

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



**Estudio del concreto estructural de resistencia 21 MPA fabricado con
adición de Nanotubos de grafeno y sistema SNS 360**

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

AUTOR

Sol Estrella Espinal Bonilla

ASESOR

Angel Antonio Ruiz Pico

<https://orcid.org/0000-0003-2638-0593>

Chiclayo, 2024

**Estudio del concreto estructural de resistencia 21 MPA fabricado
con adición de Nanotubos de grafeno y sistema SNS 360**

PRESENTADA POR
Sol Estrella Espinal Bonilla

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

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR

Jose Alfredo Rolando Cespedes Deza
PRESIDENTE

Juan Jacobo Sanchez Bautista
SECRETARIO

Angel Antorio Ruiz Pico
VOCAL

Dedicatoria

A Dios, quien ha sido el timón del barco en el mar de mi vida; a Marleni, Joel y Devorha, les dedico este logro como testimonio de su inquebrantable apoyo y amor, que han sido la piedra angular de mi desarrollo. A Karina, por ser fuente constante de motivación durante los desafíos de esta investigación. A mi campeón en el cielo, como parte de mi promesa. Y a mi compañero de vida por su silente apoyo pero constante. Vuestra contribución ha dejado una marca indeleble en mi corazón y en mi carrera académica.

Agradecimiento

Llegar al final de esta tesis ha sido un viaje desafiante y gratificante, y no habría sido posible sin el apoyo y la colaboración de muchas personas a lo largo del camino. Quiero agradecer a mi asesor de tesis, Dr. Angel Antonio Ruiz Pico, por su guía inquebrantable, paciencia y sabios consejos. Su conocimiento y experiencia han sido fundamentales para el desarrollo de esta investigación, y su apoyo constante ha sido una fuente de inspiración.

Estudio_del_Concreto_Estructural_de_resistencia_21_Mpa_f... (1)

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	5%
2	www.hindawi.com Fuente de Internet	1%
3	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%
7	repositorio.ucp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	

Índice

Resumen	13
Abstract	14
Introducción	15
Revisión de literatura	18
Antecedentes Internacionales	18
Antecedentes Nacionales	21
Antecedentes Locales	22
Bases Teóricas	23
Concreto	23
Constituyentes del Concreto	23
Propiedades Físicas y Mecánicas de los agregados.....	24
Análisis Granulométrico	24
Peso Unitario	26
Peso Específico.....	26
Contenido de Humedad	28
Propiedades Físicas del Concreto Fresco	28
Trabajabilidad y Consistencia	28
Segregación	29
Exudación o Sangrado.....	29
Propiedades físicas y mecánicas del concreto endurecido	29
Resistencia.....	29
Durabilidad	29
Permeabilidad	30
Dosificación del concreto basado en la Norma A.C.I. 211	30
Concreto Normal	30
Concreto Pesado	30

Concreto Masivo	31
Nanotubos de Grafeno	33
Propiedades	33
Sistema SNS 360 (Soil Nano Stabilisation)	34
Componentes del Sistema SNS 360	34
Propiedades del Sistema SNS 360.....	35
Materiales y métodos.....	35
Hipótesis	35
Tipo y nivel de Investigación	36
Tipo de Investigación	36
Nivel de Investigación.....	36
Población, muestra y muestreo	36
Población.....	36
Muestra.....	37
Muestreo.....	37
Criterios de Selección.....	40
Operacionalización de Variables.....	41
Técnicas e instrumentos de recolección de datos	43
Estrategia para demostrar la hipótesis	45
Procedimientos	46
Método de dispersión	46
Caracterización de los Agregados	48
Granulometría del Agregado grueso y Agregado fino	48
Contenido de humedad del agregado grueso y fino	50
Peso específico y grado de absorción del agregado fino	51
Peso específico de masa y grado de absorción del agregado grueso.....	53

Peso volumétrico suelto del agregado fino y grueso	54
Peso volumétrico varillado del agregado fino y grueso	55
Caracterización física del concreto en estado fresco	56
Ensayo de asentamiento del concreto	56
Ensayo del peso unitario del concreto fresco	57
Ensayo del tiempo de fraguado del concreto.....	58
Ensayo de Temperatura del Concreto.....	61
Caracterización mecánica del concreto endurecido	62
Ensayo de Resistencia a la Compresión	62
Ensayo de Resistencia a la Tracción	63
Ensayo de Resistencia a la Flexión	65
Ensayo de Durabilidad del Concreto – Resistencia al Desgaste o Abrasión.....	66
Resultados y discusión.....	68
Caracterización física de los agregados.....	68
Caracterización física del cemento	73
Caracterización física de los Nanotubos de grafeno.....	73
Caracterización física del concreto en estado fresco	74
Caracterización mecánica del concreto en estado endurecido.....	81
Caracterización física y química del concreto	90
Análisis de Costos Unitarios.....	92
Conclusiones	94
Recomendaciones	97
Referencias	98
Anexos.....	108

Lista de tablas

<i>Tabla 1: Cantidades mínimas de la muestra de agregado</i>	81
<i>Tabla 2: Máxima cantidad permitida de material retenido sobre un tamiz (kg)</i>	25
<i>Tabla 3: Volumen de agua para el diseño de mezcla</i>	31
<i>Tabla 4: Relación W / C</i>	31
<i>Tabla 5: Volumen del agregado seco y compactado</i>	32
<i>Tabla 6: Cantidad de agua por unidad de volumen para concreto sin aire incorporado</i>	32
<i>Tabla 7: fijación del Slump</i>	32
<i>Tabla 8: Cantidad de aire atrapado</i>	32
<i>Tabla 9: Número de especímenes para el $f'c$</i>	38
<i>Tabla 10: Número de especímenes para resistencia a tracción</i>	38
<i>Tabla 11: Número de especímenes para resistencia a flexión</i>	38
<i>Tabla 12: Número de especímenes para resistencia a la abrasión</i>	38
<i>Tabla 13: Número de especímenes para permeabilidad</i>	38
<i>Tabla 14: Número de especímenes para durabilidad por sulfatos</i>	39
<i>Tabla 15: Número de muestras para determinación del asentamiento (SLUMP) y Temperatura</i>	39
<i>Tabla 16: Número de especímenes para determinación de Contenido de Aire, Tiempo de fraguado y Peso Unitario</i>	39
<i>Tabla 17: Operacionalización – Variable Independiente</i>	41
<i>Tabla 18: Operacionalización – Variable Dependiente</i>	41
<i>Tabla 19: Operacionalización – Variable Interviniente</i>	42
<i>Tabla 20: Metodología, técnicas y herramientas de recolección de datos</i>	43
<i>Tabla 21: Proporciones para mezclas de concreto con MWCNT y SNS 360</i>	46
<i>Tabla 22: Análisis granulométrico del agregado fino - Cantera Granda Ferreñafe</i>	68
<i>Tabla 23: Análisis granulométrico del agregado grueso - Cantera Pacherez Tres Tomas</i> ...	70
<i>Tabla 24: Contenido de humedad del agregado fino – Cantera Granda Ferreñafe</i>	71
<i>Tabla 25: Contenido de humedad del agregado grueso - Cantera Pacherez Tres Tomas</i>	71

<i>Tabla 26: Peso específico y grado de absorción del agregado fino y grueso.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 27: Peso unitario suelto y compactado del Ag. fino y grueso.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 28: Características Físicas del Cemento Portland Ordinario.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 29: Propiedades físicas de los nanotubos de grafeno de pared múltiple.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 30: Pesos Unitarios del Concreto Fresco para cada muestra.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 31: Valores de asentamiento de SNS 360 con MWCNT.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 32: Consolidación de resultados del tiempo de fraguado.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 33: Resistencia a la compresión del concreto.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 34: Cuadro de resistencia sobre las resistencias a la tracción del hormigón.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 35: Cuadro de resistencia sobre las resistencias a la flexión del hormigón.....</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 36: Resistencia al desgaste en el concreto.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 37: Resultados del ensayo de permeabilidad.....</i>	<i>89</i>

Lista de figuras

<i>Figura N° 1. Ilustración conceptual que representa de manera visual nanotubos de carbono de pared simple (SWCNT) y nanotubos de carbono de paredes múltiples (MWCNT).....</i>	<i>16</i>
<i>Figura N° 2: Porcentajes de los Constituyentes del hormigón</i>	<i>24</i>
<i>Figura N° 3: Formas alotrópicas del carbono.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura N° 4: Estrategia para demostrar la hipótesis.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura N° 5: Procedimiento de dispersión de MWCNT.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura N° 6: Proceso de preparación del concreto con MWCNT y SNS 360.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura N° 7: Colocado de muestra del Ag. fino en el horno.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura N° 8: Peso de la muestra para análisis granulométrico.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura N° 9: Tamices para la granulometría de Ag. fino</i>	<i>49</i>
<i>Figura N° 10: Tamices para la granulometría del Agregado grueso</i>	<i>50</i>
<i>Figura N° 11: Tamizado del Agregado grueso</i>	<i>50</i>
<i>Figura N° 12: Colocado de muestra de Agregado grueso en el horno.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura N° 13: Peso de la muestra del Ag. grueso.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura N° 14: Peso de la muestra de Ag. grueso.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura N° 15: Colocación del Ag. Fino en la fiola con ayuda de embudo</i>	<i>52</i>
<i>Figura N° 16: Peso de la fiola para ensayo de peso específico y absorción</i>	<i>52</i>
<i>Figura N° 17: Peso del Ag. fino para ensayo de peso específico y absorción.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura N° 18: Reposo del Ag. fino en la fiola por 24 hrs</i>	<i>52</i>
<i>Figura N° 19: Remover la fiola para eliminar el contenido de aire</i>	<i>52</i>
<i>Figura N° 20: Peso de la muestra secada en horno + recipiente</i>	<i>52</i>
<i>Figura N° 21: Agregado grueso sumergido 24 hrs en agua</i>	<i>53</i>
<i>Figura N° 22: Acomodo de la muestra después de ser retirada del agua.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura N° 23: Peso del agregado grueso.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura N° 24: Llenado del molde con el material hasta desbordar el recipiente.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura N° 25: Peso de la muestra apisonada + recipiente.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura N° 26: Apisonado del agregado 25 veces de manera distribuida</i>	<i>55</i>

