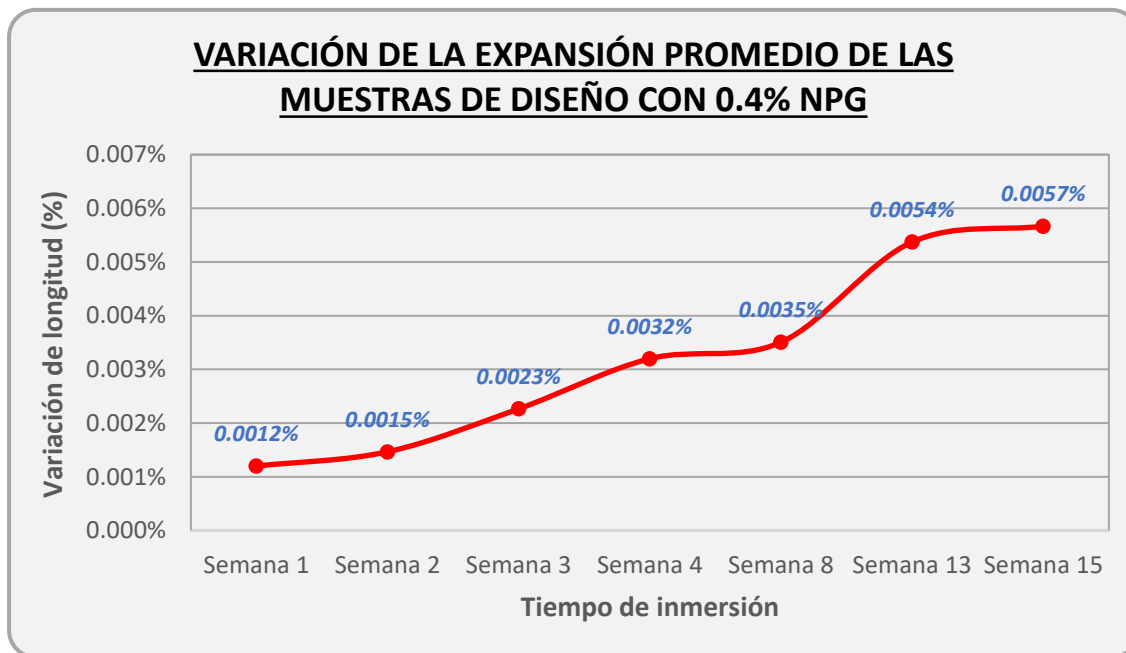


→ Durabilidad del concreto expuesto a sulfato para el diseño de concreto con 0.4% NPG:

Tabla 56: Registro de los cambios de longitud en función del tiempo - diseño 0.4% NPG

Tiempo de inmersión	Δ - M1	Δ - M2	Δ - M3	Δ Promedio
1ª Semana	0.0008%	0.0008%	0.0020%	0.0012%
2ª Semana	0.0012%	0.0008%	0.0024%	0.0015%
3ª Semana	0.0020%	0.0016%	0.0032%	0.0023%
4ª Semana	0.0032%	0.0024%	0.0040%	0.0032%
8ª Semana	0.0033%	0.0024%	0.0048%	0.0035%
13ª Semana	0.0045%	0.0048%	0.0068%	0.0054%
15ª Semana	0.0046%	0.0048%	0.0076%	0.0057%

Ilustración 39: Evolución de la expansión promedio para las muestras del diseño con 0.4% NPG



→ Durabilidad del concreto expuesto a sulfato para el diseño de concreto con **0.6% NPG**:

Tabla 57: Registro de los cambios de longitud en función del tiempo - diseño 0.6% NPG

<i>Tiempo de inmersión</i>	<i>Δ - M1</i>	<i>Δ - M2</i>	<i>Δ - M3</i>	<i>Δ Promedio</i>
1ª Semana	0.0004%	0.0000%	0.0004%	0.0003%
2ª Semana	0.0004%	0.0004%	0.0008%	0.0005%
3ª Semana	0.0012%	0.0008%	0.0012%	0.0011%
4ª Semana	0.0028%	0.0012%	0.0016%	0.0019%
8ª Semana	0.0032%	0.0016%	0.0020%	0.0023%
13ª Semana	0.0044%	0.0028%	0.0032%	0.0035%
15ª Semana	0.0056%	0.0048%	0.0056%	0.0053%

Ilustración 40: Evolución de la expansión promedio para las muestras del diseño con 0.6% NPG

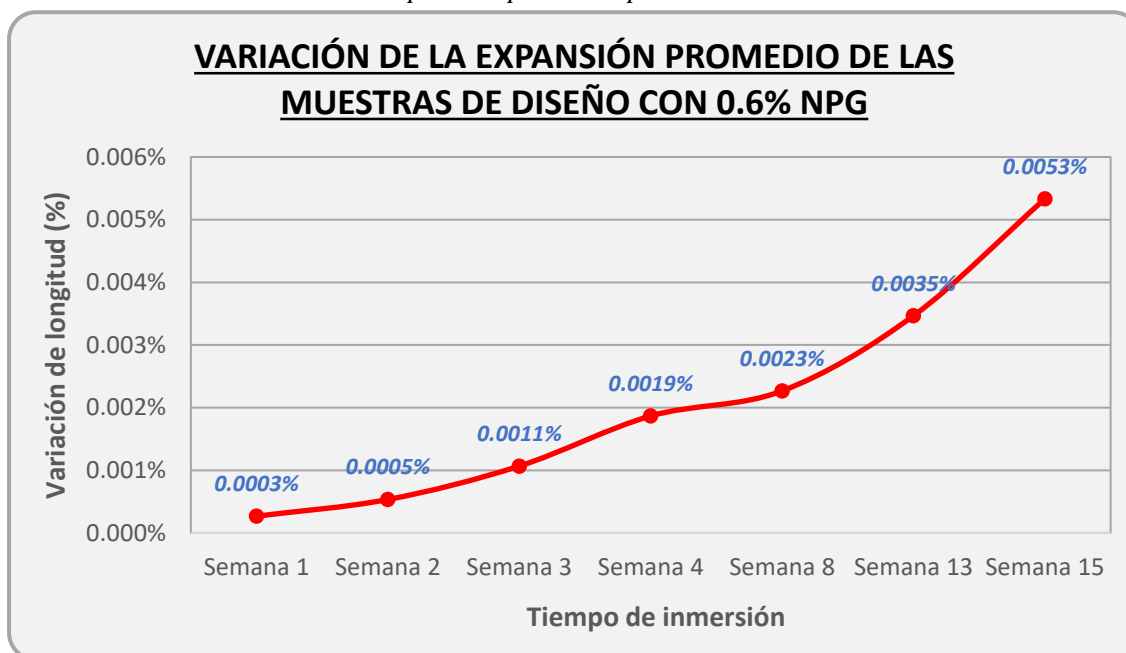
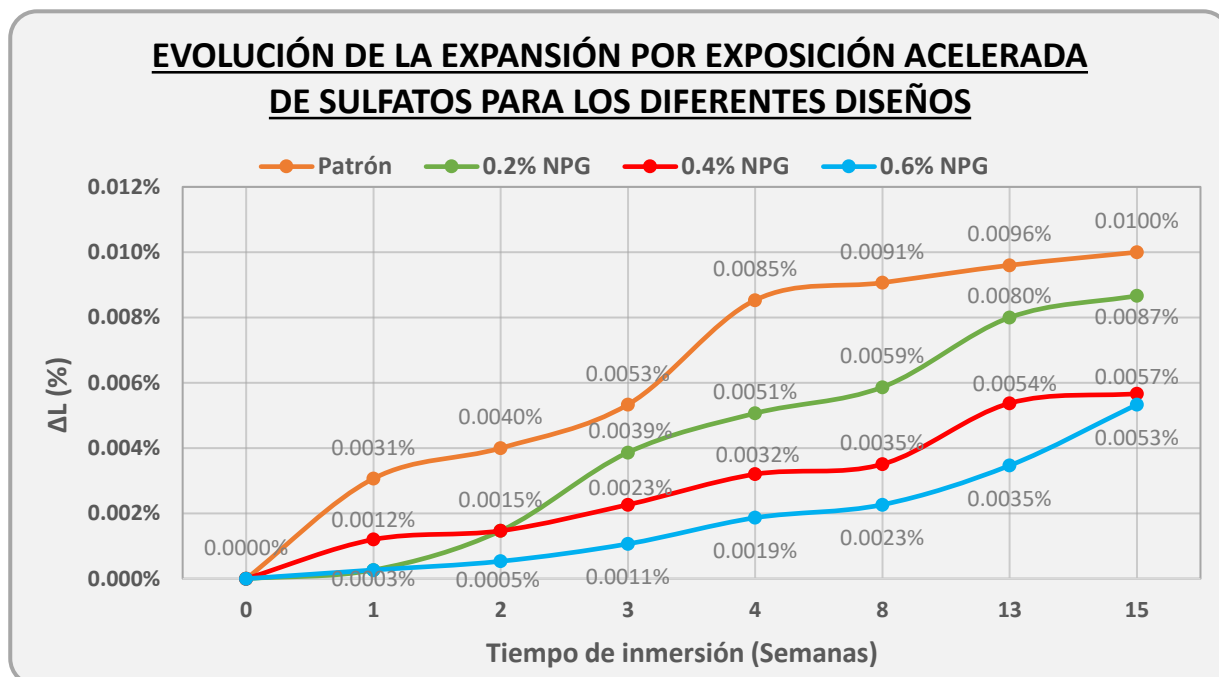


Ilustración 41: Evolución de la expansión por exposición acelerada de sulfatos para los distintos diseños



La ilustración 41 grafica la evolución de los cambios de longitud en porcentajes que genera el sulfato de sodio en las vigas de concreto para los distintos diseños. Se aprecia una reducción acelerada desde la primera semana para todas las adiciones. Sin embargo, en la semana 15 se obtuvo los mayores porcentajes de variaciones de longitud con valores del 0.0001% para la muestra patrón, 0.0087% para el diseño con 0.2% NPG, 0.0057% para el diseño con 0.4% NPG y 0.0053% para el diseño con 0.6% NPG. De esta forma se puede notar que el uso del grafeno ayuda a reducir el porcentaje de expansión en concretos expuesto a sulfatos.

✓ Análisis de costos para la fabricación de concreto por volumen (m3)**Tabla 58: Costo unitario por m³ para el diseño de concreto patrón**

Partida:	Concreto f'c = 210 kg/cm ² para concreto patrón				
Especificaciones:	Preparación con mezcladora tipo trompo de 9p3 incluyendo gasolina y aceite				
Rendimiento:	10	m3/día		N° horas: 8	Unidad m3
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	P. Unitario	P. Parcial
MANO DE OBRA					
Operario	hh	1.00	0.80	27.63	22.10
Oficial	hh	1.00	0.80	21.74	17.39
Peón	hh	4.00	3.20	19.68	62.98
					102.47
MATERIALES					
Cemento Portland Tipo MS	bls		8.660	35.50	307.42
Piedra chancada 3/4"	m3		0.615	60.00	36.90
Arena gruesa	m3		0.385	45.00	17.33
Agua	m3		0.210	2.00	0.42
					362.07
EQUIPOS Y/O HERRAMIENTAS					
Herramientas (3%)	%MO		3.00	102.47	3.07
Mezcladora tipo trompo 8HP	hm	1.00	0.10	7.49	0.75
Vibrador 4HP - 1.5"	hm	0.75	0.08	10.96	0.82
					4.65
COSTO UNITARIO TOTAL POR 1m³ DE CONCRETO PATRÓN					469.19

Tabla 59: Costo unitario por m³ para el diseño de concreto con 0.2% de NPG

Partida:	Concreto f'c = 210 kg/cm ² para concreto con adición de 0.2% NPG				
Especificaciones:	Preparación con mezcladora tipo trompo de 9p3 incluyendo gasolina y aceite				
Rendimiento:	10	m3/día		N° horas: 8	Unidad m3
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	P. Unitario	P. Parcial
MANO DE OBRA					
Operario	hh	1.00	0.80	27.63	22.10
Oficial	hh	1.00	0.80	21.74	17.39
Peón	hh	4.00	3.20	19.68	62.98
					102.47
MATERIALES					
Cemento Portland Tipo MS	bls		8.660	35.50	307.42
Piedra chancada 3/4"	m3		0.615	60.00	36.90
Arena gruesa	m3		0.385	45.00	17.33
Agua	m3		0.210	2.00	0.42
Grafeno	kg		0.740	409.20	301.21
					663.28
EQUIPOS Y/O HERRAMIENTAS					
Herramientas (3%)	%MO		3.00	102.47	3.07
Mezcladora tipo trompo 8HP	hm	1.00	0.10	7.49	0.75
Vibrador 4HP - 1.5"	hm	0.75	0.08	10.96	0.82
					4.65
COSTO UNITARIO TOTAL POR 1m³ DE CONCRETO CON 0.2% DE NPG					770.40

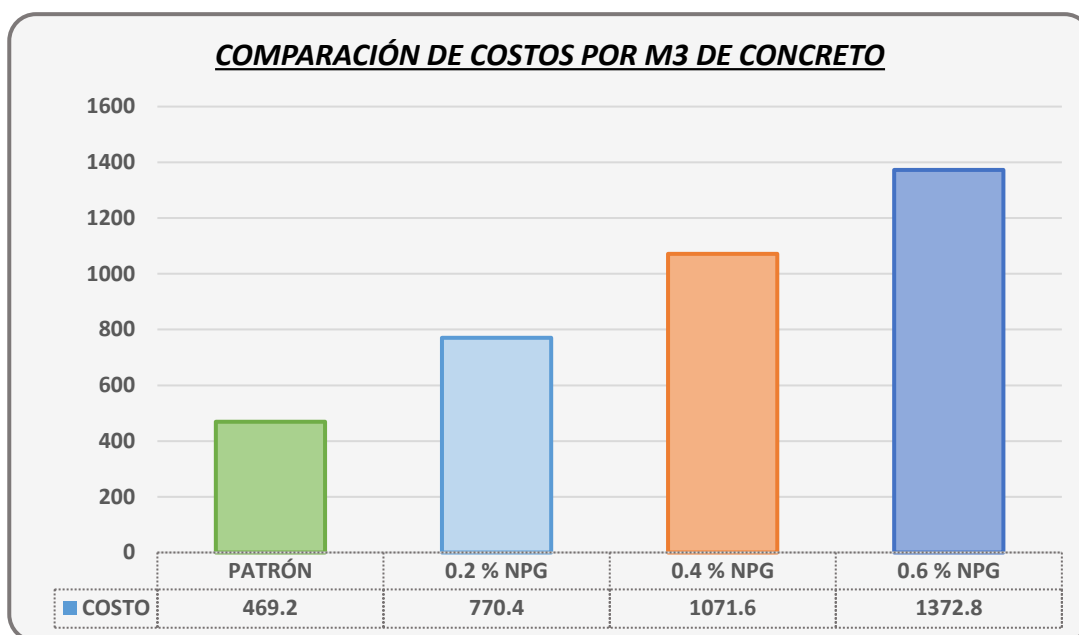
Tabla 60: Costo unitario por m³ para el diseño de concreto con 0.4% de NPG

Partida:	Concreto f'c = 210 kg/cm ² para concreto con adición de 0.4% NPG				
Especificaciones:	Preparación con mezcladora tipo trompo de 9p3 incluyendo gasolina y aceite				
Rendimiento:	10	m ³ /día		N° horas: 8	Unidad m ³
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	P. Unitario	P. Parcial
MANO DE OBRA					
Operario	hh	1.00	0.80	27.63	22.10
Oficial	hh	1.00	0.80	21.74	17.39
Peón	hh	4.00	3.20	19.68	62.98
					102.47
MATERIALES					
Cemento Portland Tipo MS	bls		8.660	35.50	307.42
Piedra chancada 3/4"	m ³		0.615	60.00	36.90
Arena gruesa	m ³		0.385	45.00	17.33
Agua	m ³		0.210	2.00	0.42
Grafeno	kg		1.470	409.20	602.41
					964.49
EQUIPOS Y/O HERRAMIENTAS					
Herramientas (3%)	%MO		3.00	102.47	3.07
Mezcladora tipo trompo 8HP	hm	1.00	0.10	7.49	0.75
Vibrador 4HP - 1.5"	hm	0.75	0.08	10.96	0.82
					4.65
COSTO UNITARIO TOTAL POR 1m³ DE CONCRETO CON 0.4% DE NPG					1071.60

Tabla 61: Costo unitario por m³ para el diseño de concreto con 0.6% de NPG

Partida:	Concreto f'c = 210 kg/cm ² para concreto con adición de 0.6% NPG				
Especificaciones:	Preparación con mezcladora tipo trompo de 9p3 incluyendo gasolina y aceite				
Rendimiento:	10	m ³ /día		N° horas: 8	Unidad m ³
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	P. Unitario	P. Parcial
MANO DE OBRA					
Operario	hh	1.00	0.80	27.63	22.10
Oficial	hh	1.00	0.80	21.74	17.39
Peón	hh	4.00	3.20	19.68	62.98
					102.47
MATERIALES					
Cemento Portland Tipo MS	bls		8.660	35.50	307.42
Piedra chancada 3/4"	m ³		0.615	60.00	36.90
Arena gruesa	m ³		0.385	45.00	17.33
Agua	m ³		0.210	2.00	0.42
Grafeno	kg		2.210	409.20	903.62
					1265.69
EQUIPOS Y/O HERRAMIENTAS					
Herramientas (3%)	%MO		3.00	102.47	3.07
Mezcladora tipo trompo 8HP	hm	1.00	0.10	7.49	0.75
Vibrador 4HP - 1.5"	hm	0.75	0.08	10.96	0.82
					4.65
COSTO UNITARIO TOTAL POR 1m³ DE CONCRETO CON 0.6% DE NPG					1372.81

Ilustración 42: Comparación de costos en soles por m³ de concreto



Las tablas 58 – 61 muestran un análisis detallado de los costos, expresado en soles, por m³ de concreto. El valor estimado para la producción de 1m³ de concreto convencional es de 469 soles. Al incorporar un 0.2% de NPG, dicho costo se incrementa a 770 soles. De manera similar, la adición del 0.4% de NPG eleva el costo a 1072 soles y la adición del 0.6% de NPG alcanzó el mayor costo de 1373 soles por metro cúbico. Estos resultados evidencian una relación directamente proporcional entre el porcentaje de NPG incorporado y el costo de la fabricación del concreto, indicando que, a mayor contenido de grafeno, mayor será el costo requerido por unidad de volumen.