<i>Figura N° 27: Medición del asentamiento del concreto (SLUMP).....</i>	<i>57</i>
<i>Figura N° 28: Peso del recipiente más el concreto.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura N° 29: Rellenado y tamizado de la muestra para iniciar el ensayo de tiempo de fraguado.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura N° 30: Inicio de la penetración de agujas en el concreto</i>	<i>60</i>
<i>Figura N° 31: Medición de la temperatura del concreto en estado fresco</i>	<i>61</i>
<i>Figura N° 32: Procedimiento de rotura para conocer la resistencia a compresión.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura N° 33: Rotura y tipo de falla del ensayo a compresión.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura N° 34: Marcación de probetas para poder identificarlas</i>	<i>64</i>
<i>Figura N° 35: Rotura y falla del espécimen en toda su longitudinal</i>	<i>64</i>
<i>Figura N° 36: Configuración del equipo para el ensayo a flexión de las vigas</i>	<i>65</i>
<i>Figura N° 37: procedimiento y rotura del ensayo a flexión.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura N° 38: Cortado de probetas y ensayo de discos en la máquina de desgaste.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura N° 39: Peso de masa inicial y final de los discos después de cada ciclo.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura N° 40: Curva granulométrica del agregado fino - Cantera Granda Ferreñafe.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura N° 41: Curva granulométrica del agregado grueso - Cantera Pacherez Tres Tomas</i>	<i>70</i>
<i>Figura N° 42: Resultados de la T° del concreto Vs T° ambiental.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura N° 43: Variación de la densidad del concreto Patrón Vs Nano adiciones</i>	<i>76</i>
<i>Figura N° 44: Resultados de la determinación del asentamiento</i>	<i>77</i>
<i>Figura N° 45: Contenido de aire del hormigón con adición de MWCNTS y SNS 360.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura N° 46: Tiempo de fraguado del concreto con adición de MWSNT y SNS 360.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura N° 47: Discusión de resultados de la resistencia a la compresión</i>	<i>81</i>
<i>Figura N° 48: Curvas del f'c de las muestras de hormigón a diferentes edades</i>	<i>82</i>
<i>Figura N° 49: Efecto de MWCNT y SNS 360 sobre la resistencia a la tracción del hormigón</i>	<i>83</i>
<i>Figura N° 50: Discusión de resultados del ensayo - resistencia a la tracción</i>	<i>84</i>
<i>Figura N° 51: Discusión de resultados del ensayo - resistencia a la flexión.....</i>	<i>86</i>

<i>Figura N° 52: efectos de las nano-adiciones en la resistencia al desgaste del concreto.....</i>	<i>88</i>
<i>Figura N° 53:Discusión de resultados del ensayo - resistencia a la penetración de agua.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura N° 53:Discusión de resultados del ensayo - resistencia a la penetración de agua.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura N° 54: imagen de microscopio electrónico de barrido de la matriz del concreto con MWCNT y SNS 360</i>	<i>91</i>
<i>Figura N° 54: imagen de microscopio electrónico de barrido de la matriz del concreto con MWCNT y SNS 360</i>	<i>91</i>
<i>Figura N° 55: Prueba de espectroscopia de dispersión de energía en una muestra de hormigón.....</i>	<i>92</i>
<i>Figura N° 55: Prueba de espectroscopia de dispersión de energía en una muestra de hormigón.....</i>	<i>92</i>

Resumen

La investigación actual se enfoca en evaluar cómo afecta el uso de Nanotubos de Grafeno y el Sistema SNS 360 al concreto estructural con resistencia de 21Mpa. Utilizamos una metodología cuantitativa de carácter experimental, considerando como variables independientes a los Nanotubos de Grafeno y el Sistema SNS 360, y como variables intervinientes las propiedades constituyentes propias del concreto. La muestra analizada incluye una mezcla de concreto estándar y otra con nano-adiciones, sumando un total de 160 prototipos: 140 cilíndricos y 20 prismáticos. Los ensayos realizados abarcan determinación del $f'c$, tracción y flexión en distintos intervalos: 3, 7, 14 y 28 días. Se experimentó con dosificaciones de MWCNT de 0.10%, 0.25% y 0.05%, añadiendo 1% y 2% de SNS 360 en cada caso.

Los resultados indican que la dosificación de 0.05% de MWCNT combinado con 2% NPF ofrece las mejores prestaciones en el concreto. Algunos parámetros obtenidos son: asentamiento de 3.8", peso unitario de 2321 kg/cm³, contenido de aire del 1.8%, y tiempo de fraguado de 125 min. A los 28 días, el $f'c$ alcanzó 330 kg/cm², la tracción fue de 27 kg/cm², y la flexión llegó a 64 kg/cm². En cuanto al desgaste, superó en 0.078% al diseño estándar, y la permeabilidad mostró una penetración máxima de 19.29 mm. El costo por m³ es de S/ 991.71, indica un aumento del 33.4% en relación con el concreto convencional.

Palabras clave: Nanotubos de Grafeno, Nanotecnología, Cemento Portland, Soil Nano Stabilization, Propiedades físico-mecánicas

Abstract

The current research focuses on evaluating how the use of Graphene Nanotubes and the SNS 360 System affects structural concrete with a strength of 21 MPa. We use a quantitative methodology of an experimental nature, considering as independent variables the Graphene Nanotubes and the SNS 360 System, and as intervening variables the intrinsic constituent properties of the concrete. The analyzed sample comprises a standard concrete mix and another with nano-additives, totaling 160 prototypes: 140 cylindrical and 20 prismatic. Tests were conducted on compression, tension, and bending resistance at different intervals: 3, 7, 14, and 28 days. We experimented with MWCNT dosages of 0.10%, 0.25%, and 0.05%, adding 1% and 2% of SNS 360 in each instance.

The findings suggest that a dosage of 0.05% MWCNT combined with 2% NPF provides the best performance in concrete. Notable data includes a settlement of 3.8", a unit weight of 2321 kg/cm³, an air content of 1.8%, and a setting time of 125 min. At 28 days, the compression strength reached 330 kg/cm², tension stood at 27 kg/cm², and bending achieved 64 kg/cm². Regarding wear, it exceeded the standard design by 0.078%, and permeability showed a maximum penetration of 19.29 mm. The cost per m³ is S/ 991.71, marking an increase of 33.4% compared to conventional concrete.

Keywords: Graphene nanotubes, Portland cement, Nanotechnology, Soil Nano Stabilization, Physical mechanical properties

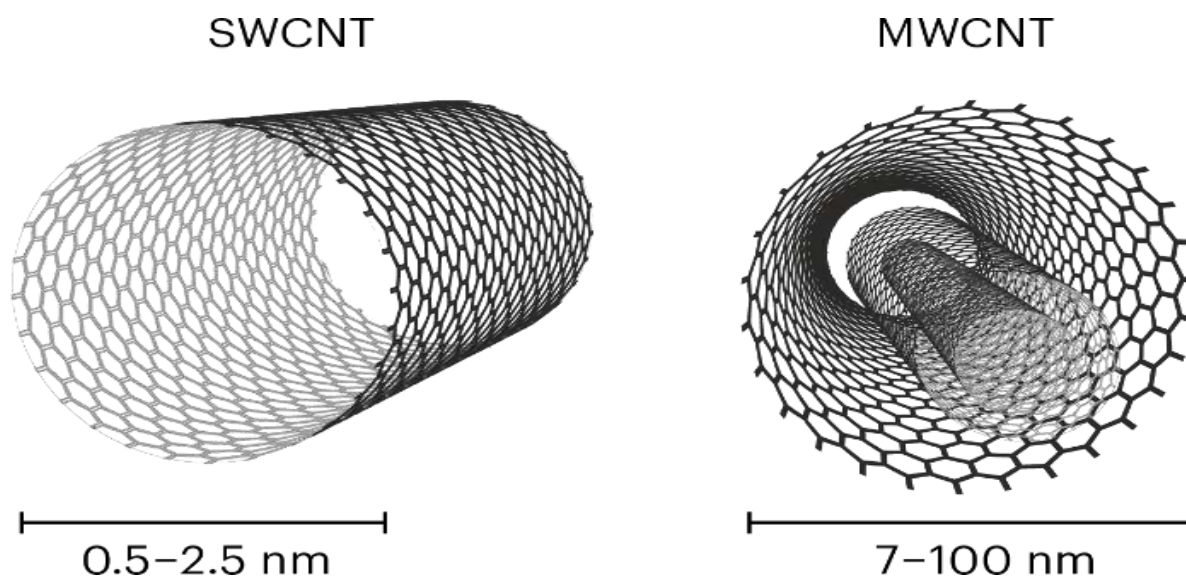
Introducción

La producción de hormigón representa una de las principales actividades industriales a nivel mundial, consolidándose como el material de construcción más importante durante siglos. Este material destaca principalmente por sus propiedades físico-mecánicas, las cuales facilitan la construcción de estructuras resistentes y de larga duración. Sin embargo, la fabricación de concreto conlleva desafíos considerables relacionados con el consumo de energía, los procesos de fabricación, los efectos ambientales y posibles implicaciones para el bienestar de las personas [1]. Pese a las ventajas que presenta el hormigón tradicional, también presenta limitaciones, especialmente en términos de resistencia y durabilidad a largo plazo. En este contexto, es necesario explorar alternativas que puedan abordar los problemas actuales en la ingeniería a través de investigaciones. De esta manera, no solo enfrentaríamos los desafíos mencionados anteriormente, sino que también podríamos resolver parte de estos problemas mediante la innovación en nuevos materiales.

La nanotecnología ha mostrado su aplicabilidad en diferentes campos, como en la ingeniería civil [2]. Recientemente, la industria de la construcción ha estado investigando cómo puede mejorar sus materiales tradicionales con la contribución de esta tecnología. Un ejemplo destacado es la influencia de nanomateriales, como los nanotubos de carbono (CNT), al cemento Portland Ordinario (OPC). Esta intervención ha conferido propiedades superiores al material, marcando un hito significativo en la ciencia de los materiales [3] [4] [5].

El nanotubo de carbono (CNT) es un fullereno con una estructura tubular derivada de paredes hexagonales de carbono, con dimensiones nanométricas en diámetro y micrométricas en longitud [6]. Se distingue principalmente en dos variantes: el de pared simple (SWCNT), que poseen una capa de grafeno, y el de paredes Múltiples (MWCNT), compuesto por múltiples láminas concéntricas de grafeno [7] [8] [9] [10] (**Figura 1**).

Figura N° 1. Ilustración conceptual que representa de manera visual nanotubos de carbono de pared simple (SWCNT) y nanotubos de carbono de paredes múltiples (MWCNT)



Fuente: CNT: Synthesis, Properties and Pharmaceutical Applications [11]

El MWCNT, debido a sus excelentes propiedades mecánicas y conductividades, ha demostrado potenciar las de compuestos cementosos en diversas aplicaciones [12]. Las investigaciones recientes subrayan que la integración de MWCNT en matrices cementosas induce transformaciones notables en sus propiedades inherentes. Se ha constatado, por ejemplo, un incremento en el f_c , fluctuando entre un 20% y un 41% [13] [14] [15] [18]. En lo referente a la resistencia a la flexión, los datos sugieren un realce que varía entre el 25% y el 33% [19] [23] [24]. En el contexto de la tracción, una variable de suma importancia, los avances reportados se encuentran en el intervalo del 20% al 31% [14] [25] [26] [27]. Paralelamente, los compuestos reforzados con MWCNT han manifestado una resistencia incrementada ante ciclos de hielo-deshielo, optimizando su durabilidad en un espectro que abarca desde el 26% hasta el 57% [28] [29] [30] [31] [32]. Con respecto a la permeabilidad, los resultados arrojan una reducción substancial, favoreciendo directamente la vida útil de las estructuras [34] [35] [36] [37] [38]. La durabilidad global, por su parte, ha experimentado un fortalecimiento notable, evidenciando una mayor resistencia ante la presencia de sulfatos y en condiciones de bajas temperaturas [39] [40] [41] [42]. En términos de resistencia al fuego, es destacable que el concreto enriquecido con MWCNT exhibe un aumento significativo en sus propiedades mecánicas al alcanzar temperaturas superiores a 300°C, acompañado de una menor propagación de llamas, lo que contribuye a la resiliencia y seguridad estructural [43] [44] [45] [46] [47].

Paralelamente, el Sistema SNS 360 se destaca como una avanzada solución en nanoestabilización de suelos. Compuesto principalmente por tensioactivos catiónicos de origen vegetal, el sistema presenta dos componentes químicos esenciales, uno en estado líquido (NLF) y el otro en estado sólido (NPF). Diversos estudios han corroborado su capacidad para potenciar las características físico-mecánicas de los suelos nativos, alcanzando niveles óptimos de estabilización. Su acción se centra en reducir la tensión superficial del agua en las partículas finas del suelo, limitando de este modo su habilidad de humectación [48]. A pesar de que su desarrollo original estuvo centrado en la estabilización de suelos, este material ha demostrado su versatilidad al encontrar aplicaciones destacadas en diversos campos de la ingeniería civil, proporcionando soluciones relevantes en proyectos de gran envergadura [49] [50] [51] [52] [53] [54] [55] [56] [57] [58] [58]. Surge la hipótesis emergente que al combinar las propiedades impermeabilizantes del SNS 360 junto a la adición de nanotubos de carbono de paredes múltiples (MWCNT), obtendríamos un concreto con propiedades físicas y mecánicas superiores.

Se plantea una serie de objetivos para lograr la correcta formulación del nuevo concreto estructural, siendo el objetivo principal **analizar** la influencia de la adición de Nanotubos de Grafeno y Sistema SNS 360 en el concreto estructural de resistencia 21Mpa.

Por otro lado, los objetivos específicos que se plantean son **caracterizar** física y químicamente los constituyentes del concreto, como la adición de Nanotubos de Grafeno y Sistema SNS 360 para la identificación de las propiedades de dichos elementos; **Establecer** la dosificación patrón y los porcentajes de adición de Nanotubos de Grafeno, asimismo los del Sistema SNS 360, para la fabricación de probetas cilíndricas de concreto; **Evaluar** física y mecánicamente las probetas cilíndricas de concreto sin incorporación de adición (muestra patrón) y de las probetas con adición de Nanotubos de Grafeno, así como la incorporación del Sistema SNS 360 respectivamente, para la determinación de la dosificación óptima y **Formular** los costos de producción de 1 m³ de concreto fabricado con la dosificación óptima para establecer la viabilidad económica y futuro uso en la industria de la construcción.

Resumiendo, la incorporación de dichos aditivos traerá consigo una serie de ventajas en cuanto a durabilidad y resistencia; por tal razón, urge investigar nuevos parámetros y formulaciones de mezclas que puedan incrementar la vida útil de las estructuras de concreto. Este trabajo se dedica al análisis de las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural diseñado para un F'c específico de 21 MPa a partir de mezclas en las que se incorporan

diferentes porcentajes de Nanotubos de Grafeno y del Sistema SNS 360. En este estudio se pretende establecer los efectos combinados de estas nanoadiciones.

Revisión de literatura

Antecedentes Internacionales

El artículo titulado “**Compatibility of carbon nanotubes in concrete with air entrainer and superplasticizer**” [8] se enfoca en investigar la posible interacción entre nanotubos de carbono de múltiples capas (MWCNTs) y aditivos químicos, como superplastificante y aire incorporado, en materiales de concreto. El objetivo principal es evaluar la compatibilidad entre estos componentes mediante pruebas experimentales de tensión superficial, índice de espuma y contenido de aire. En el proceso de experimentación, se utilizaron muestras de concreto con diferentes combinaciones de aditivos y MWCNTs. Se realizaron pruebas de tensión superficial utilizando un sistema de video contact angle, y se encontró que la adición de MWCNTs puede disminuir la tensión superficial hasta un 33%. Además, se realizaron pruebas de índice de espuma para evaluar cómo se integraba la espuma en presencia de los aditivos y MWCNTs. Los resultados mostraron que la combinación de aditivos y MWCNTs puede reducir el índice de espuma hasta un 42%. Para saber cuánto había de aire se utilizó la olla Washington para determinar la cantidad de aire atrapado en las muestras. Se observó que la adición de MWCNTs, superplastificante y aire entrainer puede disminuir el contenido de aire hasta un 60%. En base a los resultados obtenidos, se concluye que existe una interacción entre los MWCNTs, el superplastificante y el aire entrainer, lo cual puede afectar la tensión superficial, el índice de espuma y el aire incorporado en la mezcla. Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar la compatibilidad entre nanomateriales y aditivos tradicionales en la formulación de materiales de concreto.