➤ *Discusión de resultados*

✓ **Para el ensayo de resistencia a la compresión:**

Según el objetivo específico; conocer la variación de la resistencia a la compresión del concreto que genera el incorporar grafeno en cantidades del 0.2%, 0.4% y 0.6%, los resultados obtenidos indican una resistencia favorable en todas las adiciones trabajadas; sin embargo, la incorporación del 0.4% de NPG en el diseño es la más destacable ya que nos muestra un mayor incremento de resistencia a comparación de los otros. En las ilustraciones 25, 26 y 27 se puede apreciar que los datos obtenidos para las muestras control (sin adición de grafeno) fueron de 174.10 kg/cm², 204.80 kg/cm² y 213.50 kg/cm² a los 7, 14 y 28 días de curado correlativamente, mientras que los especímenes con incorporación del 0.4% NPG obtuvieron una resistencia de 191.40 kg/cm², 229.80 kg/cm² y 284.70 kg/cm² en los mismos días de curado respectivamente. Estos datos concuerdan con la investigación realizada por L. Choque Flores [11], el cual hace mención que la incorporación del 0.4% de grafeno es la cantidad más óptima a emplear, brindándole una resistencia de 283.12 kg/cm² a los 28 días de curado, siendo este un resultado muy cercano al obtenido en esta investigación.

Finalmente, los resultados hacen concluir que la resistencia a los esfuerzos de compresión del concreto en términos de porcentaje, con un curado a los 28 días, comparado con la muestra de control, alcanzan un aumento aproximado del 118.04%, 135.59% y 108.35% en muestras con adiciones del 0.2%, 0.4% y 0.6% respectivamente. No obstante, es necesario realizar un análisis de influencia en las demás propiedades mecánicas, donde F. I. Ismail et al. [19] en su investigación destaca que el incorporar grafeno al concreto no solo incrementa su resistencia a compresión, sino también genera un incremento de su tracción, flexión, índice de ductilidad y su módulo de elasticidad con la incorporación del 0.1% de GNP evidenciando de esta manera también la mejora de otras propiedades en el concreto.

✓ **Para el ensayo de densidad, absorción y volumen de vacíos**

De acuerdo con el objetivo específico de determinar el porcentaje de volumen de vacíos en el concreto antes y después de adicionarle NPG en porcentajes del 0.2%, 0.4% y 0.6%, los resultados obtenidos muestran mejoras significativas entre los distintos diseños. La muestra de control presentó un 24.16% de volumen de vacíos. Al añadir 0.2 % de NPG, este valor se redujo a un 22.02%, mientras que la incorporación del 0.4% de NPG generó una disminución más baja, alcanzando un 18.36% de vacíos. Sin embargo, con la incorporación del 0.6% de NPG, el volumen de vacíos aumentó a 22.73%. Es así como los resultados evidencian que

la incorporación del 0.4% de NPG es la más eficiente en la reducción de poros en el concreto, siendo este diseño el más favorable a comparación de los otros. Estos datos guardan relación con la investigación desarrollada por R. Quiroz y C. Hidalgo [13], quienes afirman que la incorporación del 2%, 4% y 6% de grafeno generó un porcentaje de volumen de poros permeables del 12.61%, 8.63% y 5.74% respectivamente a comparación de la muestra de concreto patrón que alcanzó un porcentaje de vacíos de 15.9%, evidenciando que, a un mayor porcentaje de grafeno, menor será el porcentaje de volumen de poros en el concreto. Por lo tanto, se reafirma que la adición de NPG mejora y ayuda de manera considerable a reducir la cantidad de poros en el concreto, haciendo de este un material más durable. No obstante, para potenciar estos efectos, es fundamental asegurar una adecuada dispersión de partículas. En este sentido, H. Du y S. D. Pang [18] destacan la importancia del uso de ultrasonido como método de dispersión, demostrando que aplicarlo durante 60 minutos a una mezcla con 0.1% de NPG, se logra reducir en un 37% su permeabilidad efectiva y en un 30% su diámetro de poros en el concreto.

✓ **Para el ensayo de capacidad de resistencia a la difusión de iones cloruro**

Según el objetivo específico; analizar el impacto que genera la incorporación de NPG en concentraciones del 0.2%, 0.4% y 0.6% en la resistencia a la difusión de iones cloruro, los resultados obtenidos indican una resistencia favorable de todas las adiciones trabajadas; sin embargo, se observa que a medida que aumenta el porcentaje de NPG, también aumenta su capacidad del concreto para resistir la difusión iónica de cloruros. En la tabla 53 se puede observar que la muestra de referencia presenta una penetrabilidad del ion cloruro BAJA con una carga atravesada de 1934.13 coulomb, mientras que la muestras con incorporación del 0.2%, 0.4% y 0.6% de NPG también presentan una penetrabilidad BAJA, pero con una clara diferencia de valores reducidos de 1668.89, 1472.29 y 1275.42 coulomb respectivamente, mismos que en porcentajes representan una disminución del 13.72%, 23.88% y 34.06% a comparación del concreto de referencia. Este resultado guarda relación con la investigación realizada por R. Anahua Apomayta y G. S. Quispe Canaza [32], quienes concluyeron que la incorporación del 0.05% de óxido de grafeno (GO) genera una penetrabilidad BAJA del ion cloruro, representando una disminución del 50.65% a diferencia de la muestra patrón que presentó una penetrabilidad MODERADA. No obstante, es necesario considerar el impacto que genera el incorporar grafeno en la trabajabilidad del concreto fresco. Al respecto, J. P. Flores Oriundo [33] afirma que la presencia de grafeno tiende a reducir la trabajabilidad del concreto, lo cual implica que su uso debe limitarse a dosis controladas que aseguren el

cumplimiento de los requisitos mínimos de asentamiento, de acuerdo con las especificaciones técnicas del proyecto o con las normativas vigentes.

✓ **Para el ensayo de capacidad de resistencia a la penetración de sulfatos**

Según el objetivo de analizar el efecto de la incorporación de NPG en concentraciones del 0.2%, 0.4% y 0.6% en la migración de sulfatos de sodio en el concreto, los resultados obtenidos indican una resistencia favorable de todas las adiciones trabajadas; sin embargo, se destaca que las concentraciones del 0.4% y 0.6% de NPG muestran mejores resultados, ya que presentan una menor expansión en comparación con la muestra de referencia. En la ilustración 38 se puede apreciar que al culminar la semana 15, la muestra patrón logró una expansión del 0.01%, mientras que los diseños del 0.2%, 0.4% y 0.6% de NPG presentaron expansiones reducidas del 0.0087%, 0.0057% y 0.0053% respectivamente. Estos resultados al ser comparados con los obtenidos en la investigación realizada por K. P. Rimarachin [12], muestran una tendencia similar, pues a la semana 15, la muestra patrón obtuvo una expansión del 0.0092%, mientras que la muestra con 0.27% NPG alcanzó una expansión del 0.0071%. Este valor se encuentra dentro del rango de expansión observado en la presente investigación (0.0087% - 0.0057%), lo que ratifica una buena concordancia entre ambos estudios. Además, la concentración de 0.27% NPG también oscila dentro de los límites de adición considerados de esta tesis (0.20% y 0.40%). Por lo tanto, se confirma que la adición de NPG en el concreto, mejora considerablemente su resistencia a los sulfatos. Finalmente, cabe destacar que todos los valores se encuentran debajo del rango máximo permisible establecido por la norma NTP 334.094, que especifica una expansión máxima del 0.01% para concretos elaborados con cemento portland. Por otro lado, es importante realizar ensayos mecánicos a estas muestras expuestas a soluciones de sulfato para determinar si su resistencia se mantiene o disminuye con el paso del tiempo. En este sentido, M. Montañez y G. Zavala [21] en su investigación afirman que, tras someter las muestras con 0.5% de grafeno en una concentración con sulfato de magnesio, la resistencia a compresión de estas muestras incrementó en un 27% a comparación de la muestra control, por lo que estos resultados sugieren que la incorporación de grafeno no solo contribuye a la durabilidad frente a agentes agresivos, sino que también puede mejorar las propiedades mecánicas del concreto aun estando bajo condiciones de exposición a sulfatos.

✓ **Análisis comparativo de costos para el concreto tradicional vs concreto con NPG**

Los resultados que responden al objetivo específico de estimar una evaluación económica comparativa entre el concreto con adición de grafeno y el concreto con el método tradicional, indican un aumento considerable de los costos a medida que se incrementa el porcentaje de adición a emplear. En la ilustración 35 se puede observar que el costo para 1m^3 de concreto sin adición de grafeno es de 469 soles, mientras que para un concreto con adición del 0.4% de NPG es de 1072 soles, lo que representa un incremento del 128%. Sin embargo, los ensayos realizados en esta investigación revelan una mejora en las propiedades del concreto con adición de NPG en comparación con un concreto tradicional, lo que permite concluir que la incorporación de NPG le brinda al concreto una mayor durabilidad e incrementa su resistencia a la compresión, pero un costo más elevado de lo normal. Es así como la justificación del incremento en el costo requiere de una evaluación exhaustiva y detallada de los beneficios a lo largo del tiempo que ofrece el uso de NPG en el concreto. Un claro ejemplo es que, al contar con un concreto menos poroso y más durable, este requerirá de un menor costo en mantenimientos. Además, es fundamental considerar la sostenibilidad y el aporte al cuidado del medio ambiente que genera el uso de este material para así poder tener un mayor análisis del costo - beneficio.

Conclusiones

En base a los resultados obtenidos en esta investigación, se concluye que todos los diseños con adición de NPG propuestos, generan un impacto positivo en las propiedades del concreto. De las tres concentraciones evaluadas, el diseño con 0.4% de NPG se destacó por presentar mejores resultados, alcanzando un $f'c$ de 284.7 kg/cm^2 a los 28 días de curado, además de una mejora notable en términos de durabilidad ofreciendo una mejora de su capacidad de resistencia frente al ataque de cloruros y sulfatos.

Los ensayos de resistencia a la compresión indicaron que, a un curado de 28 días, la muestra patrón alcanzó un $f'c$ de 213.5 kg/cm^2 , mientras que las adiciones del 0.2%, 0.4% y 0.6% de NPG registraron un $f'c$ de 247.9 kg/cm^2 , 284.7 kg/cm^2 y 227.5 kg/cm^2 correlativamente. Estos valores representan un incremento porcentual del 16.36%, 33.91% y 6.67% en contraste con el concreto de referencia, notando claramente que el diseño con la incorporación del 0.4% de NPG es el más favorable.

Por otro lado, para los ensayos del concreto endurecido, se apreció que el valor de la densidad para la muestra de control fue de 2260 kg/m^3 , mientras que para las adiciones del 0.2% y 0.4% redujeron a 2141 kg/m^3 y 1849 kg/m^3 , a diferencia de la adición del 0.6% que aumentó a 2217 kg/m^3 . De la misma forma, la muestra de control generó un porcentaje de absorción del 11.98%, a diferencia de las adiciones del 0.2% y 0.4% quienes presentaron una notable disminución con un valor de 11.48% y 11.06% respectivamente. Finalmente, también se aprecia una mejora en la reducción de poros del concreto con un valor de 24.16% de vacíos para la muestra de control, mientras que para los diseños en concentraciones del 0.2% y 0.4% de NPG arrojaron resultados decrecientes del 22.02% y 18.36% respectivamente.

Los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la difusión de iones cloruro indicaron que, a medida que aumenta el porcentaje de NPG, también aumenta su capacidad del concreto para resistir la difusión iónica de cloruros. En comparación con la muestra de referencia, los diseños con adición de grafeno mostraron una disminución de carga atravesada en porcentajes del 13.72%, 23.88% y 34.06% para los diseños con concentraciones del 0.2%, 0.4% y 0.6% de NPG respectivamente. Esto permite concluir que la incorporación de grafeno en el concreto contribuye en la mejora de su resistencia frente al ataque de iones cloruro.

Para el ensayo de durabilidad del concreto expuesto al sulfato de sodio, los resultados indicaron una resistencia favorable en todas las adiciones. Se observó al culminar la semana 15 una reducción en la expansión respecto a la muestra de referencia del 13%, 43% y 47% para los diseños con adiciones del 0,2%, 0.4% y 0.6% correlativamente, lo que confirma que el adicionar nanoplaquetas de grafeno en la mezcla de concreto, mejora considerablemente su resistencia frente a los sulfatos de sodio.

Los análisis de costos determinaron que el uso del grafeno no es económicamente viable a pesar de mejorar las propiedades tanto de resistencia como de durabilidad, pues para elaborar 1m³ de concreto con este nanomaterial el costo incrementa en un 64.2%, 128.4% y 192.6% para una adición del 0.2%, 0.4% y 0.6% respectivamente a diferencia de un concreto normal.

En general, se logró concluir que la incorporación de nanoplaquetas de grafeno en la fabricación del concreto aumenta su resistencia a la compresión y su durabilidad por lo que ofrece una mayor capacidad de resistencia contra el ataque de cloruros y sulfatos. Sin embargo, existe una desventaja relacionada con el costo de este material, lo cual plantea la necesidad de realizar una evaluación del balance costo – beneficio a largo plazo que conlleva el uso de este nanomaterial en el concreto. Entre los beneficios asociados a su uso, se incluyen la reducción de costos en mantenimientos a consecuencia de tener un concreto menos poroso y más durable, además de considerar su sostenibilidad y el aporte al cuidado del medio ambiente que generaría el uso de este material.

Recomendaciones

Utilizar equipos de protección personal como mascarilla, lentes y guantes al momento de manipular el grafeno. Esto debido a que, al tratarse de un material nanométrico, existe el riesgo de que estas partículas ingresen a los pulmones a través de las vías respiratorias o que se adhieran a la piel causando efectos adversos para la salud.

Aplicar algunos métodos de dispersión tales como equipos ultrasónicos o de cizallamiento, para de esta forma lograr una incorporación más efectiva de este nanomaterial en la mezcla del concreto. Esto generaría una dispersión homogénea de NPG, lo que podría resultar en mejoras significativas en cuanto a la resistencia y durabilidad del concreto.

Realizar nuevas investigaciones comparando la influencia de este nanomaterial en diversas relaciones agua – cemento. Este tipo de estudios podría permitir la optimización del porcentaje idóneo de NPG, contribuyendo a la reducción de los costos asociados con su uso.

Es recomendable realizar ensayos adicionales de durabilidad que respalden la afirmación de que el uso de este nanomaterial mejora notablemente las propiedades del concreto en su estado endurecido, lo que proporcionaría un análisis más preciso de la relación costo – beneficio.

Almacenar los materiales como los agregados y el cemento, en ambientes adecuados ya que las características de estos insumos afectan directamente al diseño de mezcla, influenciando las propiedades finales del concreto.

Referencias

- [1] Asocem, «Indicadores internacionales de cemento al 2018», Asocem. Accedido: 24 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/42FVYIH>
- [2] A. Adesina, «Recent advances in the concrete industry to reduce its carbon dioxide emissions», *Environmental Challenges*, vol. 1, p. 100004, dic. 2020, doi: [10.1016/j.envc.2020.100004](https://doi.org/10.1016/j.envc.2020.100004).
- [3] O. Hernández-Castañeda y C. J. Mendoza-Escobedo, «Durabilidad e infraestructura: retos e impacto socioeconómico», *Ingeniería, investigación y tecnología*, vol. 7, n.º 1, pp. 57-70, mar. 2006.
- [4] J. Buffenbarger, «Durability of Concrete Structures. Emphasis on Corrosion and Reaching Specified Services Lives with Corrosion Inhibitors. Concrete Technology Update, Issue, No. 1, July. Máster Builders Technologies, Inc», 1998.
- [5] Adam Neville, «Maintenance and Durability of Structures», *Concrete International*, vol. 19, n.º 11, pp. 52-56, ene. 1997.
- [6] L. Aquino, «Las tres posibles zonas donde podría registrarse terremoto de 8.8 en Perú, según IGP». Accedido: 18 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://bit.ly/43VQjKE>
- [7] «Sismos reportados - Instituto Geofísico del Perú». Accedido: 5 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ultimosismo.igp.gob.pe/ultimo-sismo/sismos-reportados>
- [8] «agua de mar – El blog de Víctor Yepes». Accedido: 19 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/agua-de-mar/>
- [9] J. L. García-Bello et al., «Grafeno: producción, caracterización y aplicaciones», *Tecnología Química*, vol. 43, n.º 1, pp. 59-80, abr. 2023.
- [10] Graphene Group, «El grafeno: propiedades y aplicaciones». julio de 2017. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3XX7sPm>
- [11] L. Choque Flores, «Mejoramiento de las propiedades mecánicas del concreto $f'c = 210$ kg/cm², agregando grafeno», Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima - Perú, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/40bIAq7>
- [12] K. P. G. Rimarachin, «Evaluación del comportamiento de las propiedades físico-mecánicas de concreto de alta resistencia $F'c = 500$ kg/cm², incorporando nanoplaquetas de grafeno con aplicación de ondas ultrasónicas», Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, 2024. [En línea]. Disponible en: <http://bit.ly/3RT5M74>
- [13] R. L. Quiroz y C. J. C. Hidalgo, «Evaluación de la Influencia del grafeno en las propiedades del concreto – Lima, 2024», Universidad Tecnológica del Perú, Lima - Perú, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12867/9586>