El presente artículo “**Durability of multi-walled carbon nanotube reinforced concrete**” [33] se enfocó en analizar la durabilidad del hormigón reforzado con nanotubos de carbono de múltiples capas (CNTs). El objetivo principal fue investigar el comportamiento de la durabilidad de los hormigones reforzados con diferentes tipos de CNTs tratados y no tratados. Para ello, ejecutaron ensayos en estado endurecido de los hormigones, como la resistencia a la compresión y la absorción de agua. Los ensayos arrojaron que la adición de CNTs puede mejorar significativamente las propiedades integras del hormigón, con mejoras de hasta un 25%. En particular, se observó que los CNTs fueron más eficientes en condiciones de

fisuración, lo que indica su capacidad para actuar como puentes de microfisuras. Además, se realizaron análisis SEM y TG para estudiar la interacción de los CNTs con la matriz de cemento, lo que permitió observar la matriz puente de microfisuras por parte de los CNTs. En cuanto a los resultados numéricos, se encontró que la adición de CNTs redujo la absorción capilar en un 6.7% y en un 7.5% para los hormigones (w/c) de 0.55 y 0.45 respectivamente. Además, se observó una pérdida en el coeficiente de carbonatación en un 13.4% y un 17.1% para los mismos hormigones. En conclusión, este estudio demuestra que los CNTs pueden mejorar las propiedades del hormigón, especialmente en términos de durabilidad, y que su distribución uniforme en la matriz de cemento es fundamental para lograr un refuerzo efectivo.

El artículo llamado **“Structural benefits of using carbon nanotube reinforced high-strength lightweight concrete beams”** [27] se centra en el enfoque de las vigas de hormigón de alta resistencia reforzadas con nanotubos de carbono (CNT) y su respuesta estructural. Su enfoque fue investigar el comportamiento de estas vigas considerando diferentes variables, como el tamaño de la viga, la ratio de refuerzo y el espaciamiento de los estribos. Para ello, se llevaron a cabo pruebas experimentales en un total de seis vigas de diferentes configuraciones. Se realizaron pruebas experimentales en un total de seis vigas y se compararon los resultados con los códigos de diseño actuales. Se propuso un modelo de diseño flexural para las vigas de HSLC reforzadas con CNT. Los resultados obtenidos mostraron que las vigas reforzadas con CNT presentaban un alto f'_c y una buena ductilidad. El f'_c máximo alcanzado fue de 110 MPa, mientras que el f'_c promedio fue de 98 MPa. Además, se observaron diferentes patrones de fisuración y modos de falla en las vigas, lo que indica la influencia de las variables estudiadas en su comportamiento estructural. En conclusión, las vigas de hormigón de alta resistencia reforzadas con nanotubos de carbono presentaron beneficios estructurales, como un alto f'_c y una buena ductilidad. A pesar de ello, se observó que variables como el tamaño de la viga, la ratio de refuerzo y el espaciamiento de los estribos afectaron su comportamiento estructural. Se recomendó la incorporación de fibras sintéticas para mejorar la ductilidad en vigas con una alta ratio de refuerzo longitudinal. Además, se propuso un modelo de diseño flexural que mostró resultados similares a los códigos de diseño actuales. Estos hallazgos proporcionan una referencia básica para investigadores e ingenieros estructurales en el diseño de vigas de HSLC reforzadas con CNT.

El artículo llamado “**Mechanical properties and microstructure of multi-walled carbonnanotube-reinforced cement paste**” [21] su enfoque de estudio fue al concreto en estado endurecido y la microestructura de una pasta de cemento reforzada con nanotubos de carbono de múltiples capas (MWCNTs). El objetivo de la investigación fue examinar que efecto produce los MWCNTs en el $f'c$ y la microestructura de la pasta de cemento. Se propuso un método para dispersar los MWCNTs en agua y se obtuvo una suspensión estable de MWCNTs que se mantuvo durante más de tres meses. Se realizaron pruebas para determinar el $f'c$ y la flexión en diferentes concentraciones de MWCNTs, que variaron desde 0% hasta 0.2% en peso de cemento. Se notó que al incrementar la cantidad de MWCNTs, cada propiedad ensayada la pasta de cemento mejoraban. Al adicionar el 0.1% de MWCNTs, su $f'c$ a los 7 días y a los 28 días aumentó en un 22% y un 15% respectivamente. Asimismo, se observó un aumento en la resistencia a la flexión con la adición de MWCNTs. El análisis de microscopía electrónica de barrido (SEM) mostró que los nanotubos de carbono estaban bien dispersos en los productos de hidratación del cemento. Además, se realizó un estudio MIP para medir la distribución de tamaño de poros en las pastas de cemento reforzadas con MWCNTs, y se encontró que como se distribuía los poros se inclinaba a favor de los poros de gel, que tienen una influencia positiva en la resistencia mecánica. En resumen, cada resultado numérico mostró que la suma de MWCNTs mejoró significativamente los ensayos en estado endurecido y la microestructura de la pasta de cemento.

El artículo llamado “**The effect of carbon nanotubes on mechanical properties of structurallightweight concrete using LECA aggregates**” [35] busca la manera de como aumentar el $f'c$ del concreto convencional mediante el uso de nanotubos de carbono (CNTs) y disminuir su peso reemplazando los agregados gruesos con agregados ligeros de arcilla expandida (LECA). Siendo su principal meta evaluar el efecto de agregar diferentes contenidos de CNTs (0.02%, 0.1% y 0.3% en peso) y agregados LECA a los ensayos mecánicamente aplicado al concreto. También se estudia el efecto de estas nanopartículas en la trabajabilidad y absorción de agua del concreto ligero estructural. Se realizó una prueba de microscopía electrónica de barrido (SEM) para visualizar la unión entre los CNTs y los materiales cementantes. El concreto ligero utilizado en el estudio tenía un $f'c$ de 30 MPa y una gravedad específica de 1.7 g/cm³. Se realizaron pruebas de $f'c$, esfuerzos a tracción y resistencia a la flexión en muestras de concreto con diferentes contenidos de CNTs. Los resultados mostraron que agregar 0.02% de CNTs al concreto ligero aumentó significativamente su resistencia a la compresión en un 42% a los 7 días y un 29.4% a los 28 días. Sin embargo, agregar más CNTs

redujo la resistencia a la compresión en más del 5%. En cuanto a la resistencia a la tracción y flexión, pudo visualizar que en ambas propiedades con la adición de CNTs. En conclusión, el estudio demostró que aplicar CNTs ayuda exponencialmente en las propiedades del hormigón, pero la cantidad óptima de CNTs debe ser cuidadosamente seleccionada sino pueden causar deficiencias mismas al concreto.

Antecedentes Nacionales

Galán y Nieto [60] en su investigación se agregaron Nanotubos de Carbono (NTC) en las mezclas de concreto y se estudió la influencia que provocó sobre ella. Se realizaron 2 mezclas, la primera con NTC – 0% y la segunda con NTC (0.05%, 0.10% y 0.15%). Se realizó uso de la sonicación y superplastificante como procedimiento de dispersión, de esta manera poder determinar la distribución de NTC en la mezcla del hormigón. Se prosiguió con la realización de análisis de resistencia a la compresión, asentamiento, tracción, flexión y permeabilidad. En los ensayos se observó que el $f'c$ aumenta durante el almacenamiento de 7 a 28 días para las diversas muestras de concreto, obteniendo en el día 28 un resultado de 463 Kg/cm² para la muestra de NTC-0.15 en comparación con 410 Kg/cm² de la muestra NTC-0, lo que aplicaría un 11.6% más de resistencia. En conclusión, se obtiene que la profundidad de penetración del agua baja, la tracción y flexión aumentan y el asentamiento se reduce y el costo por m³ es mayor.

Valerio [61] en su trabajo tuvo como objetivo determinar un procedimiento de fabricación de probetas de cemento con Nanotubos de Carbono (NTC), analizando las posibles ventajas en la aplicación de la construcción a diferencia de las que no tienen agregados de NTC. Se procedió a fabricar probetas cilíndricas y cúbicas, así mismo una cámara de carbonatación. En los resultados de compresión se obtuvo un valor de 6,626 kN/cm² para la muestra con 1% de NTC, a diferencia de la muestra sin agregado que tuvo 5.05 kN/cm², de esta forma se observa que existe un mayor aumento en la muestra con agregado que representa un 30% de aumento en el $f'c$. Para culminar se probó que las probetas con agregado de 1% de NTC presentaron menor porosidad en comparación que las que no contienen NTC. De este modo se llega a la conclusión que las características mecánicas de las muestras que contienen NTC no están sujetas directamente a la porosidad más bien al vínculo de los NTC con la infraestructura del hormigón.

Apaza y Quispe [62] en su estudio se realizó para comprobar la mejora de las características mecánicas del hormigón con la inclusión de Nanotubos de Carbono (NTC). Se procedió a realizar las formulaciones del hormigón con los NTC con 2 materias primas de cemento diferente, la primera formulada con Yura tipo IP y la segunda con Wari tipo I. Cada prueba fue comparada con la muestra patrón inicial que no contiene NTC, se tiene que el f^c experimenta un ligero aumento por la inclusión de NTC a diferencia de la muestra inicial, existe un aumento de 13.39% para un valor óptimo de 0.10% y un f^c de 447.21 Kg/cm², de inclusión para formulaciones con Yura Tipo IP. En conclusión, se aumentó las características mecánicas del hormigón de manera integral utilizando proporciones adecuadas de NTC, así mismo en cuanto a su viabilidad económica y rendimiento, tienen un buen comportamiento.