- [14] H. Yang, M. Monasterio, H. Cui, y N. Han, «Experimental study of the effects of graphene oxide on microstructure and properties of cement paste composite», *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 102, pp. 263-272, nov. 2017, doi: [10.1016/j.compositesa.2017.07.022](https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2017.07.022).
- [15] Z. Jiang, O. Sevim, y O. E. Ozbulut, «Mechanical properties of graphene nanoplatelets-reinforced concrete prepared with different dispersion techniques», *Construction and Building Materials*, vol. 303, p. 124472, oct. 2021, doi: [10.1016/j.conbuildmat.2021.124472](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124472).
- [16] S. P. Dalal y P. Dalal, «Experimental Investigation on Strength and Durability of Graphene Nanoengineered Concrete», *Construction and Building Materials*, vol. 276, p. 122236, mar. 2021, doi: [10.1016/j.conbuildmat.2020.122236](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122236).
- [17] L. Li, Q. Zheng, B. Han, y J. Ou, «Fatigue behaviors of graphene reinforcing concrete composites under compression», *International Journal of Fatigue*, vol. 151, p. 106354, oct. 2021, doi: [10.1016/j.ijfatigue.2021.106354](https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2021.106354).
- [18] H. Du y S. D. Pang, «Dispersion and stability of graphene nanoplatelet in water and its influence on cement composites», *Construction and Building Materials*, vol. 167, pp. 403-413, abr. 2018, doi: [10.1016/j.conbuildmat.2018.02.046](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.046).
- [19] F. I. Ismail et al., «The behavior of graphene-nanoplatelets-based high-performance concrete under ambient curing», *Structures*, vol. 47, pp. 694-708, ene. 2023, doi: [10.1016/j.istruc.2022.11.086](https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.11.086).
- [20] D. E. Bartra, «Evaluación de la influencia del grafeno como aditivo nanotecnológico para mejorar la resistencia del concreto $f'c$ 210 kg/cm² Tarapoto, 2018», Cesar Vallejo, Tarapoto - Perú, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3XTpC4D>
- [21] B. M. Montañez y A. G. Zavala, «Análisis de la Influencia del grafeno en la propiedad de durabilidad del concreto $f'c=210$ kg/cm² Lima - 2020», Cesar Vallejo, Lima - Perú, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/58431>
- [22] J. E. Ortega García, *Diseño de estructuras de Concreto Armado*, vol. I. Lima - Perú: Macro EIRL, 2015.
- [23] G. Ottazzi Pasino, «Material de Apoyo para la Enseñanza de los Cursos de Diseño y Comportamiento del Concreto Armado», Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima - Perú, 2004. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3XXzDh6>
- [24] A. A. Espinoza Montenegro, «Estudio de dosificación de hormigón de ultra-alta resistencia, basado en el empaquetamiento de los áridos», masters, E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM), 2010. [En línea]. Disponible en: <https://oa.upm.es/4511/>
- [25] «Standard Specification for Portland Cement». <https://bit.ly/3XVL4WH>

- [26] Asocem, «Estadísticas Nacionales», Asocem. Accedido: 7 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3UYrpoE>
- [27] «NTP 400.011 2008», INACAL portal. Accedido: 7 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3OaKNL8>
- [28] R. M. Rodríguez, «El Concreto Fundamentos y nuevas tecnologías», p. 266.
- [29] F. Díaz del Catillo Rodríguez, Introducción a los Nanomateriales. Cuautitlán Izcalli: 2012. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3Lp95gA>
- [30] F. Muñoz Salinas y C. J. Mendoza Escobedo, «La durabilidad en las estructuras de concreto reforzado desde la perspectiva de la norma española para estructuras de concreto», *Concreto y cemento. Investigación y desarrollo*, vol. 4, n.o 1, pp. 63-86, dic. 2012.
- [31] O. Hernández González, «Aproximación a los distintos tipos de muestreo no probabilístico que existen», *Revista Cubana de Medicina General Integral*, vol. 37, n.º 3, sep. 2021, Accedido: 8 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3CKwZEO>
- [32] R. Anahua Apomayta y G. S. Quispe Canaza, «Influencia del óxido de grafeno en la resistencia a la corrosión del concreto, Puno 2024», Universidad Cesar Vallejo, Lima - Perú, 2024.
- [33] J. P. Flores Oriundo y J. C. Vasquez Salas, «NANOPARTÍCULAS DE GRAFENO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL CONCRETO», Universidad Ricardo Palma, Lima - Perú, 2022. [En línea]. Disponible en: <http://bit.ly/43vRfU4>

Anexos

ANEXO 01: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO PACASMAYO PORTLAND TIPO MS

Cemento Fortimax

Tipo MS (MH) - Cemento Hidráulico de moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación

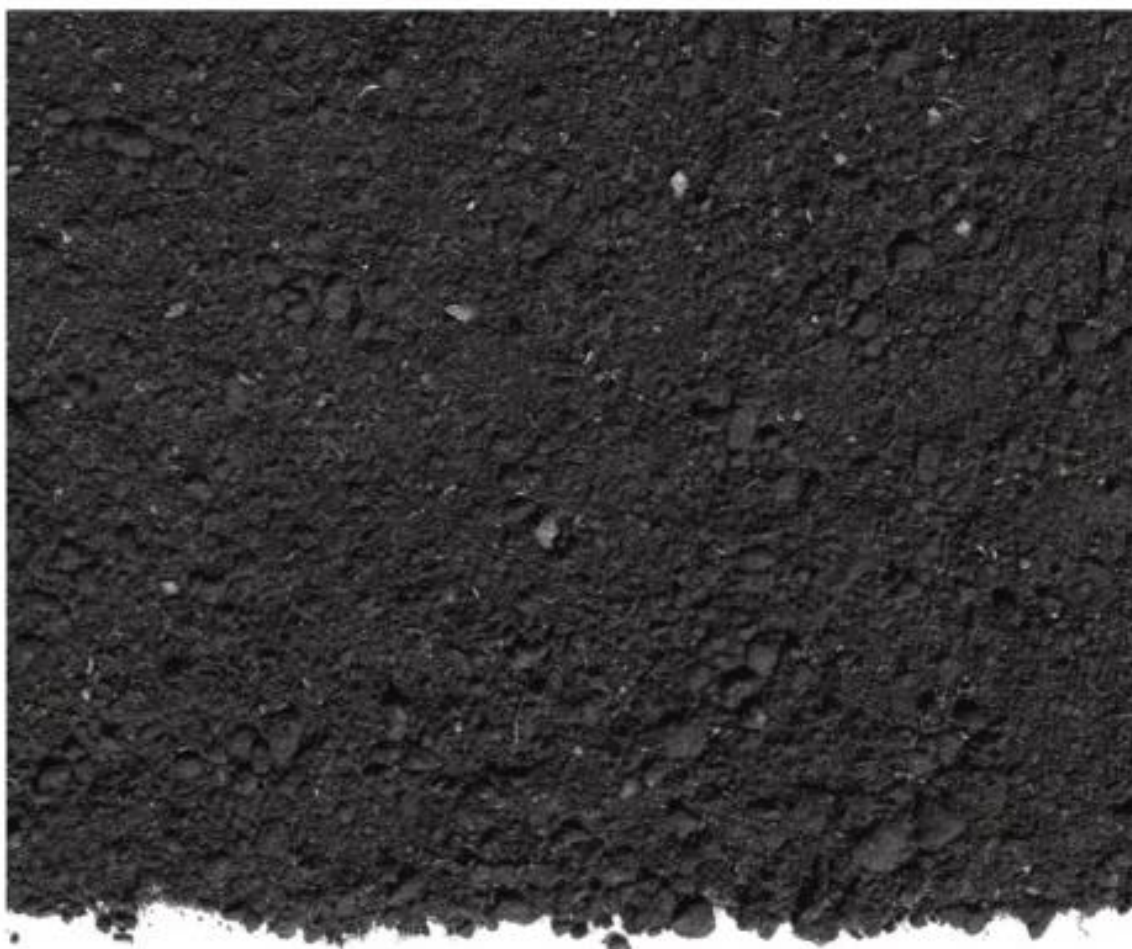
Requisitos normalizados - NTP 334.082 / ASTM C1157

REQUISITOS FÍSICOS

ENSAYOS	TIPO	VALOR	UNIDAD	NORMAS DE ENSAYO	RESULTADOS*
Finura					
Superficie específica	-	-	cm ² /g	NTP 334.002	5150
Retenido M325	-	-	%	NTP 334.045	1.9
Densidad	-	-	g/cm ³	NTP 334.005	2.93
Contenido de aire	Máximo	12	%	NTP 334.048	5
Expansión en autoclave	Máximo	0.80	%	NTP 334.004	0.03
Resistencia a la compresión					
3 días	Mínimo	11.0 (1600)	MPa (psi)	NTP 334.051	21.7 (3150)
7 días	Mínimo	18.0 (2610)	MPa (psi)	NTP 334.051	29.7 (4310)
28 días**	Mínimo	28.0 (4060)	MPa (psi)	NTP 334.051	41.4 (6010)
Tiempo de Fraguado Vicat					
Fraguado inicial	Mínimo	45	Minutos	NTP 334.006	181
Fraguado final	Máximo	420	Minutos	NTP 334.006	292
Expansión Barra de mortero a 14 días	Máximo	0.020	%	NTP 334.093	0.005
Expansión por sulfatos a 6 meses	Máximo	0.10	%	NTP 334.094	0.03
Calor de hidratación a 3 días	Máximo	335	kJ/kg	NTP 334.171	252

*Valores promedios referenciales de lotes despachados / **Requisito opcional

El cemento descrito arriba, al tiempo del envío, cumple con los requisitos físicos de la NTP 334.082 y la ASTM C1157.

ANEXO 02: FICHA TÉCNICA DE LAS NANOPLAQUETAS DE GRAFENO**Product Description****Graphene Powder**

Brand	XFNANO		
Product series	High quality graphene series		
Name	99% pure thin-layer nanoscale graphene nanoplates		
Item	XFQ024	Conductivity	800-1100 S/cm
Colors	Black powder	Apparent Density	0.06-0.09 g/cm ³
Thickness	1-6nm	Tap Density	0.10-0.15 g/cm ³
SSA	~18.4 m ² /g	Diameter	1-2um

Especificación esencial de la industria

Uso	Battery,composites,coating,supercondensator
Composición Química	3-8 layers Graphene Nano Powder

Otros atributos

Lugar del origen	Jiangsu, China
Marca	XFNANO
Número de Modelo	XFQ024
Product name	Industrial Grade 3-8 layers Graphene Nano Powder
Appearance	Black Gray Powder
Conductivity	800-1100 S/cm
Apparent density	0.05-0.09 g/cm ³
Tap Density	0.08-0.15 g/cm ³
Diameter	2-7 um
Thickenss	2-6 nm

Embalaje y entrega

Paquete	Grado Industrial 3-8 capas de grafeno Nanoplatelets en polvo precio de fábrica para Nano revestimientos 500 gramos/1000 gramos por paquete
Unidades de venta:	Un solo artículo
Tamaño de paquete único:	30X20X20 cm
Peso bruto único:	1.000 kg



ANEXO 03: VALIDACIÓN DE ENSAYOS – LABORATORIO USAT

UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

- LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIENTOS
- CONCRETO Y ASFALTO

INFORME N° LEM USAT 033-2025-I

FECHA: 21 de mayo 2025

VALIDACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ESTUDIANTE: Llontop Rodríguez Franklin

TITULO DE LA TESIS: Evaluación de la influencia de nanoplaquetas de grafeno en la resistencia a la compresión y durabilidad del concreto.

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

- Análisis granulométrico del agregado fino y grueso
- Peso específico y absorción del agregado fino y grueso
- Peso unitario del agregado grueso y fino
- Contenido de humedad
- Diseño de mezcla $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ – ACI 211
- Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de muestras cilíndricas de concreto – ASTM C 39
- Método de prueba estándar para densidad, absorción y vacíos en el concreto endurecido – ASTM C 642
- Método de prueba estándar para la indicación eléctrica de la capacidad del hormigón para resistir la penetración de iones cloruro – ASTM C 1202
- Método normalizado para determinar el cambio de longitud en morteros de cemento Portland expuestos a soluciones sulfatadas – NTP 334.094

Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.

Observación: Adjunto



Henry Rivadeneyra Oblitas
 Responsable de Lab Ing. Civil Ambiental

TECNICO DE LABORATORIO

ANEXO 04: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO



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

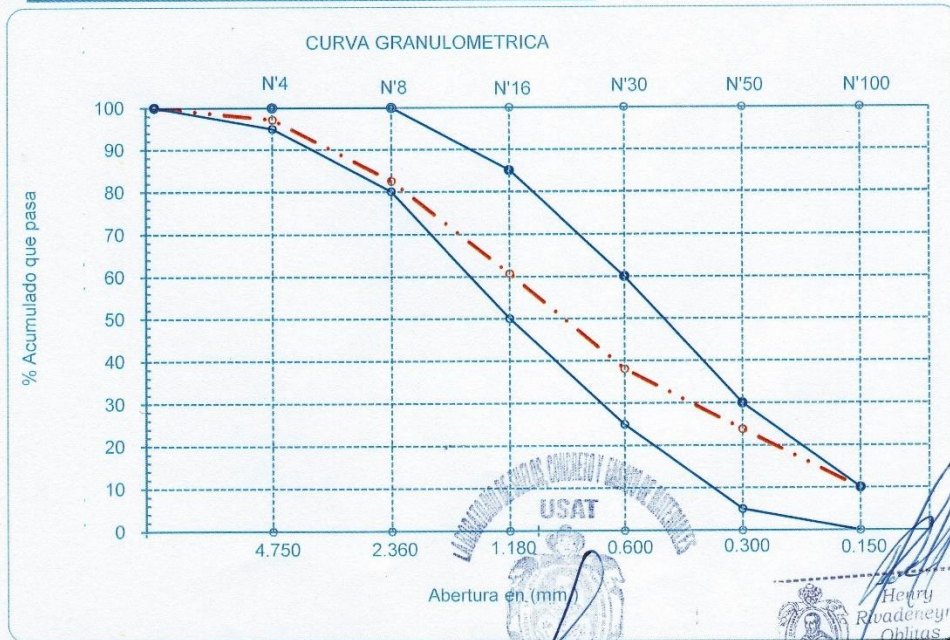


Tesista : Liontop Rodriguez Franklin Jesús
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Evaluación de influencia de nanoplaquetas de grafeno en la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 21 de Mayo del 2025

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

Cantera : Cantera La Victoria-Pátapo. **P. Inicial H.** 588.1 **% de Humedad =** 1.40
P. Inicial S. 580.0

Malla		Peso Ret.	(%) Ret.	(%) Acum. Ret.	(%) Acum. Que Pasa	Especificaciones:	
Pulg.	(mm.)					100	100
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	16.5	2.8	2.8	97.2	95	100
Nº 08	2.360	85.2	14.7	17.5	82.5	80	100
Nº 16	1.180	126.4	21.8	39.3	60.7	50	85
Nº 30	0.600	131.5	22.7	62.0	38.0	25	60
Nº 50	0.300	82.6	14.2	76.2	23.8	5	30
Nº 100	0.150	80.7	13.9	90.2	9.8	0	10
Fondo		57.1	9.8	100.0	0.0		
Módulo de Fineza				2.88			
Abertura de malla de referencia				4.75			



TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivasneyra Obitas
 Tec. Laboratorio USAT
 Universidad Católica

ANEXO 05: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO



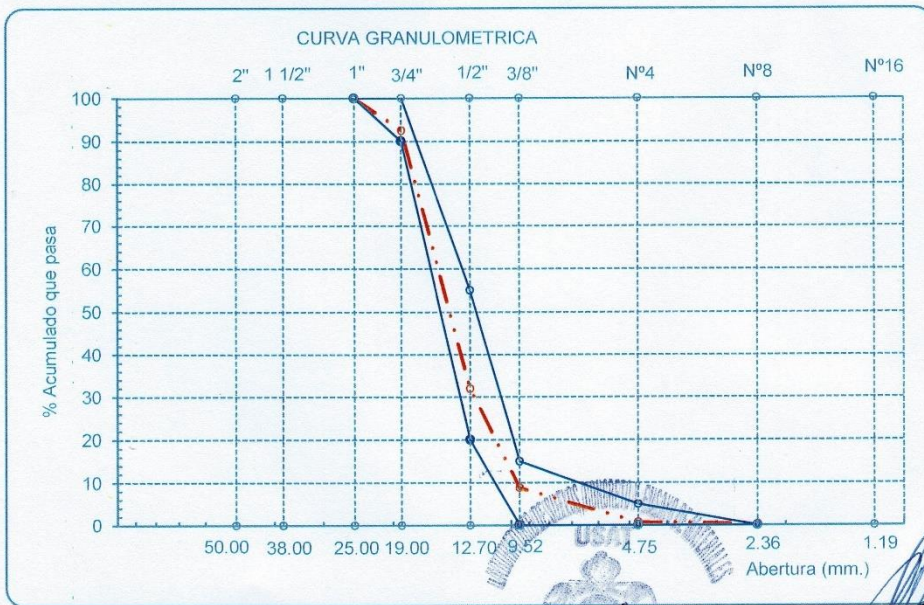
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERILES



Tesista : Llontop Rodriguez Franklin Jesús
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Evaluación de influencia de nanoplaquetas de grafeno en la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 21 de Mayo del 2025
Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso
Referencia : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

Cantera : Cantera La Victoria-Pátapo. **P. Inicial H.** 5018.2 **% de**
P. Inicial S. 5000 **Humedad =** 0.36

Malla		Peso Ret.	(%) Ret.	(%) Acum. Ret.	(%) Acum. Que Pasa	Especificaciones USO 06	
Pulg.	(mm.)						
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
1"	25.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
3/4"	19.00	377.0	7.5	7.5	92.5	90.0	100.0
1/2"	12.70	3030.0	60.6	68.1	31.9	20.0	55.0
3/8"	9.52	1155.0	23.1	91.2	8.8	0.0	15.0
Nº 04	4.75	408.0	8.2	99.4	0.6	0.0	5.0
Nº 08	2.36	16.0	0.3	99.7	0.3	0.0	0.0
Nº 16	1.19	0.0	0.0	99.7	0.3	0.0	0.0
Fondo		14.0	0.3	100.0	0.0		
Tamaño Maximo		1"		25.00			
Tamaño Maximo Nominal		3/4"		19.00			



TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

ANEXO 06: PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO FINO

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



Tesista : Llontop Rodriguez Franklin Jesús
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Evaluación de influencia de nanoplaquetas de grafeno en la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 21 de Mayo del 2025

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

Cantera : Cantera La Victoria-Pátapo.