Antecedentes Locales

Chamba [63] en su investigación se utilizó proporciones definidas para las propiedades físico-mecánicas en un determinado pavimento con las adiciones del compuesto estabilizador proporcionado por la propia empresa la cuales son SNS 360 y NaCl, concluyendo con un ensayo para obtener las diferencias. Se empezó con la evaluación de las consecuencias producidas al mezclar el estabilizador tradicional con un aditivo iónico, para el cloruro de sodio se tuvieron las proporciones de 2, 6, 10 y 15%; para el CD444 fue de 0.045% agregando Solidiry al 1, 1.5 y 2%, realizando de esta manera 4 excavaciones. Resultando como mejor incorporación la de cloruro de sodio en un 6% más en el terreno natural; con un valor de 44% de CBR y 1.882 g/cm³ de densidad seca máxima, y en el caso del sistema CONSOLID el CD444+2% de Solidiry con un 55.07% de CBR, 1.817 g/cm³ de densidad seca máxima y un 11.26% de humedad eficiente. Se concluye que la adición adecuada fue de 2% de Solidiry que permitió estabilizar la subrasante, así mismo se evidencia que al agregar más de este componente se lograría una mejor capacidad de soporte.

Bases Teóricas

Concreto

Según **Ricalde y Ariza** [64], el concreto consta de dos componentes, agregado y masilla de cemento. El agregado, por otro lado, es arena y grava, que generalmente representan del 60% al 75% del concreto. Para lograr ciertas propiedades prefijadas se debe tener en cuenta las proporciones adecuadas de los materiales constituyentes.

Constituyentes del Concreto

Según menciona [65], los constituyentes del concreto se detallan a continuación:

- **Cemento**

Un aglutinante inorgánico llamado cemento suele ser un polvo fino que, al mezclarse con agua, se convierte en una pasta que acaba fraguando y endureciéndose. El cemento en general es un material que tiene propiedades cohesivas [66].

Para los cementos Portland, todas las especificaciones se hallan en la Norma ASTM C 150 o NTP, en el caso de los cementos Tipo I (NTP 334.009), Tipo II (NTP 334.038), Tipo V (NTP 334.040).

- **Agua**

Un componente esencial de la mezcla del hormigón es el agua porque interviene en su proceso de hidratación y fraguado [67]. Los cuales son esenciales para que el cemento reaccione químicamente y transforme la mezcla en un sólido resistente, independiente de los áridos. Además, el agua no solo contribuye a la fijación y al proceso de endurecimiento, sino que también debe cumplir con ciertos estándares de pureza para no perjudicar la calidad del concreto [67].

Específicamente, debe estar libre de aceites, álcalis, ácidos, y otras impurezas que sean perjudiciales para el concreto [67]. Todos estos requerimientos se encuentran en la Norma NTP 339.088.

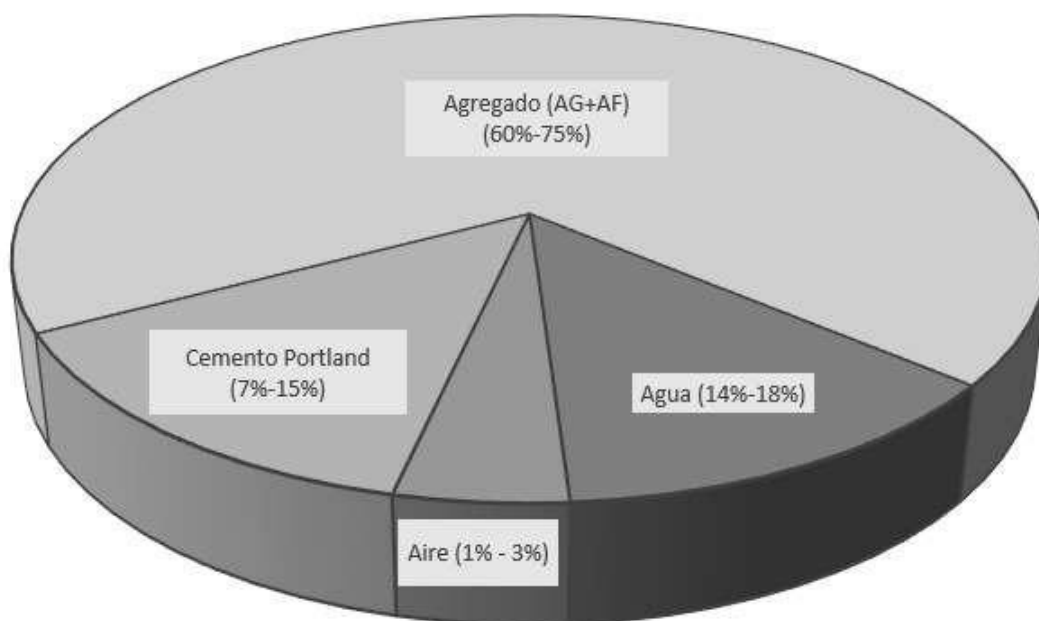
- **Agregados**

Los agregados, asimismo conocidos como áridos, se definen como toda partícula, de procedencia natural y/o artificial, susceptible a ser procesados o elaborados, cuyas

magnitudes se encuentren en un rango de parámetros fijados según la normativa peruana 400.011.

Son los componentes clave, ya que constituyen el 75% del total del volumen de concreto aproximadamente, por eso es importante su selección, y deben estar compuesto por partículas resistentes a la intemperie; además no deben contener elementos que tengan un efecto perjudicial [68].

Figura N° 2: Porcentajes de los Constituyentes del hormigón



Fuente: Creación Propia

Propiedades Físicas y Mecánicas de los agregados

- **Análisis Granulométrico**

Es la distribución de los áridos de acuerdo con el tamaño de sus partículas, según la ASTM C143 y NTP 400.037 estos deberán cumplir con las gradaciones establecidas en la norma, para lo cual se usan tamices con aberturas estandarizadas ordenados de mayor a menor con la finalidad de conocer los tipos de tamaño de agregado que se tiene.

Tabla 1: Cantidades mínimas de la muestra de agregado

Tamaño Máximo Nominal Aberturas Cuadradas mm (pulg)	Cantidad de la Muestra de Ensayo, Mínimo kg (lb)
9,5 (3/8)	1 (2)
12,5 (1/2)	2 (4)
19,0 (3/4)	5 (11)
25,0 (1)	10 (22)
37,5 (1 ½)	15 (33)
50 (2)	20 (44)
63 (2 ½)	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 (3 ½)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
125 (5)	300 (660)

Fuente: NTP 400.012

Tabla 2: Máxima cantidad permitida de material retenido sobre un tamiz (kg)

ABERTURA NOMINAL DEL TAMIZ, mm	DIMENSIÓN NOMINAL DEL TAMIZ ^A				
	203,2 mm diám. ^B	254 mm diám. ^B	304,8 mm diám. ^B	350 por 350 mm	372 por 580 mm
	ÁREA DE TAMIZADO, m ²				
	0,0285	0,0457	0,0670	0,1225	0,2158
125	C	C	C	C	67,4
100	C	C	C	30,6	53,9
90	C	C	15,1	27,6	48,5
75	C	8,6	12,6	23,0	40,5
63	C	7,2	10,6	19,3	34,0
50	3,6	5,7	8,4	15,3	27,0
37,5	2,7	4,3	6,3	11,5	20,2
25,0	1,8	2,9	4,2	7,7	13,5
19,0	1,4	2,2	3,2	5,8	10,2
12,5	0,89	1,4	2,1	3,8	6,7
9,5	0,67	1,1	1,6	2,9	5,1
4,75	0,33	0,54	0,80	1,5	2,6

Fuente: NTP 400.012

- **Peso Unitario**

Según la (NTP 400.017), (ASTM C – 29), se refiere a la masa por unidad de volumen de los materiales que se utilizan en la mezcla de concreto, como la grava y la arena. Se expresa típicamente en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3) o en libras por pie cúbico (lb/ft^3). Su valor va a depender del contenido de humedad, la variación de tamaños de las partículas y la constitución de los agregados. También va a depender del grado de compactación aplicado, la capacidad del recipiente, etc. El peso unitario se calcula para las siguientes condiciones:

- **Peso Unitario Suelto:**

Método donde el material seco se introduce delicadamente en un recipiente hasta llegar al nivel de desbordamiento, y posteriormente se enrasa a nivel con una superficie plana.

$$PUS = \vartheta * Ws$$

Donde:

PUS = Peso unitario suelto (Kg/m^3)

ϑ = Factor de calibración ($1/\text{m}^3$)

Ws = Peso de la muestra suelta (Kg)

- **Peso Unitario Compactado:**

Su unidad de medida se expresa por unidad de volumen. Se obtiene a través de la ecuación:

$$PUC = \vartheta * Wc$$

Donde:

PUC = Peso unitario compactado (Kg/m^3)

ϑ = Factor de calibración ($1/\text{m}^3$)

Wc = Peso de la muestra compactada (Kg)

- **Peso Específico**

La gravedad específica de los áridos, definida por ASTM C-128 y NTP 400.022, es la masa de un material por unidad de volumen dividida por la masa de un volumen equivalente de agua. La arena tiene una gravedad específica que oscila entre 2,5 y 2,7 g/cm^3 .