1.- PESO UNITARIO SUELTO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	19020	18920	19000
2.- Peso del recipiente	(gr.)	10260	10260	10260
3.- Peso del material	(gr.)	8760	8660	8740
4.- Constante ó Volumen	(cm ³)	5301	5301	5301
5.- Peso unitario suelto húmedo	(g/cm ³)	1.652	1.634	1.649
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m ³)		1645	

2.- PESO UNITARIO COMPACTADO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	20060	20110	20110
2.- Peso del recipiente	(gr.)	10260	10260	10260
3.- Peso del material	(gr.)	9800	9850	9850
4.- Constante ó Volumen	(cm ³)	5301	5301	5301
5.- Peso unitario compactado húmedo	(g/cm ³)	1.849	1.858	1.858
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m ³)		1855	



Henry Rivadeneira Oblitas
Téc. Laboratorio USAT

ANEXO 07: PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO

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



Tesista : Llontop Rodriguez Franklin Jesús
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Evaluación de influencia de nanoplaquetas de grafeno en la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 21 de Mayo del 2025

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

Cantera : Cantera La Victoria-Pátapo.

A.- PESO UNITARIO SUELTO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	17990	18000	17870
2.- Peso del recipiente	(gr.)	10080	10080	10080
3.- Peso del material	(gr.)	7910	7920	7790
4.- Constante ó Volumen	(cm ³)	5301	5301	5301
5.- Peso unitario suelto húmedo	(g/cm ³)	1.492	1.494	1.469
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m ³)		1485	

B.- PESO UNITARIO COMPACTADO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	18850	18750	18720
2.- Peso del recipiente	(gr.)	10080	10080	10080
3.- Peso del material	(gr.)	8770	8670	8640
4.- Constante ó Volumen	(cm ³)	5301	5301	5301
5.- Peso unitario compactado húmedo	(g/cm ³)	1.654	1.635	1.630
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m ³)		1640	



Henry Rivadeneira Oblitas
Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT



ANEXO 08: PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO Y GRUESO

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



Tesista : Llontop Rodriguez Franklin Jesús
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Evaluación de influencia de nanoplaquetas de grafeno en la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 21 de Mayo del 2025

Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado fino

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

Cantera : Cantera La Victoria-Pátapo.

I.- Datos.

1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + Peso del Agua	(g)	996.1	996.1
2.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	692.0	692.0
3.- Peso del Agua	(g)	304.1	304.1
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasco	(g)	688.7	688.7
5.- Peso del Frasco	(g)	192.0	192.0
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	496.7	496.7
7.- Volumen del frasco	(cm ³)	500	500

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.54
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.55
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.58
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.67

Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado grueso

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

Cantera : Cantera La Victoria-Pátapo.

I.- Datos.

1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	3980	3980
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	4013	4013
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso del canastilla	(g)	3430	3430
4.- Peso de la canastilla	(g)	880	880
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	2550	2550

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.72
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.74
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.79
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.83



ANEXO 09: CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO Y GRUESO

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



Tesista : Llontop Rodriguez Franklin Jesús
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Evaluación de influencia de nanoplaquetas de grafeno en la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 21 de Mayo del 2025

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

Cantera : Cantera La Victoria-Pátapo.

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	500	500	500
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	497.9	498	497.8
C.- Contenido de agua	(gr.)	2.1	2.0	2.2
D.- Contenido de humedad	(%)	0.42	0.40	0.44
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)		0.42	

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

Cantera : Cantera La Victoria-Pátapo.

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	3000	3000	3000
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	2984.6	2984.8	2984.3
C.- Contenido de agua	(gr.)	15.4	15.2	15.7
D.- Contenido de humedad	(%)	0.52	0.51	0.53
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)		0.52	

Observaciones :

Henry Rivadeneira Cobinas
Téc. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
TÉCNICO DE LABORATORIO

ANEXO 10: PROCEDIMIENTO PARA EL CALCULO DEL DISEÑO DE MEZCLA

Se llevó a cabo un diseño de mezcla de concreto (Sin aire incorporado) para una resistencia de diseño de 210 kg/cm² empleando la metodología ACI 211.

✓ Datos de los agregados:

Agregado fino: Cantera "La victoria"

Módulo de fineza:	2.88
Tamaño máximo nominal:	-----
Peso Unitario Suelto:	1645 kg/m ³
Peso Unitario Compactado:	1855 kg/m ³
Peso específico:	2535 kg/m ³
Contenido de absorción:	0.67 %
Contenido de humedad:	0.42 %

Agregado grueso: Cantera "La victoria"

Módulo de fineza:	6.97
Tamaño máximo nominal:	¾" pulg.
Peso Unitario Suelto:	1485 kg/m ³
Peso Unitario Compactado:	1640 kg/m ³
Peso específico:	2720 kg/m ³
Contenido de absorción:	0.83 %
Contenido de humedad:	0.52 %

✓ Datos del cemento:

Marca del cemento:	Pacasmayo
Tipo de cemento:	Tipo MS
Peso específico:	2930 kg/m ³

✓ Datos del agua:

Tipo de Agua:	Potable
Peso específico:	1000 kg/m ³

○ Paso 01: Estimación de la resistencia requerida promedio (f'_{cr}):

Tabla 11: Resistencia promedio requerida a la compresión

Resistencia especificada a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia promedio requerida a la compresión (kg/cm ²)
$f'_c < 210$	$f'_{cr} = f'_c + 70$
$210 \leq f'_c \leq 350$	$f'_{cr} = f'_c + 85$
$f'_c > 350$	$f'_{cr} = 1.1 f'_c + 50$

Fuente: RNE E.060

Entonces la resistencia requerida promedio será:

$$f'_{cr} = f'_c + 85$$

$$f'_{cr} = 210 + 85$$

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

- **Paso 02:** Elección del asentamiento (Slump): Se seleccionó un slump de 4 pulgadas.

Tabla 12: Asentamiento recomendado según consistencia

Tipos de estructuras	Slump	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación	3"	1"
Cimentaciones simples y calzaduras	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas	4"	1"
Losas y Pavimentos	3"	1"
Concreto Ciclópeo	2"	1"

Fuente: ACI 211.1-91 (Tabla 6.3.1 diseño de mezcla)

- **Paso 03:** Cantidad de agua a emplear: Según el tamaño nominal del agregado grueso y el asentamiento elegido en el paso anterior, se procede a encontrar la cantidad de contenido de agua que sería de 205 litros.

Tabla 13: Contenido de agua según asentamiento y TMN del Agregado grueso

Asentamiento	Tamaño máximo nominal de agregado grueso							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	...
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	...

Fuente: ACI 211.1-91 (Tabla 6.3.2 diseño de mezcla)

- **Paso 04:** Cantidad en % de aire atrapado: El contenido de aire atrapado es de 2% según el Tamaño máximo nominal de nuestro agregado

Tabla 14: Contenido de aire atrapado según TMN

Tamaño máximo nominal	% de Aire atrapado
3/8"	3.0
1/2"	2.5
3/4"	2.0
1"	1.5
1 1/2"	1.0
2"	0.5
3"	0.3
6"	0.2

Fuente: ACI 211. 1-91 (Tabla 6.3.3 diseño de mezcla)

- **Paso 05:** Valor de la relación agua/cemento diseñado por resistencia (a/c):

Tabla 15: Relación agua/cemento según resistencia requerida (f'_{cr})

Resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm ²)	Relación agua/cemento de diseño en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	...
450	0.38	...

Fuente: ACI 211. 1-91 (Tabla 6.3.4 diseño de mezcla)

Entonces interpolando los valores, tendremos lo siguiente:

$$\begin{array}{r}
 250 \text{ ----- } 0.62 \\
 \mathbf{295} \text{ ----- } \mathbf{x} \\
 300 \text{ ----- } 0.55
 \end{array}
 \quad \rightarrow \quad \mathbf{x = 0.56 \text{ a/c}}$$

- **Paso 06:** Determinación de la cantidad de cemento:

$$\frac{205}{C} = 0.56$$

$$C = \mathbf{368.043 \text{ kg}}$$

- **Paso 07:** Determinación del contenido de agregado grueso

Tabla 16: Volumen de ag. grueso, seco y compactado por unidad de volumen del concreto

Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso	Volumen del ag. Grueso, seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos de finura del ag. Fino (b/b_0)			
	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. 1-91 (Tabla 6.3.6 diseño de mezcla)

Entonces interpolando los valores, tendremos lo siguiente:

$$\begin{array}{r}
 2.80 \text{ ----- } 0.62 \\
 \mathbf{2.88} \text{ ----- } \mathbf{x} \\
 3.00 \text{ ----- } 0.60
 \end{array}
 \quad \rightarrow \quad \mathbf{x = 0.612 \text{ b/b}_0}$$

Peso del agregado grueso: $(0.612 \times \text{peso seco compactado}) = 0.612 \times 1640 = \mathbf{1003.4 \text{ kg}}$

- **Paso 08:** Determinación del volumen absoluto por m³:

$$* \text{ Cemento} = \frac{368.04 \text{ kg}}{2930 \text{ kg/m}^3} = 0.126 \text{ m}^3$$

$$* \text{ Agua} = \frac{205.00 \text{ lts}}{1000 \text{ lts/m}^3} = 0.205 \text{ m}^3$$

$$* \text{ Aire} = 2.00 \% = 0.020 \text{ m}^3$$

$$* \text{ Ag. Gru\~{n}e} = \frac{1003.39 \text{ kg}}{2716 \text{ kg/m}^3} = 0.369 \text{ m}^3$$

$$\text{Suma Total} = 0.719 \text{ m}^3$$

- **Paso 09:** Cálculo del volumen del agregado fino por m³:

$$* \text{ Ag. Fino} = 1 - 0.719 = 0.281 \text{ m}^3$$

- **Paso 10:** Determinación del peso del agregado fino:

$$* \text{ Peso del Ag. Fino} = 0.281 \text{ m}^3 \times 2534.81 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso del Ag. Fino} = 711.14 \text{ kg}$$

- **Paso 11:** Proporcionamiento del diseño (en condiciones secas):

$$* \text{ Cemento} : 368.04 \text{ kg/m}^3$$

$$* \text{ Agua} : 205 \text{ lts}$$

$$* \text{ Agregado fino} : 711.14 \text{ kg/m}^3$$

$$* \text{ Agregado grueso} : 1003.39 \text{ kg/m}^3$$

- **Paso 12:** Determinación de la corrección por humedad que tienen los agregados:

$$\text{Peso en estado seco} \times ((W\% / 100) + 1)$$

$$* \text{ Agregado fino} : 711.14 \times ((0.42 / 100) + 1)$$

$$\text{Agregado fino} : 714.14 \text{ kg/m}^3$$

$$* \text{ Agregado grueso} : 1003.39 \times ((0.52 / 100) + 1)$$

$$\text{Agregado grueso} : 1008.58 \text{ kg/m}^3$$

- **Paso 13:** Aporte de agua a la mezcla:

$$((W\% - \% \text{ abs}) \times \text{Peso agregado seco}) / 100$$

$$* \text{ Agregado fino} : ((0.42 - 0.67) \times 711.14) / 100$$

$$\text{ Agregado fino} : -1.77 \text{ lts}$$

$$* \text{ Agregado grueso} : ((0.52 - 0.83) \times 1003.39) / 100$$

$$\text{ Agregado grueso} : -3.13 \text{ lts}$$

$\rightarrow \text{ Suma total} : -4.90 \text{ lts}$
--

- **Paso 14:** Agua efectiva:

$$* \text{ Agua} : 205 \text{ lts} - (-4.90 \text{ lts})$$

$$\text{ Agua} : 209.90 \text{ lts}$$

- **Paso 15:** Proporcionamiento del diseño (en condiciones húmedas):

$$* \text{ Cemento} : 368.04 \text{ kg/m}^3$$

$$* \text{ Agua} : 209.90 \text{ lts}$$

$$* \text{ Agregado fino} : 714.14 \text{ kg/m}^3$$

$$* \text{ Agregado grueso} : 1008.58 \text{ kg/m}^3$$

- **Paso 16:** Dosificación en peso (en condiciones húmedas):

$$\text{Cemento} : \text{ Ag. fino} : \text{ Ag. grueso} : \text{ Agua}$$

$$1 : 1.94 : 2.74 : 24.24 \text{ lts/bls}$$

- **Paso 17:** Dosificación en volumen (en condiciones húmedas):

$$\text{Cemento} : \text{ Ag. fino} : \text{ Ag. grueso} : \text{ Agua}$$

$$1 : 1.77 : 2.77 : 24.24 \text{ lts/bls}$$

- **Paso 18:** Cantidades de materiales por m³ de concreto:

Tabla 62: Diseño de mezcla para concreto patrón

Diseño para muestra control	
Materiales	Cantidad por m³
Agregado grueso	1008.58 kg
Agregado fino	714.14 kg
Cemento	368.04 kg
Agua	209.90 kg
Grafeno	0.00 kg

Tabla 63: Diseño de mezcla para concreto 0.2% NPG

Diseño para muestra con 0.2% NPG	
Materiales	Cantidad por m³
Agregado grueso	1008.58 kg
Agregado fino	714.14 kg
Cemento	368.04 kg
Agua	209.90 kg
Grafeno	0.74 kg

Tabla 64: Diseño de mezcla para concreto 0.4% NPG

Diseño para muestra con 0.4% NPG	
Materiales	Cantidad por m³
Agregado grueso	1008.58 kg
Agregado fino	714.14 kg
Cemento	368.04 kg
Agua	209.90 kg
Grafeno	1.47 kg

Tabla 65: *Diseño de mezcla para concreto 0.6% NPG*

Diseño para muestra con 0.6% NPG	
Materiales	Cantidad por m³
Agregado grueso	1008.58 kg
Agregado fino	714.14 kg
Cemento	368.04 kg
Agua	209.90 kg
Grafeno	2.21 kg

ANEXO 11: DISEÑO DE MEZCLA



Tesista

Escuela

Tesis

Lugar

Fecha de emisión

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



Liontop Rodriguez Franklin Jesús

Escuela de Ingeniería Civil

Evaluación de influencia de nanoplaquetas de grafeno en la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto

Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.

Chiclayo, 21 de Mayo del 2025

DISEÑO DE MEZCLA (Sin aire incorporado)

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

CEMENTO:

- 1.- Tipo de cemento : Cemento Pacasmayo TIPO MS
2.- Peso específico : 2930 Kg/m³

AGREGADOS :

Agregado fino :

Cantera : Cantera La Victoria-Pátapo.

- | | |
|------------------------------------|-------------------------|
| 1.- Peso específico de masa | 2.54 gr/cm ³ |
| 2.- Peso específico de masa S.S.S. | 2.55 gr/cm ³ |
| 3.- Peso unitario suelto | 1645 Kg/m ³ |
| 4.- Peso unitario compactado | 1855 Kg/m ³ |
| 5.- % de absorción | 0.67 % |
| 6.- Contenido de humedad | 0.42 % |
| 7.- Módulo de fineza | 2.88 |

Agregado grueso :

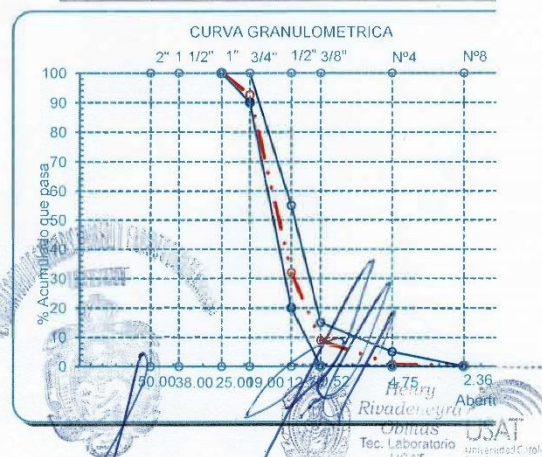
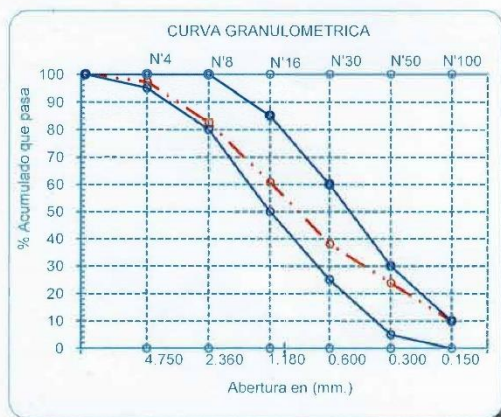
Cantera : Cantera La Victoria-Pátapo.

- | | |
|------------------------------------|------|
| 1.- Peso específico de masa | 2.72 |
| 2.- Peso específico de masa S.S.S. | 2.74 |
| 3.- Peso unitario suelto | 1485 |
| 4.- Peso unitario compactado | 1640 |
| 5.- % de absorción | 0.83 |
| 6.- Contenido de humedad | 0.52 |
| 7.- Tamaño máximo | 1" |
| 8.- Tamaño máximo nominal | 3/4" |

Granulometría :

Malla	% Retenido	% Acumulado que pasa
3/8"	0.0	100.0
Nº 04	2.8	97.2
Nº 08	14.7	82.5
Nº 16	21.8	60.7
Nº 30	22.7	38.0
Nº 50	14.2	23.8
Nº 100	13.9	9.8
Fondo	9.8	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"	7.5	92.5
1/2"	60.6	31.9
3/8"	23.1	8.8
Nº 04	8.2	0.6
Nº 08	0.3	0.3
Nº 16	0.0	0.3
Fondo	0.3	0.0



TÉCNICO DE LABORATORIO



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



Tesista : Llontop Rodríguez Franklin Jesús
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Evaluación de influencia de nanoplaquetas de grafeno en la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 21 de Mayo del 2025

DISEÑO DE MEZCLA (Sin aire incorporado) $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Resultados del diseño de mezcla :

Asentamiento obtenido	:	4 Pulgadas
Peso unitario del concreto fresco	:	2362 Kg/m ³
Resistencia promedio a los 3 días	:	109 Kg/cm ²
Porcentaje promedio a los 3 días	:	52 %
Resistencia promedio a los 7 días	:	174 Kg/cm ²
Porcentaje promedio a los 7 días	:	83 %
Factor cemento por M ³ de concreto	:	8.66 bolsas/m ³
Relación agua cemento de diseño	:	0.56

Cantidad de materiales por metro cúbico :

Cemento	368 Kg/m ³	:	Cemento Pacasmayo TIPO MS		
Agua	210 L	:	Agua Potable de la Universidad.		
Agregado fino	714 Kg/m ³	:	Cantera La Victoria-Pátapo.		
Agregado grueso	1009 Kg/m ³	:	Cantera La Victoria-Pátapo.		
Proporción en peso :	Cemento	Arena	Piedra	Agua	Lts/bls
	1.00	1.94	2.74	24.24	
Proporción en volumen :	1.00	1.77	2.77	24.24	Lts/bls



Henry Rivadeneira Oblitas
 Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

ANEXO 12: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PATRÓN

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



Tesista : Llontop Rodríguez Franklin Jesús
 Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
 Tesis : Evaluación de influencia de nanoplaquetas de grafeno en la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto
 Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 20 de Mayo del 2025

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

Registro de probetas: Concreto patrón

N° de muestra	Edad (días)	Fecha		Diámetro cm	Área cm ²	Cargas		Diseño: f'c kg/cm ²	Porcentaje (%)	Promedio	
		Vaciado	Rotura			kg	kg/cm ²			Kg/cm ²	(%)
P-01	7	25/09/2024	2/10/2024	10	78.54	12205.2	155.4	210	74.00	174.1	82.88
P-02		25/09/2024	2/10/2024	10	78.54	13040.9	166.0	210	79.07		
P-03		25/09/2024	2/10/2024	10	78.54	14059.6	179.0	210	85.24		
P-04		25/09/2024	2/10/2024	10	78.54	12377.0	157.6	210	75.04		
P-05		25/09/2024	2/10/2024	10	78.54	13575.6	172.8	210	82.31		
P-06		25/09/2024	2/10/2024	10	78.54	13831.8	176.1	210	83.86		
P-07		25/09/2024	2/10/2024	10	78.54	13940.6	177.5	210	84.52		
P-08		25/09/2024	2/10/2024	10	78.54	14386.3	183.2	210	87.22		
P-09		25/09/2024	2/10/2024	10	78.54	14601.8	185.9	210	88.53		
P-10		25/09/2024	2/10/2024	10	78.54	14681.0	186.9	210	89.01		
P-01	14	25/09/2024	9/10/2024	10	78.54	16220.0	206.5	210	98.34	204.8	97.54
P-02		25/09/2024	9/10/2024	10	78.54	17120.0	218.0	210	103.80		
P-03		25/09/2024	9/10/2024	10	78.54	15960.0	203.2	210	96.77		
P-04		25/09/2024	9/10/2024	10	78.54	16170.0	205.9	210	98.04		
P-05		25/09/2024	9/10/2024	10	78.54	15620.0	198.9	210	94.70		
P-06		25/09/2024	9/10/2024	10	78.54	16170.0	205.9	210	98.04		
P-07		25/09/2024	9/10/2024	10	78.54	15920.0	202.7	210	96.52		
P-08		25/09/2024	9/10/2024	10	78.54	15820.0	201.4	210	95.92		
P-09		25/09/2024	9/10/2024	10	78.54	16120.0	205.2	210	97.74		
P-10		25/09/2024	9/10/2024	10	78.54	15760.0	200.7	210	95.55		
P-01	28	27/09/2024	25/10/2024	10	78.54	16670.0	212.2	210	101.07	213.5	101.68
P-02		27/09/2024	25/10/2024	10	78.54	17040.0	217.0	210	103.31		
P-03		27/09/2024	25/10/2024	10	78.54	16950.0	215.8	210	102.77		
P-04		27/09/2024	25/10/2024	10	78.54	15670.0	199.5	210	95.01		
P-05		27/09/2024	25/10/2024	10	78.54	17620.0	224.3	210	106.83		
P-06		27/09/2024	25/10/2024	10	78.54	16830.0	214.3	210	102.04		
P-07		27/09/2024	25/10/2024	10	78.54	17030.0	216.8	210	103.25		
P-08		27/09/2024	25/10/2024	10	78.54	15970.0	203.3	210	96.83		
P-09		27/09/2024	25/10/2024	10	78.54	17550.0	223.5	210	106.41		
P-10		27/09/2024	25/10/2024	10	78.54	16880.0	208.6	210	99.31		

- Muestreo realizados por el solicitante.

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

TECNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneira Obillos
 Tec. Laboratorio
 USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

ANEXO 13: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON 0.2% DE NPG

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



Tesista : Llontop Rodriguez Franklin Jesús
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Evaluación de influencia de nanoplaquetas de grafeno en la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 21 de Mayo del 2025

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

Registro de probetas: Grupo experimental - 0.2 % de NPG

N° de muestra	Edad (días)	Fecha		Diámetro cm	Área cm ²	Cargas		Diseño: f _c kg/cm ²	Porcentaje (%)	Promedio	
		Vaciado	Rotura			kg	kg/cm ²			Kg/cm ²	(%)
P-01	7	5/10/2024	12/10/2024	10	78.54	13550.0	172.5	210	82.15	180.5	85.94
P-02		5/10/2024	12/10/2024	10	78.54	14030.0	178.6	210	85.06		
P-03		5/10/2024	12/10/2024	10	78.54	14540.0	185.1	210	88.16		
P-04		5/10/2024	12/10/2024	10	78.54	14590.0	185.8	210	88.46		
P-05		5/10/2024	12/10/2024	10	78.54	14390.0	183.2	210	87.25		
P-06		5/10/2024	12/10/2024	10	78.54	14170.0	180.4	210	85.91		
P-07		5/10/2024	12/10/2024	10	78.54	14180.0	180.5	210	85.97		
P-08		5/10/2024	12/10/2024	10	78.54	15290.0	194.7	210	92.70		
P-09		5/10/2024	12/10/2024	10	78.54	12990.0	165.4	210	78.76		
P-10		5/10/2024	12/10/2024	10	78.54	14020.0	178.5	210	85.00		
P-01	14	5/10/2024	19/10/2024	10	78.54	16930.0	215.6	210	102.65	216.7	103.17
P-02		5/10/2024	19/10/2024	10	78.54	17779.0	226.4	210	107.79		
P-03		5/10/2024	19/10/2024	10	78.54	16950.0	215.8	210	102.77		
P-04		5/10/2024	19/10/2024	10	78.54	16860.0	214.7	210	102.22		
P-05		5/10/2024	19/10/2024	10	78.54	17440.0	222.1	210	105.74		
P-06		5/10/2024	19/10/2024	10	78.54	18050.0	229.8	210	109.44		
P-07		5/10/2024	19/10/2024	10	78.54	15550.0	198.0	210	94.28		
P-08		5/10/2024	19/10/2024	10	78.54	16420.0	209.1	210	99.56		
P-09		5/10/2024	19/10/2024	10	78.54	17020.0	216.7	210	103.19		
P-10		5/10/2024	19/10/2024	10	78.54	17170.0	218.6	210	104.10		
P-01	28	5/10/2024	2/11/2024	10	78.54	18890.0	240.5	210	114.53	247.9	118.04
P-02		5/10/2024	2/11/2024	10	78.54	19470.0	247.9	210	118.05		
P-03		5/10/2024	2/11/2024	10	78.54	19670.0	250.4	210	119.26		
P-04		5/10/2024	2/11/2024	10	78.54	20150.0	256.6	210	122.17		
P-05		5/10/2024	2/11/2024	10	78.54	19290.0	245.6	210	116.96		
P-06		5/10/2024	2/11/2024	10	78.54	18660.0	237.6	210	113.14		
P-07		5/10/2024	2/11/2024	10	78.54	19570.0	249.2	210	118.65		
P-08		5/10/2024	2/11/2024	10	78.54	18740.0	236.6	210	113.62		
P-09		5/10/2024	2/11/2024	10	78.54	20280.0	258.2	210	122.96		
P-10		5/10/2024	2/11/2024	10	78.54	19970.0	254.3	210	121.08		

- Muestreo realizados por el solicitante.

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

TÉCNICO DE LABORATORIO



Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

ANEXO 14: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON 0.4% DE NPG

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



Tesista : Llontop Rodriguez Franklin Jesús
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Evaluación de influencia de nanoplaquetas de grafeno en la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 21 de Mayo del 2025

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

Registro de probetas: Grupo experimental - 0.4 % de NPG

N° de muestra	Edad (días)	Fecha		Diámetro cm	Área cm ²	Cargas		Diseño: f'c kg/cm ²	Porcentaje (%)	Promedio	
		Vaciado	Rotura			kg	kg/cm ²			Kg/cm ²	(%)
P-01	7	8/10/2024	15/10/2024	10	78.54	14380.0	183.1	210	87.19	191.4	91.14
P-02		8/10/2024	15/10/2024	10	78.54	15320.0	195.1	210	92.89		
P-03		8/10/2024	15/10/2024	10	78.54	16920.0	215.4	210	102.59		
P-04		8/10/2024	15/10/2024	10	78.54	14340.0	182.6	210	86.94		
P-05		8/10/2024	15/10/2024	10	78.54	14230.0	181.2	210	86.28		
P-06		8/10/2024	15/10/2024	10	78.54	14740.0	187.7	210	89.37		
P-07		8/10/2024	15/10/2024	10	78.54	15240.0	194.0	210	92.40		
P-08		8/10/2024	15/10/2024	10	78.54	14760.0	187.9	210	89.49		
P-09		8/10/2024	15/10/2024	10	78.54	15140.0	192.8	210	91.79		
P-10		8/10/2024	15/10/2024	10	78.54	15250.0	194.2	210	92.46		
P-01	14	8/10/2024	22/10/2024	10	78.54	17740.0	225.9	210	107.56	229.8	109.45
P-02		8/10/2024	22/10/2024	10	78.54	17290.0	220.1	210	104.83		
P-03		8/10/2024	22/10/2024	10	78.54	18940.0	241.2	210	114.83		
P-04		8/10/2024	22/10/2024	10	78.54	18250.0	232.4	210	110.65		
P-05		8/10/2024	22/10/2024	10	78.54	16980.0	216.2	210	102.95		
P-06		8/10/2024	22/10/2024	10	78.54	19060.0	242.7	210	115.56		
P-07		8/10/2024	22/10/2024	10	78.54	17940.0	228.4	210	108.77		
P-08		8/10/2024	22/10/2024	10	78.54	17510.0	222.9	210	106.16		
P-09		8/10/2024	22/10/2024	10	78.54	19020.0	242.2	210	115.32		
P-10		8/10/2024	22/10/2024	10	78.54	17790.0	226.5	210	107.86		
P-01	28	8/10/2024	5/11/2024	10	78.54	21980.0	279.9	210	133.27	284.7	135.59
P-02		8/10/2024	5/11/2024	10	78.54	22340.0	284.4	210	135.45		
P-03		8/10/2024	5/11/2024	10	78.54	22830.0	290.7	210	138.42		
P-04		8/10/2024	5/11/2024	10	78.54	21740.0	276.8	210	131.81		
P-05		8/10/2024	5/11/2024	10	78.54	22410.0	285.3	210	135.87		
P-06		8/10/2024	5/11/2024	10	78.54	23360.0	297.4	210	141.63		
P-07		8/10/2024	5/11/2024	10	78.54	21670.0	275.9	210	131.39		
P-08		8/10/2024	5/11/2024	10	78.54	22570.0	287.4	210	136.84		
P-09		8/10/2024	5/11/2024	10	78.54	21760.0	277.1	210	131.93		
P-10		8/10/2024	5/11/2024	10	78.54	22970.0	292.5	210	139.27		

- Muestreo realizados por el solicitante.

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

TÉCNICO DE LABORATORIO



Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo



ANEXO 15: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON 0.6% DE NPG

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



Tesista : Llontop Rodríguez Franklin Jesús
 Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
 Tesis : Evaluación de influencia de nanoplaquetas de grafeno en la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto
 Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 21 de Mayo del 2025

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

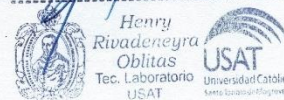
Registro de probetas: Grupo experimental - 0.6 % de NPG

N° de muestra	Edad (días)	Fecha		Diámetro cm	Área cm ²	Cargas		Diseño: f'c kg/cm ²	Porcentaje (%)	Promedio	
		Vaciado	Rotura			kg	kg/cm ²			Kg/cm ²	(%)
P-01	7	11/10/2024	18/10/2024	10	78.54	14440.0	183.9	210	87.55	175.9	83.79
P-02		11/10/2024	18/10/2024	10	78.54	14950.0	190.3	210	90.64		
P-03		11/10/2024	18/10/2024	10	78.54	11980.0	152.5	210	72.64		
P-04		11/10/2024	18/10/2024	10	78.54	16540.0	210.6	210	100.28		
P-05		11/10/2024	18/10/2024	10	78.54	13930.0	177.4	210	84.46		
P-06		11/10/2024	18/10/2024	10	78.54	13260.0	168.8	210	80.40		
P-07		11/10/2024	18/10/2024	10	78.54	12930.0	164.6	210	78.40		
P-08		11/10/2024	18/10/2024	10	78.54	15050.0	191.6	210	91.25		
P-09		11/10/2024	18/10/2024	10	78.54	13560.0	172.7	210	82.21		
P-10		11/10/2024	18/10/2024	10	78.54	11550.0	147.1	210	70.03		
P-01	14	11/10/2024	25/10/2024	10	78.54	16540.0	210.6	210	100.28	206.9	98.51
P-02		11/10/2024	25/10/2024	10	78.54	15930.0	202.8	210	96.58		
P-03		11/10/2024	25/10/2024	10	78.54	16860.0	214.7	210	102.22		
P-04		11/10/2024	25/10/2024	10	78.54	15330.0	195.2	210	92.95		
P-05		11/10/2024	25/10/2024	10	78.54	16340.0	208.0	210	99.07		
P-06		11/10/2024	25/10/2024	10	78.54	16110.0	205.1	210	97.68		
P-07		11/10/2024	25/10/2024	10	78.54	15620.0	198.9	210	94.70		
P-08		11/10/2024	25/10/2024	10	78.54	16760.0	213.4	210	101.62		
P-09		11/10/2024	25/10/2024	10	78.54	17130.0	218.1	210	103.86		
P-10		11/10/2024	25/10/2024	10	78.54	15860.0	201.9	210	96.16		
P-01	28	11/10/2024	8/11/2024	10	78.54	18680.0	237.8	210	113.26	227.5	108.35
P-02		11/10/2024	8/11/2024	10	78.54	17090.0	217.6	210	103.62		
P-03		11/10/2024	8/11/2024	10	78.54	18360.0	233.8	210	111.32		
P-04		11/10/2024	8/11/2024	10	78.54	17930.0	228.3	210	108.71		
P-05		11/10/2024	8/11/2024	10	78.54	17470.0	222.4	210	105.92		
P-06		11/10/2024	8/11/2024	10	78.54	16960.0	215.9	210	102.83		
P-07		11/10/2024	8/11/2024	10	78.54	17350.0	220.9	210	105.19		
P-08		11/10/2024	8/11/2024	10	78.54	18270.0	232.6	210	110.77		
P-09		11/10/2024	8/11/2024	10	78.54	17730.0	225.7	210	107.50		
P-10		11/10/2024	8/11/2024	10	78.54	18860.0	240.1	210	114.35		

- Muestreo realizados por el solicitante.