- **Peso específico de masa seca:**

Es la proporción entre la masa al aire de un volumen determinado de material permeable y la masa al aire de un volumen idéntico de agua destilada sin gases, ambas con idéntica densidad.

$$\text{Peso Específico de Masa} = \frac{Ar}{V_f - P_w}$$

Donde:

Ar = Peso seco de la arena (g)

V_f = Vol. de la fiola (cm³)

P_w = Peso del agua (g)

- **Peso específico de masa saturado superficialmente seco:**

Es la masa de un material que ha sido saturado con agua y luego se ha dejado secar superficialmente, en comparación con la cantidad de volumen equivalente de agua.

$$P. E. M. S. S. S = \frac{500}{V_f - P_w}$$

Donde:

V_f = Vol. de la fiola (cm³)

P_w = Peso del agua (gr)

- **Porcentaje de absorción:**

Determinar cuánta agua puede absorber un agregado desde un estado seco hasta alcanzar la saturación superficial seca, expresado en porcentaje respecto al peso seco de la muestra. Es importante porque nos ayuda a conocer si el agregado quita o aporta agua a la mezcla.

$$\% Ab = \frac{500 - Ar}{Ar * 100}$$

Donde:

Ar = Peso seco de la arena (gr)

- **Contenido de Humedad**

Se refiere a la cantidad de agua presente en un agregado en relación con la cantidad seca del mismo. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$\%H = \frac{P_w - P_s}{P_s * 100}$$

Donde:

%H = Contenido de humedad (%)

P_w = Peso húmedo (gr)

P_s = Peso seco (gr)

Propiedades Físicas del Concreto Fresco

Como mencionan [64], el hormigón es un material que presenta dos fases durante su periodo útil, la primera viene a ser el recién mezclado, es decir aquel que se encuentra en estado fresco y capaz de moldearse manualmente.

Por otro lado, la otra fase ocurre después de que la mezcla se haya solidificado (estado de endurecimiento). En las dos etapas, el concreto tiene diferentes propiedades que determinan la trabajabilidad en estado plástico y a su vez, las cualidades que se lograrán durante el curado del concreto.

- **Trabajabilidad y Consistencia**

Es la cualidad que determina la capacidad de manipulación, transporte, fragua y consolidación del hormigón en estado dúctil sin causar segregación durante el vertido. Otras características que abarca son la fluidez, la consistencia, la compacidad, la movilidad, la segregación y la facilidad de acabado [64].

Se mide indirectamente, lo que requiere la evaluación previa de otros criterios relacionados con la trabajabilidad. La consistencia es la mejor métrica para medir la trabajabilidad, y se emplea el cono de Abrams (ASTM C143).

La naturaleza de los agregados y cómo se utilizan en la mezcla son algunas de las condicionantes que intervienen de forma rotunda con la trabajabilidad. Por eso es importante saber las dosificaciones de los constituyentes del concreto, la aplicación de aditivos y las condicionantes climáticas [64].

- **Segregación**

La segregación en la mezcla de concreto es causada cuando sus constituyentes se separan, generando nula uniformidad en su distribución. Eso se debe a que los agregados tienden a aislarse de la pasta de cemento, a causa de un desequilibrio en la distribución de dicha mezcla [69].

- **Exudación o Sangrado**

Es aquel proceso que se da en la mezcla, este se produce cuando existe una lámina delgada de agua procedente de la mezcla del material se desplaza hacia al exterior. Una vez en la superficie, el agua se evapora, lo que conlleva una reducción de la altura de la capa de concreto ya endurecido en comparación con la capa originalmente colocada inicialmente [69].

Propiedades físicas y mecánicas del concreto endurecido

Según menciona [64], el concreto endurecido se crea mediante un proceso llamado hidratación, haciendo que la dosificación se combine para formar conexiones químicas. En última instancia, el hormigón se endurece cuando empieza a adquirir fuerza en la parte sólida de la pasta.

- **Resistencia**

Es el esfuerzo máximo que el concreto soporta para no llegar a romperse, además de ser la propiedad más importante en su evaluación de calidad. Llegando a 28 días para desarrollar una utilización que le permita alcanzar su máxima resistencia; con edades de 56-90 días el concreto alcanza a aumentar de 10-15% su resistencia, influyendo dentro de su composición la relación a/c, si esta relación es baja en la adición de cemento, reduce la porosidad de este y aumenta su resistencia [70].

- **Durabilidad**

Viene a ser la capacidad o el grado de resistencia ante las condicionantes ambientales y de servicio a las cuales está expuesto. Las causas del debilitamiento o disminución de su durabilidad son los agentes externos o internos, ya sea los cambios de temperatura, los agentes químicos como los sulfatos y cloruros, etc.

Para evitar o mejorar la durabilidad del concreto se tiene múltiples opciones como la utilización de cemento con bajos porcentajes de aluminato tricálcicos, de álcalis; buena selección de los agregados, aplicación de aditivos, etc. [66].

- **Permeabilidad**

En cuanto a la permeabilidad, se define como el nivel de porosidad que presenta el concreto en estado sólido, dependiendo de la relación a/c, las dimensiones de los agregados, la tipología de cemento y los tiempos de curado. Para evaluar el grado de permeabilidad, la muestra de concreto, cuyo curado sea de 28 días, se somete a una presión de confinamiento unidireccional [60].

Dosificación del concreto basado en la Norma A.C.I. 211

Para determinar el diseño de mezcla de concreto, se debe conocer el tipo de trabajo que se va a realizar y los materiales a emplear, que según el método ACI 211.1, basado de la norma ASTM C33, nos permite determinar el mejor diseño de mezcla ya sea en concreto fresco o endurecido, teniendo proporciones adecuadas de adición de agua, cemento y agregado (Ver tabla 2,3,4,5,6 y 7).

Para los tipos de concreto masivos y los concretos de agregados de peso normal y pesados, el método ACI 211.1, proporciona las pautas de mezclas para la realización de esos tipos de concretos [66].

- **Concreto Normal**

Este tipo de concreto, con agregados gruesos de peso normal, son los más usados en las industrias constructoras, que va a depender de la magnitud del agregado y la dosis de aire empleada en la elaboración, para tener pesos unitarios cuyos valores oscilan entre 1440-1760 Kg/m³, con densidades entre 2200-2530 Kg/m³ [61].

- **Concreto Pesado**

Este tipo de concreto empleado en centrales nucleares para protección de rayos gamma y X; tienen una gravedad específica de 3,4-7,5, con pesos máximos de hasta 5600 Kg/m³, empleando para su elaboración minerales como hierro, troquelados de hierro, barita, entre otros [61].

- **Concreto Masivo**

Con el fin de reducir el agrietamiento se debe controlar el calor generado cuando se va a adicionar agua al cemento para la mezcla de este tipo de concreto masivo, ya que puede conseguir un cambio en su volumen por la pérdida de agua; se emplean agregados de 15,2 cm o 6 pulgadas, no siendo siempre concretos para estructuras grandes, ya sea represas y cimentaciones, asimismo para estructuras de gran envergadura [62].

Tabla 3: Volumen de agua para el diseño de mezcla

Asentamiento	Agua, en l/m ³ , para los tamaños máximos nominales del agregado grueso y consistencia indicado.							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1" á 2"	207	199	190	179	166	134	130	113
3" á 4"	228	216	205	193	181	169	143	124
6" á 7"	243	228	216	202	190	178	160	---
Concreto con aire incorporado								
1" á 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" á 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" á 7"	216	205	197	184	174	166	154	---

Fuente: Comité ACI - 211

Tabla 4: Relación W / C

f'cr (28 días)	Relación agua - cemento dediseño en peso	
	Concretos sin aire incorporado	Concretos 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: Comité ACI - 211

Tabla 5: Volumen del agregado seco y compactado

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Volumen del agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos de finura del fino.					
	2.20	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20
3/8	0.52	0.50	0.48	0.46	0.44	0.42
1/2	0.61	0.59	0.57	0.55	0.53	0.51
3/4	0.68	0.66	0.64	0.62	0.60	0.58
1	0.73	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63
1 1/2	0.78	0.76	0.74	0.72	0.70	0.68
2	0.80	0.78	0.76	0.74	0.72	0.70
3	0.83	0.81	0.79	0.77	0.75	0.73
6	0.89	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79

Fuente: Comité ACI - 211

Tabla 6: Cantidad de agua por unidad de volumen para concreto sin aire incorporado

Tamaño Máximo Nominal del Agregado grueso	Volumen unitario de agua, expresado en Lt/m ³ , para los asentamientos y perfiles de agregado grueso indicados.					
	1" á 2"		3" á 4"		6" á 7"	
	Agregado Retenido	Agregado Angular	Agregado Retenido	Agregado Angular	Agregado Retenido	Agregado Angular
3/8"	185	212	201	227	230	250
1/2"	182	201	197	216	219	238
3/4"	170	189	185	204	208	227
1"	163	182	178	197	197	216
1 1/2"	155	170	170	185	185	204
2"	148	163	163	178	178	197
3"	136	151	151	167	163	182

Fuente: Método de diseño de mezcla ACI 211

Tabla 8: Cantidad de aire atrapado

Tamaño Máximo Nominal	Aire Atrapado
3/8"	3.00%
1/2"	2.50%
3/4"	2.00%
1"	1.50%
1 1/2"	1.00%
2"	0.50%
3"	0.30%
6"	0.20%

Fuente: ACI - 211

Tabla 7: fijación del Slump

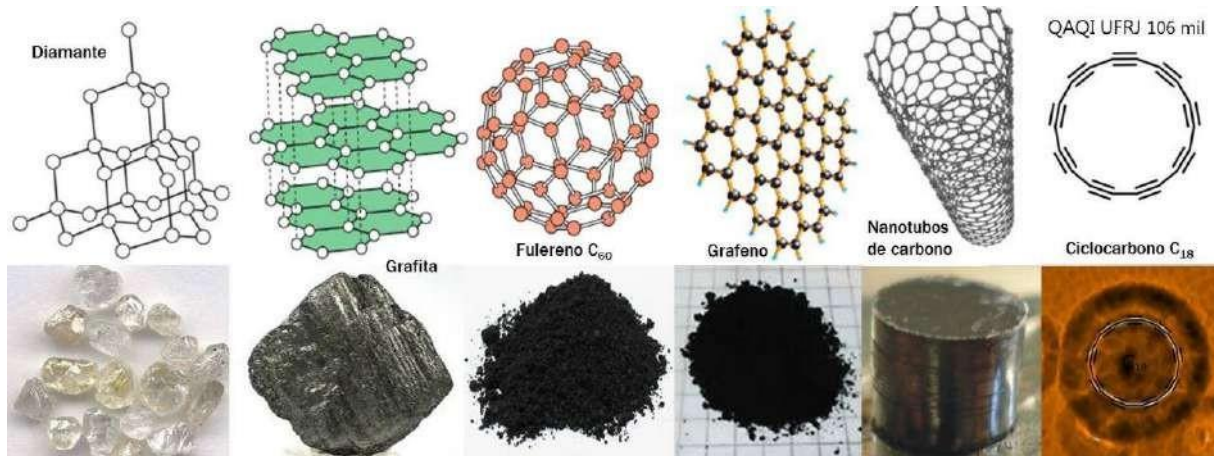
Tipo de construcción	Asentamiento	
	Máximo	Mínimo
- Zapata y muros de cimentación armado	3"	1"
- Cimentaciones simples, cajones y Vigas y muros armados	3"	1"
- Columnas de edificios	4"	1"
- Losas y pavimentos	3"	1"
- Concreto ciclopeo	2"	1"

Fuente: ACI - 211

Nanotubos de Grafeno

Conocidos por sus siglas en inglés de CNT o Carbon Nanotube, son alótropos de carbono de estructura cilíndrica; como también el grafito, diamante y fullerenos [67].

Figura N° 3: Formas alotrópicas del carbono



Propiedades

Tiene una variedad de propiedades como electrónicas, térmicas, mecánicas, semiconductoras y elásticas ya sea según su diámetro, longitud, entre otros aspectos, como se muestra a continuación [61]:

a) Propiedades Electrónicas

Debido a su composición por parte del número de capas, el diámetro y su grado de enrollamiento, se caracterizan por tener una gran complejidad electrónica siendo semi y superconductores

b) Propiedades Térmicas

Son térmicamente estables a temperaturas cercanas en el vacío a 2800°C y en el aire a 750°C , poseen una conductividad térmica de 6000 W/mK

c) Propiedades mecánicas

Presentan propiedades de mejora en mezclas asfálticas, cementantes de concretos y otras estructuras, por su resistencia a altas cargas y extremas tensiones, pues posee una resistencia de 10 veces más que el acero y son 6 veces más ligeros, con una tensión máxima de 150 GPa , pudiendo aguantar un peso de 1500 toneladas con tan solo poseer un grosor de 1 cm^2 .

d) Propiedades Semiconductoras

Tienen propiedades de conducción mejor que un dispositivo hecho de silicio, pues crean canales electrónicos eficientes, donde circulan electrones a una determinada velocidad constante [68].

e) Propiedades Elásticas

Son flexibles y resistentes a las deformaciones perpendiculares a un eje (aumentando su energía, si se origina una curvatura); siendo estas propiedades mayores a una fibra de carbono [68].

Sistema SNS 360 (Soil Nano Stabilisation)

Según menciona [68], este sistema actúa mediante catalizadores que activan al suelo por medio de un reactivo; estabilizando los suelos semi cohesivos y cohesivos, ya que estos pueden volverse a petrificar a tiempos largos con presiones elevadas.

Componentes del Sistema SNS 360

El sistema SNS 360 está compuesto por dos nano formulaciones, los cuales forman parte del tratamiento de estabilización de suelos, estos son: el NLF -Nano Liquid Formulation (líquido) y el NPF - Nano Powder Formulation (en polvo).

a. Componente Líquido - NLF (Nano Liquid Formulation)

Se aplica 0.045% sobre el suelo a trabajar, permitiendo la irreversible aglomeración de las partículas finas, reduciendo la superficie activa y actuando con la absorción del agua, mediante procesos catalíticos para formar estructuras moleculares complejas [75].

b. Componente Sólido - NPF (Nano Powder Formulation)

Se aplica entre 0.5-2% sobre el suelo a operar, ya que permite la protección contra entrada de agua o impermeabilidad, bloqueando o anulando capilares; diseñado para suelos con alta plasticidad para ser tratados de manera rápida, facilitando la unión de partículas del material [75].

Propiedades del Sistema SNS 360

Las propiedades más relevantes son:

- Funciona con diversos tipos de suelos, sin tener en cuenta la composición fisicoquímica.
- No presenta reacción química con el suelo.
- Funciona como catalizador del suelo, para lograr una densidad de valor considerable, sin petrificar el suelo.
- Disminuye la aceleración capilar en ascenso y la absorción superficial.
- Este proceso es eco amigable y respetuoso con el ecosistema.

Beneficios de usar el Sistema SNS 360

- Solidifica el suelo, ayuda a compactarlo y proporciona una protección y conservación capilar.
- Interviene en las partículas minúsculas, transformándolas en aglutinantes naturales.
- Aumenta la capacidad portante del suelo considerablemente.
- Este sistema tiene la capacidad de actuar sobre diversos patrones de suelo de forma irreversible, ello significa que luego de suministrarse sobre el terreno, puede compactarse y autocompactarse un sinnúmero de veces.

Rango de dosificación del Sistema SNS 360

Luego de varios estudios, se puede tener las cantidades o proporciones necesarias para la dosificación de NLF (Nano Liquid Formulation) y NPF (Nano Powder Formulation), llegamos a la conclusión que las dosificaciones del NLF es del 0.045% del peso del material y está si diluye en agua según el Óptimo Contenido de Humedad; en cuanto al NPF la dosificación oscila entre 1, 1.5 y 2% del peso del material. Si hablamos por m³ el NLF es de 0.90 l/m³ y el NPF sería de 20, 30 o 40 kilos/m³ asumiendo que el m³ de material es de 2 mil kilos.

Materiales y métodos

Hipótesis

La adición de Nanotubos de Grafeno y Sistema SNS 360 en la fabricación de concreto estructural de resistencia 21 Mpa mejora las propiedades físicas y mecánicas.

Tipo y nivel de Investigación

Tipo de Investigación

Según la perspectiva de este estudio es cuantitativa, debido a que se procura estudiar un concreto estructural de resistencia 21 Mpa adicionando Nanotubos de Grafeno y Sistema Soil Nano Stabilisation (SNS 360) controlando otras variables. De igual modo, se sigue el procedimiento característico a través del método cuantitativo por la cual primero, identificamos un problema, luego planteamos una hipótesis y finalmente creamos un plan de investigación [76], quien menciona que en el enfoque cuantitativo se centra en la medición precisa y la cuantificación de variables, así como también se basa en la aplicación de métodos estadísticos de datos recopilados.

El enfoque de esta investigación es experimental puesto que se modifican intencionadamente las variables independientes con el fin de obtener los resultados deseados, mientras controlamos otras variables relevantes que queremos examinar [77].

Nivel de Investigación

Experimental

Caracterizar física y mecánicamente las nano-adiciones según las fichas técnicas de los Nanotubos de Grafeno y Sistema SNS 360, el análisis granulométrico para comprobar la gradación que tienen los agregados de acuerdo con la metodología definida por la NTP 400.012 y finalmente, ensayos de caracterización física de los agregados. Se elaborará el diseño de mezcla para resistencia 21 Mpa sin adición (muestra patrón) y con adición de Nanotubos de Grafeno al 0.05%, 0.10% y 0.25%, así mismo la incorporación del Sistema SNS 360 (NPF al 1% y 2% del peso del cemento), respectivamente; posteriormente se fabricarán probetas para ser caracterizadas física y mecánicamente en estado fresco y endurecido; según los ensayos resultantes procesados se logrará aprobar o anular la hipótesis trazada.

Población, muestra y muestreo

Población

La población es el referente para seleccionar la muestra cumpliendo una serie de criterios determinados. Dentro de este marco es conveniente identificar la población o universo teniendo en cuenta los objetivos de estudio [30]. Dicho lo anterior la población para el desarrollo de la

presente investigación comprenderá la mezcla de concreto patrón y la que contiene nano-adiciones.