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

TÉCNICO DE LABORATORIO



ANEXO 16: DENSIDAD, ABSORCIÓN Y VACIOS PARA CONCRETO PATRÓN

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



Tesista : Llontop Rodriguez Franklin Jesús
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Evaluación de influencia de nanoplaquetas de grafeno en la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 21 de Mayo del 2025

Código : NTP 339.187 utilizando como antecedente a la ASTM C 642
Título : Método de prueba estándar para conocer la densidad, absorción y vacíos en el concreto endurecido

Registro de muestras: Concreto patrón

MUESTRA N°	MASA DE PROBETA SECA AL HOORNO (g)				MASA SECA FINAL (g)
	24h.	48h.	Δ%	OBSERVACION	
M - 01	849.86	847.15	0.32	OK	847.15
M - 02	809.23	805.55	0.45	OK	805.55
M - 03	864.05	860.69	0.39	OK	860.69
M - 04	829.75	826.23	0.42	OK	826.23
M - 05	856.02	851.98	0.47	OK	851.98
M - 06	837.59	835.73	0.22	OK	835.73

MUESTRA N°	MASA DE PROBETA DESPUES DE INMERSION EN AGUA (g)				MASA DESPUES DE INMERSION FINAL (g)
	48h.	72h.	Δ%	OBSERVACION	
M - 01	937.83	937.99	0.02	OK	937.99
M - 02	905.19	905.68	0.05	OK	905.68
M - 03	959.04	959.83	0.08	OK	959.83
M - 04	915.53	915.78	0.03	OK	915.78
M - 05	941.76	941.92	0.02	OK	941.92
M - 06	930.79	930.87	0.01	OK	930.87

MUESTRA N°	MASA DESPUES DE INMERSION (g)	
	EBULLICION	SUMERGIDO
	5h + 14h	APARENTE
M - 01	942.91	529.62
M - 02	911.56	497.81
M - 03	964.68	549.28
M - 04	923.04	506.75
M - 05	947.82	536.67
M - 06	939.01	518.36



Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT
USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo



Tesista : Llontop Rodriguez Franklin Jesús
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil ambiental
Tesis : Evaluación de influencia de nanoplaquetas de grafeno en la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 15 de Noviembre del 2024

Código : NTP 339.187 utilizando como antecedente a la ASTM C 642

Título : Método de prueba estándar para conocer la densidad, absorción y vacíos en el concreto endurecido

PROPIEDAD	PROBETA N°	VALOR	PROMEDIO
ABSORCION DESPUES DE INMERSION (%)	M - 01	10.72	11.24
	M - 02	12.43	
	M - 03	11.52	
	M - 04	10.84	
	M - 05	10.56	
	M - 06	11.38	
ABSORCION DESPUES DE INMERSION Y EBULLICION (%)	M - 01	11.30	11.98
	M - 02	13.16	
	M - 03	12.08	
	M - 04	11.72	
	M - 05	11.25	
	M - 06	12.36	
DENSIDAD GLOBAL SECA (g/cm ³)	M - 01	2.05	2.02
	M - 02	1.95	
	M - 03	2.07	
	M - 04	1.98	
	M - 05	2.07	
	M - 06	1.99	
DENSIDAD DESPUES DE INMERSION (g/cm ³)	M - 01	2.27	2.25
	M - 02	2.19	
	M - 03	2.31	
	M - 04	2.20	
	M - 05	2.29	
	M - 06	2.21	
DENSIDAD DESPUES DE INMERSION Y EBULLICION (g/cm ³)	M - 01	2.28	2.26
	M - 02	2.20	
	M - 03	2.32	
	M - 04	2.22	
	M - 05	2.31	
	M - 06	2.23	
DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)	M - 01	2.67	2.66
	M - 02	2.62	
	M - 03	2.76	
	M - 04	2.59	
	M - 05	2.70	
	M - 06	2.63	
VOLUMEN DE VACIOS (%)	M - 01	23.47	24.16
	M - 02	25.62	
	M - 03	25.03	
	M - 04	23.26	
	M - 05	23.31	
	M - 06	24.55	

TECNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo

ANEXO 17: DENSIDAD, ABSORCIÓN Y VACIOS PARA CONCRETO CON 0.2% NPG

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



Tesista : Llontop Rodriguez Franklin Jesús
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Evaluación de influencia de nanoplaquetas de grafeno en la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión: Chiclayo, 21 de Mayo del 2025

Código : NTP 339.187 utilizando como antecedente a la ASTM C 642
Título : Método de prueba estándar para conocer la densidad, absorción y vacíos en el concreto endurecido

Registro de muestras: Concreto con adición del 0.2% NPG

MUESTRA N°	MASA DE PROBETA SECA AL HOORNO (g)				MASA SECA FINAL (g)
	24h.	48h.	Δ%	OBSERVACION	
M - 01	827.02	824.20	0.34	OK	824.20
M - 02	845.26	841.06	0.50	OK	841.06
M - 03	849.08	846.95	0.25	OK	846.95
M - 04	807.93	805.13	0.35	OK	805.13
M - 05	833.57	831.38	0.26	OK	831.38
M - 06	815.08	811.12	0.49	OK	811.12

MUESTRA N°	MASA DE PROBETA DESPUES DE INMERSION EN AGUA (g)				MASA DESPUES DE INMERSION FINAL (g)
	48h.	72h.	Δ%	OBSERVACION	
M - 01	922.86	923.26	0.04	OK	923.26
M - 02	932.28	932.42	0.02	OK	932.42
M - 03	935.55	935.79	0.03	OK	935.79
M - 04	901.62	901.93	0.03	OK	901.93
M - 05	925.56	925.73	0.02	OK	925.73
M - 06	905.41	905.72	0.03	OK	905.72

MUESTRA N°	MASA DESPUES DE INMERSION (g)	
	EBULLICION	SUMERGIDO APARENTE
	5h + 14h	
M - 01	922.42	469.17
M - 02	933.63	509.15
M - 03	937.27	517.86
M - 04	902.31	468.64
M - 05	926.43	502.98
M - 06	906.68	476.72



TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry
Rivadeneira
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT

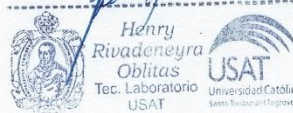


Tesista : Llontop Rodriguez Franklin Jesús
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Evaluación de influencia de nanoplaquetas de grafeno en la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 21 de Mayo del 2025

Código : NTP 339.187 utilizando como antecedente a la ASTM C 642
Título : Método de prueba estándar para conocer la densidad, absorción y vacíos en el concreto endurecido

PROPIEDAD	PROBETA N°	VALOR	PROMEDIO
ABSORCION DESPUES DE INMERSION (%)	M - 01	12.02	11.40
	M - 02	10.86	
	M - 03	10.49	
	M - 04	12.02	
	M - 05	11.35	
	M - 06	11.66	
ABSORCION DESPUES DE INMERSION Y EBULLICION (%)	M - 01	11.92	11.48
	M - 02	11.01	
	M - 03	10.66	
	M - 04	12.07	
	M - 05	11.43	
	M - 06	11.78	
DENSIDAD GLOBAL SECA (g/cm3)	M - 01	1.82	1.92
	M - 02	1.98	
	M - 03	2.02	
	M - 04	1.86	
	M - 05	1.96	
	M - 06	1.89	
DENSIDAD DESPUES DE INMERSION (g/cm3)	M - 01	2.04	2.14
	M - 02	2.20	
	M - 03	2.23	
	M - 04	2.08	
	M - 05	2.19	
	M - 06	2.11	
DENSIDAD DESPUES DE INMERSION Y EBULLICION (g/cm3)	M - 01	2.04	2.14
	M - 02	2.20	
	M - 03	2.23	
	M - 04	2.08	
	M - 05	2.19	
	M - 06	2.11	
DENSIDAD APARENTE (g/cm3)	M - 01	2.32	2.46
	M - 02	2.53	
	M - 03	2.57	
	M - 04	2.39	
	M - 05	2.53	
	M - 06	2.43	
VOLUMEN DE VACIOS (%)	M - 01	21.67	22.02
	M - 02	21.81	
	M - 03	21.54	
	M - 04	22.41	
	M - 05	22.45	
	M - 06	22.23	


TÉCNICO DE LABORATORIO


Henry Rivadeneyra Oblitas
Tec. Laboratorio USAT
USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

ANEXO 18: DENSIDAD, ABSORCIÓN Y VACIOS PARA CONCRETO CON 0.4% NPG

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



Tesista : Llontop Rodriguez Franklin Jesús
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Evaluación de influencia de nanoplaquetas de grafeno en la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión: Chiclayo, 21 de Mayo del 2025

Código : NTP 339.187 utilizando como antecedente a la ASTM C 642
Título : Método de prueba estándar para conocer la densidad, absorción y vacíos en el concreto endurecido

Registro de muestras: Concreto con adición del 0.4% NPG

MUESTRA N°	MASA DE PROBETA SECA AL HOORNO (g)				MASA SECA FINAL (g)
	24h.	48h.	Δ%	OBSERVACION	
M - 01	810.34	807.09	0.40	OK	807.09
M - 02	825.68	823.34	0.28	OK	823.34
M - 03	791.94	788.37	0.45	OK	788.37
M - 04	783.57	780.81	0.35	OK	780.81
M - 05	827.91	825.60	0.28	OK	825.60
M - 06	867.19	864.18	0.35	OK	864.18

MUESTRA N°	MASA DE PROBETA DESPUES DE INMERSION EN AGUA (g)				MASA DESPUES DE INMERSION FINAL (g)
	48h.	72h.	Δ%	OBSERVACION	
M - 01	904.63	904.64	0.00	OK	904.64
M - 02	913.80	913.86	0.01	OK	913.86
M - 03	892.42	892.47	0.01	OK	892.47
M - 04	885.30	885.34	0.00	OK	885.34
M - 05	922.77	922.82	0.01	OK	922.82
M - 06	945.20	945.26	0.01	OK	945.26

MUESTRA N°	MASA DESPUES DE INMERSION (g)	
	EBULLICION	SUMERGIDO
	5h + 14h	APARENTE
M - 01	900.17	401.59
M - 02	911.63	413.79
M - 03	882.76	401.36
M - 04	872.13	376.71
M - 05	917.36	427.27
M - 06	944.95	469.89



TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT
USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo



Tesista : Llontop Rodriguez Franklin Jesús
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Evaluación de influencia de nanoplaquetas de grafeno en la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión: Chiclayo, 21 de Mayo del 2025

Código : NTP 339.187 utilizando como antecedente a la ASTM C 642
Título : Método de prueba estándar para conocer la densidad, absorción y vacíos en el concreto endurecido

PROPIEDAD	PROBETA N°	VALOR	PROMEDIO
ABSORCION DESPUES DE INMERSION (%)	M - 01	12.09	11.81
	M - 02	10.99	
	M - 03	13.20	
	M - 04	13.39	
	M - 05	11.78	
	M - 06	9.38	
ABSORCION DESPUES DE INMERSION Y EBULLICION (%)	M - 01	11.53	11.06
	M - 02	10.72	
	M - 03	11.97	
	M - 04	11.70	
	M - 05	11.11	
	M - 06	9.35	
DENSIDAD GLOBAL SECA (g/cm ³)	M - 01	1.62	1.67
	M - 02	1.65	
	M - 03	1.64	
	M - 04	1.58	
	M - 05	1.68	
	M - 06	1.82	
DENSIDAD DESPUES DE INMERSION (g/cm ³)	M - 01	1.81	1.86
	M - 02	1.84	
	M - 03	1.85	
	M - 04	1.79	
	M - 05	1.88	
	M - 06	1.99	
DENSIDAD DESPUES DE INMERSION Y EBULLICION (g/cm ³)	M - 01	1.81	1.85
	M - 02	1.83	
	M - 03	1.83	
	M - 04	1.76	
	M - 05	1.87	
	M - 06	1.99	
DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)	M - 01	1.99	2.04
	M - 02	2.01	
	M - 03	2.04	
	M - 04	1.93	
	M - 05	2.07	
	M - 06	2.19	
VOLUMEN DE VACIOS (%)	M - 01	18.67	18.36
	M - 02	17.73	
	M - 03	19.61	
	M - 04	18.48	
	M - 05	18.72	
	M - 06	17.00	

TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry
Rivadeneira
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo

ANEXO 19: DENSIDAD, ABSORCIÓN Y VACIOS PARA CONCRETO CON 0.6% NPG

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



Tesista : Llontop Rodriguez Franklin Jesús
 Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
 Tesis : Evaluación de influencia de nanoplaquetas de grafeno en la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto
 Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión: Chiclayo, 21 de Mayo del 2025

Código : NTP 339.187 utilizando como antecedente a la ASTM C 642
 Título : Método de prueba estándar para conocer la densidad, absorción y vacíos en el concreto endurecido

Registro de muestras: Concreto con adición del 0.6% NPG

MUESTRA N°	MASA DE PROBETA SECA AL HOORNO (g)				MASA SECA FINAL (g)
	24h.	48h.	$\Delta\%$	OBSERVACION	
M - 01	829.14	826.65	0.30	OK	826.65
M - 02	819.73	816.31	0.42	OK	816.31
M - 03	833.59	831.28	0.28	OK	831.28
M - 04	827.06	824.50	0.31	OK	824.50
M - 05	836.98	834.79	0.26	OK	834.79
M - 06	826.45	822.64	0.46	OK	822.64

MUESTRA N°	MASA DE PROBETA DESPUES DE INMERSION EN AGUA (g)				MASA DESPUES DE INMERSION FINAL (g)
	48h.	72h.	$\Delta\%$	OBSERVACION	
M - 01	921.64	921.75	0.01	OK	921.75
M - 02	908.44	908.63	0.02	OK	908.63
M - 03	922.74	923.02	0.03	OK	923.02
M - 04	916.50	916.91	0.04	OK	916.91
M - 05	926.03	926.24	0.02	OK	926.24
M - 06	918.80	919.12	0.03	OK	919.12

MUESTRA N°	MASA DESPUES DE INMERSION (g)	
	EBULLICION	SUMERGIDO
	5h + 14h	APARENTE
M - 01	922.36	506.61
M - 02	910.17	495.69
M - 03	923.98	507.67
M - 04	917.82	504.14
M - 05	928.43	513.62
M - 06	919.75	503.68



Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo



Tesista : Llontop Rodriguez Franklin Jesús
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Evaluación de influencia de nanoplaquetas de grafeno en la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 21 de Mayo del 2025

Código : NTP 339.187 utilizando como antecedente a la ASTM C 642
Título : Método de prueba estándar para conocer la densidad, absorción y vacíos en el concreto endurecido

PROPIEDAD	PROBETA N°	VALOR	PROMEDIO
ABSORCION DESPUES DE INMERSION (%)	M - 01	11.50	11.29
	M - 02	11.31	
	M - 03	11.04	
	M - 04	11.21	
	M - 05	10.95	
	M - 06	11.73	
ABSORCION DESPUES DE INMERSION Y EBULLICION (%)	M - 01	11.58	11.43
	M - 02	11.50	
	M - 03	11.15	
	M - 04	11.32	
	M - 05	11.22	
	M - 06	11.80	
DENSIDAD GLOBAL SECA (g/cm3)	M - 01	1.99	1.99
	M - 02	1.97	
	M - 03	2.00	
	M - 04	1.99	
	M - 05	2.01	
	M - 06	1.98	
DENSIDAD DESPUES DE INMERSION (g/cm3)	M - 01	2.22	2.21
	M - 02	2.19	
	M - 03	2.22	
	M - 04	2.22	
	M - 05	2.23	
	M - 06	2.21	
DENSIDAD DESPUES DE INMERSION Y EBULLICION (g/cm3)	M - 01	2.22	2.22
	M - 02	2.20	
	M - 03	2.22	
	M - 04	2.22	
	M - 05	2.24	
	M - 06	2.21	
DENSIDAD APARENTE (g/cm3)	M - 01	2.58	2.57
	M - 02	2.55	
	M - 03	2.57	
	M - 04	2.57	
	M - 05	2.60	
	M - 06	2.58	
VOLUMEN DE VACIOS (%)	M - 01	23.02	22.73
	M - 02	22.65	
	M - 03	22.27	
	M - 04	22.56	
	M - 05	22.57	
	M - 06	23.34	



TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

ANEXO 20: VALIDACIÓN DE ENSAYOS – LABORATORIO LEMS W&C

Prolongación Bolognesi Km. 3.5
 Chiclayo – Lambayeque
 R.U.C. 20480781334
servicios@lemswyc.com

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN**Chiclayo, 21 de mayo de 2025****Quien suscribe:****Sr. Wilson Arturo Olaya Aguilar****Representante Legal – LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS
W & C E.I.R.L. - LEMS W & C E.I.R.L.**

AUTORIZA: Permiso para recojo de información pertinente en función del proyecto de investigación, denominado. "EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE NANOPLAQUETAS DE GRAFENO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y LA DURABILIDAD DEL CONCRETO "

Por el presente, el que suscribe, Wilson Arturo Olaya Aguilar representante legal de la empresa LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS W & C E.I.R.L. - LEMS W & C E.I.R.L. **AUTORIZO** al estudiante Franklin Jesús Llontop Rodríguez, identificada con DNI N°75909834, estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO y autora del trabajo de investigación denominado "Evaluación de la influencia de nanoplaquetas de grafeno en la resistencia a la compresión y durabilidad del concreto " para el uso de laboratorio técnico y formatos de procesamiento de datos y cálculo para obtención de resultados de control de calidad en efectos exclusivamente académicos de la elaboración de tesis, enunciada líneas arriba de quien solicita se garantice la absoluta confidencialidad de la información solicitada.

Ensayos realizados

- MÉTODO. Prueba para determinar la resistencia del concreto a la penetración del ión cloruro.
- CEMENTOS. Método para determinar el cambio de longitud en morteros de cemento Pórtland expuestos a soluciones sulfatadas.

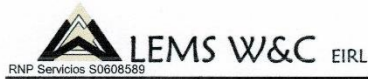


Atentamente;

LEMS W&C EIRL.

WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR
 GERENTE GENERAL



ANEXO 21: RESISTENCIA A SULFATOS DE SODIO PARA CONCRETO PATRON

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

Solicitud de ensayo : 0101A-25/ LEMS W&C
Solicitante : Linton Rodríguez Franklin Jesús
Proyecto / Obra : TESIS: "EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE NANOPLAQUETAS DE GRAFENO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y LA DURABILIDAD DEL CONCRETO"
Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque
Fecha de apertura : Miércoles, 01 de enero del 2025
Inicio de ensayo : Viernes, 03 de enero de 2025
Fin de ensayo : Viernes, 25 de abril del 2025
Ensayo : CEMENTOS. Método para determinar el cambio de longitud en morteros de cemento Portland expuestos a soluciones sulfatadas
Referencia : NTP 334.094
Muestras : Patrón $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$
Especímenes moldeados en vigas de $L=285\text{mm}$, $A=75\text{mm}$, $H=75\text{mm}$
7 Días
Edad :
Resistencia Mínima : 20 Mpa, Evaluado a compresión en especímenes cúbicos de $2'' \times 2'' \times 2''$
Tipo de curado : Curado en pozas de agua
Solución : Sulfatada: Na_2SO_4 , concentración: 50g/900 ml de agua diluida en agua destilada para 1L de solución
Instrumentos : Comparador
Hornos, balanza de 0.01g, contenedor de curado
Crisol, baqueta para diluir

Mediciones de Longitud Vigas de Concreto Patrón

Semanas	M1	M2	M3
Barras	(mm)	(mm)	(mm)
Lectura Inicial	10.100	10.160	8.702
Semana 1	10.108	10.169	8.708
Semana 2	10.107	10.175	8.710
Semana 3	10.108	10.179	8.715
Semana 4	10.112	10.192	8.722
Semana 8	10.113	10.194	8.723
Semana 13	10.114	10.196	8.724
Semana 15	10.115	10.196	8.726
Lectura de referencia	2.747		

Semanas	M1	M2	M3
Barras	(mm)	(mm)	(mm)
Lectura Inicial	7.353	7.413	5.955
Semana 1	7.361	7.422	5.961
Semana 2	7.360	7.428	5.963
Semana 3	7.361	7.432	5.968
Semana 4	7.365	7.445	5.975
Semana 8	7.366	7.447	5.976
Semana 13	7.367	7.449	5.977
Semana 15	7.368	7.449	5.979
Longitud nominal del calibre	250		

Mediciones de cambios de Longitud Vigas de Concreto Patrón

Variación de Longitud	$\Delta M1$	$\Delta M2$	$\Delta M3$	Δ Promedio
Semana 1	0.0032%	0.0036%	0.0024%	0.0031%
Semana 2	0.0028%	0.0060%	0.0032%	0.0040%
Semana 3	0.0032%	0.0076%	0.0052%	0.0053%
Semana 4	0.0048%	0.0128%	0.0080%	0.0085%
Semana 8	0.0052%	0.0136%	0.0084%	0.0091%
Semana 13	0.0056%	0.0144%	0.0088%	0.0096%
Semana 15	0.0060%	0.0144%	0.0096%	0.0100%

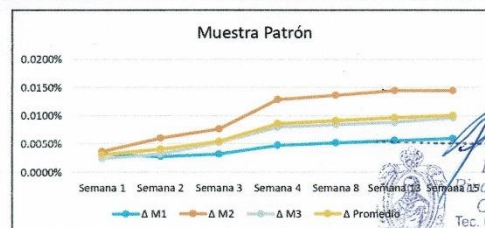
Cambio de longitud

$$\Delta L = \frac{Lx - Li}{Lg} \times 100$$

 ΔL : Cambio de longitud a la edad X%Lx: Lectura en el comparador del espécimen a la edad X
L_i: Lectura inicial del espécimen-lectura de la barra de referencia, al mismo tiempo

Li: Lectura inicial del espécimen-lectura de la barra de referencia, al mismo tiempo

Lg: Longitud nominal del calibre



LEMS W&C EIRL

WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR
TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

TÉCNICO DE LABORATORIO

LEMS W&C EIRL

Elferez Mendoza Medina
INGENIERO CIVIL
REG. CIP 324531

ANEXO 22: RESISTENCIA A SULFATOS DE SODIO PARA CONCRETO CON 0.2% NPG

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

Solicitud de ensayo: 0101A-25/ LEMS W&C
Solicitante: Liontop Rodríguez Franklin Jesús
Proyecto / Obra: TESIS: "EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE NANOPLAQUETAS DE GRAFENO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y LA DURABILIDAD DEL CONCRETO"
Ubicación: Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque
Fecha de apertura: Miércoles, 01 de enero del 2025
Inicio de ensayo: Viernes, 03 de enero de 2025
Fin de ensayo: Viernes, 25 de abril del 2025
Ensayo: CEMENTOS. Método para determinar el cambio de longitud en morteros de cemento Pórtland expuestos a soluciones sulfatadas
Referencia: NTP 334.094
Muestras: Patrón $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 0.20\%$ Nanoplaquetas
Especímenes moldeados en vigas de $L=285\text{mm}$, $A=75\text{mm}$, $H=75\text{mm}$
Edad: 7 Días
Resistencia Mínima: 20 Mpa, Evaluado a compresión en especímenes cúbicos de $2'' \times 2'' \times 2''$
Tipo de curado: Curado en pozas de agua
Solución: Sulfatada: Na_2SO_4 , concentración: 50g/900 ml de agua diluida en agua destilada para 1L de solución
Instrumentos: Comparador
Hornos, balanza de 0.01g, contenedor de curado
Crisol, baqueta para diluir

Mediciones de Longitud Vigas de Concreto Patrón + 0.20% Nanoplaquetas

Semanas	M1	M2	M3
Barras	(mm)	(mm)	(mm)
Lectura Inicial	9.980	10.150	9.770
Semana 1	9.981	10.150	9.771
Semana 2	9.983	10.153	9.775
Semana 3	9.987	10.159	9.783
Semana 4	9.989	10.162	9.787
Semana 8	9.991	10.165	9.788
Semana 13	9.995	10.170	9.795
Semana 15	9.997	10.172	9.796
Lectura de referencia	2.747		

Semanas	M1	M2	M3
Barras	(mm)	(mm)	(mm)
Lectura Inicial	7.233	7.403	7.023
Semana 1	7.234	7.403	7.024
Semana 2	7.236	7.406	7.028
Semana 3	7.24	7.412	7.036
Semana 4	7.242	7.415	7.04
Semana 8	7.244	7.418	7.041
Semana 13	7.248	7.423	7.048
Semana 15	7.250	7.425	7.049
Longitud nominal del calibre	250		

Mediciones de cambios de Longitud Vigas de Concreto Patrón + 0.20% Nanoplaquetas

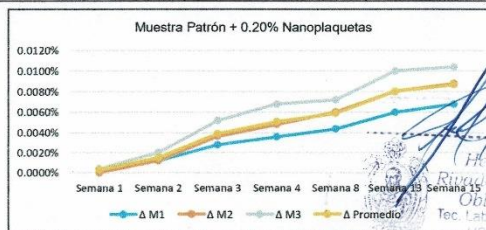
Variación de Longitud	$\Delta M1$	$\Delta M2$	$\Delta M3$	Δ Promedio
Semana 1	0.0004%	0.0000%	0.0004%	0.0003%
Semana 2	0.0012%	0.0012%	0.0020%	0.0015%
Semana 3	0.0028%	0.0036%	0.0052%	0.0039%
Semana 4	0.0036%	0.0048%	0.0068%	0.0051%
Semana 8	0.0044%	0.0060%	0.0072%	0.0059%
Semana 13	0.0060%	0.0080%	0.0100%	0.0080%
Semana 15	0.0068%	0.0088%	0.0104%	0.0087%

Cambio de longitud

$$\Delta L = \frac{Lx - Li}{Lg} \times 100$$

 ΔL : Cambio de longitud a la edad X%Lx: Lectura en el comparador del espécimen a la edad X
Li: Lectura de referencia a la edad x

Lg: Longitud nominal del calibre



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

LEMS W&C EIRL.
Elferéz Mendoza Medina
INGENIERO CIVIL
REG. CIP 324531

ANEXO 23: RESISTENCIA A SULFATOS DE SODIO PARA CONCRETO CON 0.4% NPG



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

Solicitud de ensayo: 0101A-25/ LEMS W&C
Solicitante: Lontop Rodríguez Franklin Jesús
Proyecto / Obra: TESIS: "EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE NANOPLAQUETAS DE GRAFENO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y LA DURABILIDAD DEL CONCRETO"
Ubicación: Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque
Fecha de apertura: Miércoles, 01 de enero del 2025
Inicio de ensayo: Viernes, 03 de enero de 2025
Fin de ensayo: Viernes, 25 de abril del 2025
Ensayo: CEMENTOS. Método para determinar el cambio de longitud en morteros de cemento Pórtland expuestos a soluciones sulfatadas
Referencia: NTP 334.094
Muestras: Patrón $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 0.40\%$ Nanoplaquetas
Especímenes moldeados en vigas de $L=285\text{mm}$, $A=75\text{mm}$, $H=75\text{mm}$
7 Días
Edad: 20 Mpa, Evaluado a compresión en especímenes cúbicos de $2'' \times 2'' \times 2''$
Resistencia Mínima: Curado en pozas de agua
Tipo de curado: Sulfatada: Na_2SO_4 , concentración: 50g/900 ml de agua diluida en agua destilada para 1L de solución
Solución: Comparador
Instrumentos: Hornos, balanza de 0.01g, contenedor de curado
Crisol, baqueta para diluir

Mediciones de Longitud Vigas de Concreto Patrón + 0.40% Nanoplaquetas

Semanas	Barras	M1 (mm)	M2 (mm)	M3 (mm)
	Lectura Inicial	9.850	10.001	9.700
	Semana 1	9.852	10.003	9.705
	Semana 2	9.853	10.003	9.706
	Semana 3	9.855	10.005	9.708
	Semana 4	9.858	10.007	9.710
	Semana 8	9.858	10.007	9.712
	Semana 13	9.861	10.013	9.717
	Semana 15	9.861	10.013	9.719
	Lectura de referencia	2.747		

Semanas	Barras	M1 (mm)	M2 (mm)	M3 (mm)
	Lectura Inicial	7.103	7.254	6.953
	Semana 1	7.105	7.256	6.958
	Semana 2	7.106	7.256	6.959
	Semana 3	7.108	7.258	6.961
	Semana 4	7.111	7.26	6.963
	Semana 8	7.111	7.260	6.965
	Semana 13	7.114	7.266	6.970
	Semana 15	7.114	7.266	6.972
	Longitud nominal del calibre	250		

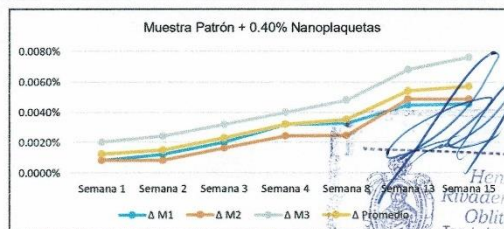
Mediciones de cambios de Longitud Vigas de Concreto Patrón + 0.40% Nanoplaquetas

Variación de Longitud	$\Delta M1$	$\Delta M2$	$\Delta M3$	Δ Promedio
Semana 1	0.0008%	0.0008%	0.0020%	0.0012%
Semana 2	0.0012%	0.0008%	0.0024%	0.0015%
Semana 3	0.0020%	0.0016%	0.0032%	0.0023%
Semana 4	0.0032%	0.0024%	0.0040%	0.0032%
Semana 8	0.0033%	0.0024%	0.0048%	0.0035%
Semana 13	0.0045%	0.0048%	0.0068%	0.0054%
Semana 15	0.0046%	0.0048%	0.0076%	0.0057%

Cambio de longitud

$$\Delta L = \frac{Lx - Li}{Lg} \times 100$$

ΔL : Cambio de longitud a la edad X%
Lx: Lectura en el comparador del espécimen a la edad x
 L_i : Lectura inicial del espécimen-lectura de la barra de referencia, al mismo tiempo
Lg: Longitud nominal del calibre



USAT
LEMS W&C EIRL.
WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR
TÉCNICO DE LABORATORIO, ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

USAT
LEMS W&C EIRL
Elferez Mendoza Medina
INGENIERO CIVIL
REG. CIP 324531

ANEXO 24: RESISTENCIA A SULFATOS DE SODIO PARA CONCRETO CON 0.6% NPG

RNP Servicios S0608589

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

Solicitud de ensayo: 0101A-25/ LEMS W&C
Solicitante: Llantop Rodríguez Franklin Jesús
Proyecto / Obra: TESIS: "EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE NANOPLAQUETAS DE GRAFENO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y LA DURABILIDAD DEL CONCRETO"
Ubicación: Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque
Fecha de apertura: Miércoles, 01 de enero del 2025
Inicio de ensayo: Viernes, 03 de enero de 2025
Fin de ensayo: Viernes, 25 de abril del 2025
Ensayo: CEMENTOS. Método para determinar el cambio de longitud en morteros de cemento Pórtland expuestos a soluciones sulfatadas
Referencia: NTP 334.094
Muestras: Patrón $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 0.60\%$ Nanoplaquetas
Especímenes moldeados en vigas de $L=285\text{mm}$, $A=75\text{mm}$, $H=75\text{mm}$
7 Días
Edad: 20 Mpa, Evaluado a compresión en especímenes cúbicos de $2 \times 2 \times 2$ "
Resistencia Mínima: Curado en pozas de agua
Tipo de curado: Sulfatada: Na_2SO_4 , concentración: 50g/900 ml de agua diluida en agua destilada para 1L de solución
Solución: Comparador
Instrumentos: Hornos, balanza de 0.01g, contenedor de curado
Crisol, baqueta para diluir

Mediciones de Longitud Vigas de Concreto Patrón + 0.60% Nanoplaquetas

Semanas	M1	M2	M3
Barras	(mm)	(mm)	(mm)
Lectura Inicial	10.105	10.001	9.801
Semana 1	10.106	10.001	9.802
Semana 2	10.106	10.002	9.803
Semana 3	10.108	10.003	9.804
Semana 4	10.112	10.004	9.805
Semana 8	10.113	10.005	9.806
Semana 13	10.116	10.008	9.809
Semana 15	10.119	10.013	9.815
Lectura de referencia	2.747		

Semanas	M1	M2	M3
Barras	(mm)	(mm)	(mm)
Lectura Inicial	7.358	7.254	7.054
Semana 1	7.359	7.254	7.055
Semana 2	7.359	7.255	7.056
Semana 3	7.361	7.256	7.057
Semana 4	7.365	7.257	7.058
Semana 8	7.366	7.258	7.059
Semana 13	7.369	7.261	7.062
Semana 15	7.372	7.266	7.068
Longitud nominal del calibre	250		

Mediciones de cambios de Longitud Vigas de Concreto Patrón + 0.60% Nanoplaquetas

Variación de Longitud	$\Delta M1$	$\Delta M2$	$\Delta M3$	Δ Promedio
Semana 1	0.0004%	0.0000%	0.0004%	0.0003%
Semana 2	0.0004%	0.0004%	0.0008%	0.0005%
Semana 3	0.0012%	0.0008%	0.0012%	0.0011%
Semana 4	0.0028%	0.0012%	0.0016%	0.0019%
Semana 8	0.0032%	0.0016%	0.0020%	0.0023%
Semana 13	0.0044%	0.0028%	0.0032%	0.0035%
Semana 15	0.0056%	0.0048%	0.0056%	0.0053%

Cambio de longitud

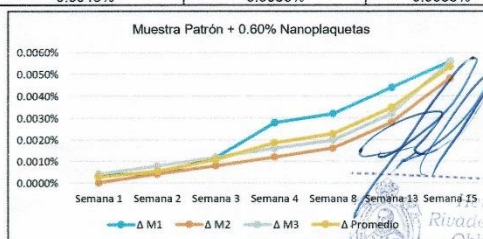
$$\Delta L = \frac{Lx - Li}{Lg} \times 100$$

ΔL : Cambio de longitud a la edad X%

Lx : Lectura en el comparador del espécimen a la edad x

Li : Lectura inicial del espécimen-lectura de la barra de referencia, al mismo tiempo

Lg : Longitud nominal del calibre



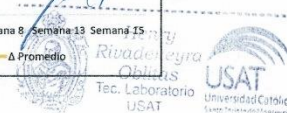
LEMS W&C EIRL

TÉCNICO DE LABORATORIO

WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR
TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

LEMS W&C EIRL

Elferez Mendoza Medina
INGENIERO CIVIL
REG. CIP 324531



ANEXO 25: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DEL COMPARADOR DE LONGITUD

**CALIBRACIÓN DE
EQUIPOS E INSTRUMENTOS**

RUC: 20606479680

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
CA-L-0620-2024**

*Área de Metrología
Laboratorio de Longitud*

Página 1 de 3

1. Expediente	0644
2. Solicitante	LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS W & C E.I.R.L. - LEMS W & C E.I.R.L.
3. Dirección	CAL. LA FE NRO. 0167 UPIS SEÑOR DE LOS MILAGROS LAMBAYEQUE - CHICLAYO - CHICLAYO
4. Instrumento calibrado	COMPARADOR DE CUADRANTE
Marca	INSIZE
Modelo	NO INDICA
N° de serie	F2102561
Identificación	NO INDICA
Procedencia	NO INDICA
Alcance de indicación	0 mm a 12,5 mm
Resolución	0,001 mm
Tipo de indicación	Digital
5. Fecha de calibración	2024-10-18

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.

CALIBRATEC S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Fecha de Emisión

2024-05-24

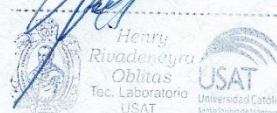


Firmado digitalmente por:
ASTETE SORIANO LUCIO FIR
42817545 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 24/05/2024 09:10:48-0500



Jefe de Laboratorio

Revisión 00



RT03-F01

☎ 977 997 385 - 913 028 622
☎ 913 028 623 - 913 028 624

📍 Av. Chillón Lote 50 B - Comas - Lima - Lima
✉ ventascalibratec@gmail.com
🏢 CALIBRATEC SAC



CALIBRATEC S.A.C.
LABORATORIO DE METROLOGIA

CALIBRACIÓN DE
EQUIPOS E INSTRUMENTOS

RUC: 20606479680

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
CA-L-0620-2024

Área de Metrología
Laboratorio de Longitud

Página 2 de 3

6. Método de calibración:

La calibración se realiza mediante el método de comparación directa entre la indicación del comparador y los bloques patrón de longitud tomando como referencia el procedimiento PC-014 "Procedimiento para la calibración de comparadores de cuadrante utilizando bloques patrón de longitud" (3ra Edición) del INACAL - DM.

7. Lugar de calibración

Laboratorio de LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS W & C E.I.R.L. - LEMS W & C E.I.R.L. ubicado en Cal. La Fe Nro. 0167 Upis Señor de los Milagros Lambayeque - Chiclayo - Chiclayo

8. Condiciones ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	21,9 °C	21,9 °C

9. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
INACAL - DM	Juego de bloques patrón de longitud de 1 mm a 20 mm de clase 0	LLA-C-071-2023

10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación **CALIBRADO**.
- El error máximo permitido del instrumento es proporcionado por el fabricante.
- Los resultados declarados en el presente certificado, se relacionan solamente con el ítem calibrado indicado en la página 1.



Revisión 00

TECNICO DE LABORATORIO



RT03-F01

☎ 977 997 385 - 913 028 622
☎ 913 028 623 - 913 028 624

📍 Av. Chillon Lote 50 B - Comas - Lima - Lima
✉ ventascalibratec@gmail.com
🏢 CALIBRATEC SAC



CALIBRATEC S.A.C.

LABORATORIO DE METROLOGIA

CALIBRACIÓN DE
EQUIPOS E INSTRUMENTOS

RUC: 20606479680

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA-L-0620-2024

Área de Metrología
Laboratorio de Longitud

Página 3 de 3

11. Resultados de la medición

Valor patrón mm	Indicación del comparador mm	Error encontrado mm	Error Máximo Permitido ± mm
0,000	0,000	0,000	0,025
1,000	1,001	0,001	0,025
2,000	2,001	0,001	0,025
3,000	3,000	0,000	0,025
4,000	4,000	0,000	0,025
5,000	5,001	0,001	0,025
6,000	6,001	0,001	0,025
7,000	7,001	0,001	0,025
8,000	8,001	0,001	0,025
10,000	10,001	0,001	0,025
12,500	12,502	0,002	0,025

Incertidumbre de medición : 0,002 mm

12. Incertidumbre

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

FIN DEL DOCUMENTO



Revisión 00

TÉCNICO DE LABORATORIO



RT03-F01

☎ 977 997 385 - 913 028 622
☎ 913 028 623 - 913 028 624

📍 Av. Chillón Lote 50 B - Comas - Lima - Lima
✉ ventascalibratec@gmail.com
📱 CALIBRATEC SAC

ANEXO 26: ENSAYO DE RESISTENCIA DE CLORUROS PARA CONCRETO PATRÓN



Prolongación Bolognesi Km. 3.5
Chiclayo - Lambayeque
R.U.C. 20490781334
Email: lemswcalr@gmail.com

0101A-25/ LEMS W&C
Liontop Rodríguez Franklin Jesús
TESIS: "EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE NANOPLAQUETAS DE GRAFENO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y LA DURABILIDAD DEL CONCRETO"
Dist. Pimental, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque.
Lunes, 17 de marzo de 2025
MÉTODO DE PRUEBA PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA PENETRACIÓN DEL IÓN CLORURO
ASTM C-1202-17
Convencional, f'c = 210kg/cm² Patrón
28 días
23 ± 2°C
Probetas estandarizadas D=4"
Silicona líquida en las caras laterales
Curado normalizado en pozas de agua del laboratorio

DATOS DE LAS PROBETAS PARA EL ENSAYO DE PENETRACION DE ION CLORURO								
PROBETA DP 210	DIAMETRO				ESPESOR			
Muestra	D 1(mm)	D 2mm)	D 3(mm)	Dprom (mm)	e- 1(mm)	e- 2(mm)	e- 3(mm)	Dprom (mm)
DP-1	101.4	100.6	101.1	101.0	51.26	51.05	51.09	51.13
DP-2	100.6	101.2	101.5	101.1	51.96	52.01	51.69	51.89
DP-3	100.5	100.2	100.4	100.4	51.14	51.78	51.23	51.38

Registro de Datos				
Dato N°	t (30min)	DP-1 In (A)	DP-2 In (A)	DP-3 In (A)
1	0	0.066	0.057	0.062
2	30	0.071	0.063	0.066
3	60	0.078	0.068	0.071
4	90	0.084	0.074	0.078
5	120	0.096	0.082	0.091
6	150	0.102	0.091	0.096
7	180	0.109	0.096	0.101
8	210	0.117	0.104	0.107
9	240	0.121	0.110	0.113
10	270	0.127	0.115	0.119
11	300	0.132	0.122	0.126
12	330	0.139	0.126	0.133
13	360	0.146	0.137	0.139



DETERMINACIÓN DE CARGA QUE PASA:

Muestras	Q (coulombs)
DP-1	2307.6
DP-2	2066.4
DP-3	2162.7

Qpromedio (Coulombs)= 2178.9

$$Q = 900(I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + 2I_{90} + 2I_{120} + 2I_{150} + \dots + 2I_{330} + I_{360})$$

Donde: Q = Carga pasada (coulombs)
I₀ = Corriente (amperios), inmediatamente después de aplicar la tensión
I_t = Corriente (amperios), t minutos después de aplicar la tensión

AJUSTES DEL VALOR DE LA CARGA:

Muestras	Qs (coulombs)
DP-1	2040.226
DP-2	1824.565
DP-3	1937.602

Qpromedio (Coulombs)= 1934.131

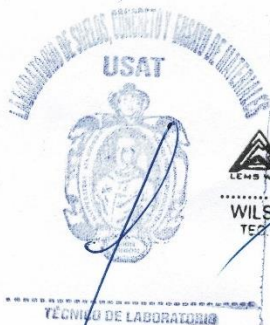
$$Q_s = Q \times \left(\frac{95}{D_{prom}}\right)^2$$

Donde: Q_s = Carga pasada (coulombs) a través de una muestra de 95 mm de diámetro
Q = Carga pasada (coulombs) a través de una muestra de D_{prom} de diámetro

COMPARACIÓN:

PENETRABILIDAD DEL ION CLORURO BASADA EN LA CARGA PASADA	
CARGA PASADA (COULOMBS)	PENETRABILIDAD DEL ION CLORURO
>4000	ALTA
2000 - 4000	MODERADA
1000 - 2000	BAJA
100 - 1000	MUY BAJA
<100	INELEGIBLE

MUESTRAS	PENETRABILIDAD DEL ION CLORURO
DP-1	MODERADA
DP-2	BAJA
DP-3	BAJA
EVALUACION PROMEDIO	BAJA



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



LEMS W&C EIRL.
Elferez Mendoza Medina
INGENIERO CIVIL
REG. CIP 324531

ANEXO 27: RESISTENCIA DE IONES CLORUROS PARA CONCRETO CON 0.2% NPG



Prologación Bolognesi Km. 3.5
Chiclayo - Lambayeque
R.U.C. 20480781334
Email: lemswycerl@gmail.com

Solicitud de ensayo : 0101A-25/ LEMS W&C
Solicitante : Liontop Rodríguez Franklin Jesús
Proyecto / Obra : TESIS: "EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE NANOPLAQUETAS DE GRAFENO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y LA DURABILIDAD DEL CONCRETO"
Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque.
Fecha de ensayo : Martes, 18 de marzo de 2025
Ensayo : MÉTODO DE PRUEBA PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA PENETRACIÓN DEL IÓN CLORURO
Referencia : ASTM C-1202-17
Mezcla de concreto : Convencional, f'c = 210kg/cm2 + 0.2% Nanoplaquetas
Edad : 28 días
Temperatura : 23 ± 2°C
Muestras : Probetas estandarizadas D=4"
Tipo de Sellador : Silicona líquida en las caras laterales
Tipo de curado : Curado normalizado en pozas de agua del laboratorio

PROBETA_DP 210+ 0.2%NPG	DIÁMETRO				ESPESOR			
	D 1(mm)	D 2mm)	D 3(mm)	Dprom (mm)	e- 1(mm)	e- 2(mm)	e- 3(mm)	Dprom (mm)
DP-1	101.8	101.6	100.7	101.4	51.31	51.10	51.14	51.18
DP-2	100.3	100.5	101.2	100.7	52.01	52.06	51.74	51.94
DP-3	101.6	101.7	100.8	101.4	51.19	51.83	51.28	51.43

Registro de Datos		DP-1	DP-2	DP-3
Dato N°	t (30min)	in (A)	in (A)	in (A)
1	0	0.055	0.048	0.061
2	30	0.061	0.050	0.067
3	60	0.067	0.054	0.071
4	90	0.074	0.059	0.079
5	120	0.079	0.063	0.085
6	150	0.083	0.068	0.092
7	180	0.089	0.072	0.097
8	210	0.095	0.078	0.103
9	240	0.102	0.085	0.111
10	270	0.108	0.094	0.116
11	300	0.113	0.103	0.120
12	330	0.117	0.108	0.125
13	360	0.120	0.116	0.132



DETERMINACIÓN DE CARGA QUE PASA:

Muestras	Q (coulombs)
DP-1	1935.9
DP-2	1648.8
DP-3	2092.5
Qpromedio (Coulombs)=	1892.4

$Q = 900(I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + 2I_{90} + 2I_{120} + 2I_{150} + \dots + 2I_{330} + I_{360})$

Donde: Q = Carga pasada (coulombs)
I = Corriente (amperios), inmediatamente despues de aplicar la tensión
It = Corriente (amperios), t minutos despues de aplicar la tensión

AJUSTES DEL VALOR DE LA CARGA:

Muestras	Qs (coulombs)
DP-1	1700.356
DP-2	1468.398
DP-3	1837.902
Qpromedio (Coulombs)=	1668.885

$Q_s = Q \times \left(\frac{95}{D_{prom}}\right)^2$

Donde: Qs = Carga pasada (coulombs) a través de una muestra de 95 mm de diámetro
Q = Carga pasada (coulombs) a través de una muestra de Dprom de diámetro

COMPARACIÓN:

PENETRABILIDAD DEL IÓN CLORURO BASADA EN LA CARGA PASADA	
CARGA PASADA (COULOMBS)	PENETRABILIDAD DEL IÓN CLORURO
>4000	ALTA
2000 - 4000	MODERADA
1000 - 2000	BAJA
100 - 1000	MUY BAJA
<100	INELEGIBLE

MUESTRAS	PENETRABILIDAD DEL IÓN CLORURO
DP-1	BAJA
DP-2	BAJA
DP-3	BAJA
EVALUACION PROMEDIO	BAJA

Henry Rivadeneyra Oblitas
Tec. Laboratorio USAT
USAT Universidad Católica del Perú

ANEXO 28: RESISTENCIA DE IONES CLORUROS PARA CONCRETO CON 0.4% NPG



Prolongación Bolognesi Km. 3.5
Chilayo - Lambayeque
R.U.C. 20480781334
Email: lemswycelr@gmail.com

Solicitud de ensayo : 0101A-25/ LEMS W&C
Solicitante : Llantoy, Rodríguez Franklin Jesús
Proyecto / Obra : TESIS: "EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE NANOPLAQUETAS DE GRAFENO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y LA DURABILIDAD DEL CONCRETO"
Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chilayo, Depart. Lambayeque.
Fecha de ensayo : Miércoles, 19 de marzo de 2025
Ensayo : MÉTODO DE PRUEBA PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA PENETRACIÓN DEL IÓN CLORURO
Referencia : ASTM C-1202-17
Mezcla de concreto : Convencional, f'c = 210kg/cm² con adición 0.40% Nanoplaquetas
Edad : 28 días
Temperatura : 23 ± 2°C
Muestras : Probetas estandarizadas D=4"
Tipo de Sellador : Silicona líquida en las caras laterales
Tipo de curado : Curado normalizado en pozas de agua del laboratorio

PROBETA DP 210 + 0.4%NPG	DIÁMETRO				ESPESOR			
	D 1(mm)	D 2mm	D 3(mm)	Dprom (mm)	e- 1(mm)	e- 2(mm)	e- 3(mm)	Dprom (mm)
Muestra								
DP-1	100.3	100.5	100.8	100.5	51.29	51.08	51.12	51.16
DP-2	101.2	101.4	101.9	101.2	51.99	52.04	51.72	51.92
DP-3	100.6	100.5	100.8	100.6	51.17	51.81	51.26	51.41

Registro de Datos		DP-1	DP-2	DP-3
Dato N°	t (30min)	in (A)	in (A)	in (A)
1	0	0.042	0.047	0.049
2	30	0.046	0.052	0.055
3	60	0.051	0.059	0.062
4	90	0.057	0.063	0.068
5	120	0.060	0.067	0.074
6	150	0.064	0.071	0.079
7	180	0.069	0.076	0.082
8	210	0.073	0.083	0.089
9	240	0.078	0.085	0.094
10	270	0.084	0.092	0.099
11	300	0.091	0.096	0.105
12	330	0.095	0.102	0.111
13	360	0.101	0.107	0.113



DETERMINACIÓN DE CARGA QUE PASA:

Muestras	Q (coulombs)
DP-1	1511.1
DP-2	1661.4
DP-3	1798.2
Qpromedio (Coulombs)=	1656.9

$$Q = 900(I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + 2I_{90} + 2I_{120} + 2I_{150} + \dots + 2I_{330} + I_{360})$$

Donde: Q = Carga pasada (coulombs)
I₀ = Corriente (amperios), inmediatamente despues de aplicar la tensión
I_t = Corriente (amperios), t minutos despues de aplicar la tensión

AJUSTES DEL VALOR DE LA CARGA:

Muestras	Qs (coulombs)
DP-1	1349.336
DP-2	1465.030
DP-3	1602.513
Qpromedio (Coulombs)=	1472.293

$$Q_s = Q \times \left(\frac{95}{D_{prom}} \right)^2$$

Donde: Q_s = Carga pasada (coulombs) a través de una muestra de 95 mm de diámetro
Q = Carga pasada (coulombs) a través de una muestra de D_{prom} de diámetro

COMPARACIÓN:

PENETRABILIDAD DEL ION CLORURO BASADA EN LA CARGA PASADA	
CARGA PASADA (COULOMBS)	PENETRABILIDAD DEL ION CLORURO
>4000	ALTA
2000 - 4000	MODERADA
1000 - 2000	BAJA
100 - 1000	MUY BAJA
<100	INELEGIBLE

MUESTRAS	PENETRABILIDAD DEL ION CLORURO
DP-1	BAJA
DP-2	BAJA
DP-3	BAJA
EVALUACION PROMEDIO	BAJA



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

Henry Rivadeneira Obitas
Tec. Laboratorio USAT
Universidad Católica Santa Teresa de Dique

LEMS W&C EIRL
Elferez Mendoza Medina
INGENIERO CIVIL
REG. CIP 324531

TECNICO DE LABORATORIO

ANEXO 29: RESISTENCIA DE IONES CLORUROS PARA CONCRETO CON 0.6% NPG



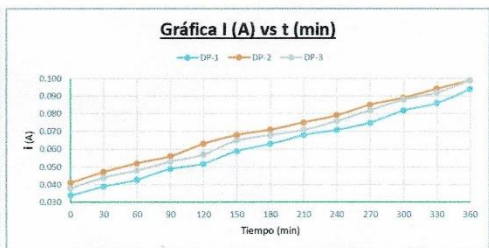
LEMS W&C EIRL
 Certificado INDECOPI N°00137704 RNP Servicios S0608589

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

Solicitud de ensayo	:	0101A-25/ LEMS W&C
Solicitante	:	Llontop Rodríguez Franklin Jesús
Proyecto / Obra	:	TESIS: "EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE NANOPLAQUETAS DE GRAFENO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y LA DURABILIDAD DEL CONCRETO"
Ubicación	:	Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque.
Fecha de ensayo	:	Jueves, 20 de marzo de 2025
Ensayo	:	MÉTODO DE PRUEBA PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA PENETRACIÓN DEL IÓN CLORURO
Referencia	:	ASTM C-1202-17
Mezcla de concreto	:	Convencional, f'c = 210kg/cm2 con adición 0.60% Nanoplaquetas
Edad	:	28 días
Temperatura	:	23 ± 2°C
Muestras	:	Probetas estandarizadas D=4"
Tipo de Sellador	:	Silicona líquida en las caras laterales
Tipo de curado	:	Curado normalizado en pozas de agua del laboratorio

PROBETA DP 210+ 0.6%NPG	DIÁMETRO				ESPESOR				
	Muestra	D 1(mm)	D 2mm)	D 3(mm)	Dprom (mm)	e- 1(mm)	e- 2(mm)	e- 3(mm)	Dprom (mm)
DP-1	101.6	101.4	100.9	101.3	101.3	51.29	51.08	51.12	51.16
DP-2	100.7	101.1	101.3	101.0	101.0	51.99	52.04	51.72	51.92
DP-3	101.5	101.6	100.8	101.3	101.3	51.17	51.81	51.26	51.41

Registro de Datos		DP-1	DP-2	DP-3
Dato N°	t (30min)	in (A)	in (A)	in (A)
1	0	0.034	0.041	0.038
2	30	0.039	0.047	0.044
3	60	0.043	0.052	0.048
4	90	0.049	0.056	0.053
5	120	0.052	0.063	0.057
6	150	0.059	0.068	0.065
7	180	0.063	0.071	0.068
8	210	0.068	0.075	0.071
9	240	0.071	0.079	0.076
10	270	0.075	0.085	0.082
11	300	0.082	0.089	0.088
12	330	0.086	0.094	0.092
13	360	0.094	0.099	0.099



DETERMINACIÓN DE CARGA QUE PASA:

Muestras	Q (coulombs)
DP-1	1351.8
DP-2	1528.2
DP-3	1462.5
Qpromedio (Coulombs)=	1447.5

$$Q = 900(I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + 2I_{90} + 2I_{120} + 2I_{150} + \dots + 2I_{330} + I_{360})$$

Donde: **Q** = Carga pasada (coulombs)
I₀ = Corriente (amperios), inmediatamente después de aplicar la tensión
it = Corriente (amperios), t minutos después de aplicar la tensión

AJUSTES DEL VALOR DE LA CARGA:

Muestras	Qs (coulombs)
DP-1	1188.888
DP-2	1351.133
DP-3	1286.246
Qpromedio (Coulombs)=	1275.422

$$Q_s = Q \times \left(\frac{95}{D_{prom}}\right)^2$$

Donde: **Q_s** = Carga pasada (coulombs) a través de una muestra de 95 mm de diámetro
Q = Carga pasada (coulombs) a través de una muestra de Dprom de diámetro

COMPARACIÓN:

PENETRABILIDAD DEL IÓN CLORURO BASADA EN LA CARGA PASADA	
CARGA PASADA (COULOMBS)	PENETRABILIDAD DEL IÓN CLORURO
>4000	ALTA
2000 - 4000	MODERADA
1000 - 2000	BAJA
100 - 1000	MUY BAJA
<100	INELEGIBLE

MUESTRAS	PENETRABILIDAD DEL IÓN CLORURO
DP-1	BAJA
DP-2	BAJA
DP-3	BAJA
EVALUACION PROMEDIO	BAJA



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

Henry Rivadeneyra Obilias
 Tec. Laboratorio USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

LEMS W&C EIRL
 Elferez Mendoza Medina
 INGENIERO CIVIL
 REG. CIP 324531