Muestra

La muestra es de tamaño infinita ya que comprenderá la mezcla de concreto con y sin adiciones. El cálculo de la muestra se ha realizado con la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z^2_{\alpha} \times p \times q}{e^2}$$

n = Tamaño de muestra buscado

Z = Parámetro estadístico que depende del nivel de confianza (NC)

e = Error de estimación máximo aceptado

p = Probabilidad de que ocurra el evento estudiado

q = (1-p) = Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado

Parámetro	Valor
Z	1.96
P	95.00%
Q	5.00%
e	3.00%

Tamaño de muestra

"n" = 189
especímenes

Muestreo

Se fabricarán testigos de concreto con agregados provenientes de la región, Lambayeque, con/sin adiciones de Nanotubos de Grafeno y Sistema SNS 360; las cuales nos servirán para evaluar las propiedades físicas y mecánicas del concreto en estado fresco y endurecido. El objetivo del proyecto es estudiar un concreto de resistencia 21Mpa con nanotecnología para conocer el efecto de los nanomateriales de nuestra variable dependiente, así como también estudiar sus propiedades físicas del concreto en cuanto a la muestra de control.

Tabla 9: Número de especímenes para resistencia a la compresión

CANTIDAD DE ESPECÍMENES PARA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO DE ELASTICIDAD													
% DE ADICIÓN	M. Patrón			NTG 0.05% + NPF 1%			NTG 0.10% + NPF 1%			NTG 0.25% + NPF 1%			TOTAL DE MUESTRA
DÍAS	7	14	28	7	14	28	7	14	28	7	14	28	
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	42
				NTG 0.05% + NPF 2%			NTG 0.10% + NPF 2%			NTG 0.25% + NPF 2%			
				2	2	2	2	2	2	2	2	2	

Fuente: Creación propia

Tabla 10: Número de especímenes para resistencia a tracción

CANTIDAD DE ESPECÍMENES PARA RESISTENCIA A TRACCIÓN													
% DE ADICIÓN	M. Patrón			MWCNT 0.05% + NPF 1%			MWCNT 0.10% + NPF 1%			MWCNT 0.25% + NPF 1%			TOTAL DE MUESTRA
DÍAS	7	14	28	7	14	28	7	14	28	7	14	28	
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	42
				MWCNT 0.05% + NPF 2%			MWCNT 0.10% + NPF 2%			MWCNT 0.25% + NPF 2%			
				2	2	2	2	2	2	2	2	2	

Fuente: Creación propia

Tabla 11: Número de especímenes para resistencia a flexión

CANTIDAD DE ESPECÍMENES PARA RESISTENCIA A FLEXIÓN																	
% DE ADICIÓN	M. Patrón				MWCNT 0.05% + NPF 1%				MWCNT 0.10% + NPF 1%				MWCNT 0.25% + NPF 1%				TOTAL DE MUESTRA
EDAD	3	7	14	28	3	7	14	28	3	7	14	28	3	7	14	28	
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	-	-	-	2	-	-	-	2	-	-	-	2	-	-	-	2	14
					MWCNT 0.05% + NPF 2%				MWCNT 0.10% + NPF 2%				MWCNT 0.25% + NPF 2%				
					-	-	-	2	-	-	-	2	-	-	-	2	
TOTAL DE PROBETAS																	14

Fuente: Creación propia

Tabla 12: Número de especímenes para resistencia a la abrasión

CANTIDAD DE ESPECÍMENES PARA RESISTENCIA AL DESGASTE													
% DE ADICIÓN	M. Patrón			MWCNT 0.05% + NPF 1%			MWCNT 0.10% + NPF 1%			MWCNT 0.25% + NPF 1%			TOTAL DE MUESTRA
DÍAS	7	14	28	7	14	28	7	14	28	7	14	28	
RESISTENCIA A LA ABRASIÓN	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	42
				MWCNT 0.05% + NPF 2%			MWCNT 0.10% + NPF 2%			MWCNT 0.25% + NPF 2%			
				2	2	2	2	2	2	2	2	2	

Fuente: Creación propia

Tabla 13: Número de especímenes para permeabilidad

CANTIDAD DE ESPECÍMENES PARA PERMEABILIDAD																	
% DE ADICIÓN	M. Patrón			MWCNT 0.05% + NPF 1%			MWCNT 0.10% + NPF 1%			MWCNT 0.25% + NPF 1%			TOTAL DE MUESTRA				
DÍAS	7	14	28	7	14	28	7	14	28	7	14	28					
PERMEABILIDAD	-	-	-	2	-	-	-	2	-	-	-	2	-	-	-	2	14
					MWCNT 0.05% + NPF 2%			MWCNT 0.10% + NPF 2%			MWCNT 0.25% + NPF 2%						
					-	-	-	2	-	-	-	2	-	-	-	2	

Fuente: Creación propia

Tabla 14: Número de especímenes para durabilidad por sulfatos

CANTIDAD DE ESPECÍMENES PARA SULFATOS									
% DE ADICIÓN	M. Patrón				Muestra óptima				TOTAL DE MUESTRA
EDAD	3	7	14	28	3	7	14	28	
DURABILIDAD POR SULFATOS	-	-	-	3	-	-	-	3	6
TOTAL DE PROBETAS									6

Fuente: Creación propia

Tabla 15: Número de muestras para determinación del asentamiento (SLUMP) y Temperatura

CANTIDAD DE MUESTRAS PARA DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS					
TIPO DE ENSAYO	M. Patrón	MWCNT 0.05% + NPF 1%	MWCNT 0.10% + NPF 1%	MWCNT 0.25% + NPF 1%	TOTAL
SLUMP Y TEMPERATURA	1 Muestra	1 Muestra	1 Muestra	1 Muestra	7
		MWCNT 0.05% + NPF 2%	MWCNT 0.10% + NPF 2%	MWCNT 0.25% + NPF 2%	
		1 Muestra	1 Muestra	1 Muestra	

Fuente: Creación propia

Tabla 16: Número de especímenes para determinación de Contenido de Aire, Tiempo de fraguado y Peso Unitario

CANTIDAD DE MUESTRAS PARA DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS					
TIPO DE ENSAYO	M. Patrón	MWCNT 0.05% + NPF 1%	MWCNT 0.10% + NPF 1%	MWCNT 0.25% + NPF 1%	TOTAL
CONTENIDO DE AIRE, TIEMPO DE FRAGUADO, P.UNITARIO	1 Muestra	1 Muestra	1 Muestra	1 Muestra	7
		MWCNT 0.05% + NPF 2%	MWCNT 0.10% + NPF 2%	MWCNT 0.25% + NPF 2%	
		1 Muestra	1 Muestra	1 Muestra	

Fuente: Creación propia

Es de importancia conocer que los nanomateriales incorporados en la mezcla pues su medida se expresa en (gr/cm³) y los porcentajes indicados se manejarán únicamente con las adiciones por peso del cemento.

El total de prototipos asciende a 160, de los 140 son probetas cilíndricas y 20 son probetas prismáticas. Se procederá con los ensayos de resistencia a la compresión, tracción y flexión en diferentes edades (3,7,14, y 28 días); para tener precisión en los resultados se ha considerado realizar diferentes muestras y obtener un resultado promedio, para el ensayo de resistencia a la compresión y tracción (02 probetas cilíndricas); flexión (02 probetas prismáticas); durabilidad (03 probetas prismáticas), después de 28 días de curado serán sumergidas en Na₂SO₄ y se evaluarán por un lapso de 15 semanas, este criterio de selección será descrito la sección resultados y discusión; finalmente para el ensayo de permeabilidad (02 probetas) a los 28 días.

Criterios de Selección

Ensayo de resistencia a la compresión

La elección para el número de probetas cilíndricas a ensayar por compresión está basada en la norma NTP 339.034 / ASTM C-39, se especifica numeral 7.3 que el número de especímenes a ensayar son como máximo 3 probetas cilíndricas.

Ensayo de resistencia a la flexión

La elección para el número de probetas prismáticas a ensayar por flexión está basada en la norma ASTM C-78 dado que la norma NTP 339.078 no especifica la cantidad mínima de especímenes.

Ensayo de resistencia a la tracción

La elección para el número de especímenes cilíndricos a ensayar por tracción está basada en la norma ASTM C496 – 96, la cual establece que el número de especímenes a ensayar son como máximo 03 probetas cilíndricas.

Ensayo de resistencia a la abración del concreto

La elección para el número de especímenes a ensayar por resistencia a la abrasi3n está basada en la norma ASTM C944 el número mínimo de muestras es 03 discos.

Ensayo permeabilidad

El criterio de selecci3n para el número de especímenes a ensayar para conocer la resistencia a la penetraci3n del agua está basado en la norma UNE-EN12390-8.

Operacionalización de Variables

Tabla 17: Operacionalización – Variable Independiente

Variable		Dimensión	Indicadores	unidad de medida	Técnica	Medición de indicadores
Tipo	Descripción					
Variable independiente	Nanotubos de grafeno	Dosificación de nanotubos de grafeno	Porcentaje de nanotubos de grafeno con respecto al peso del cemento en la mezcla	%	-	Ficha técnica
	Sistema SNS	Dosificación del sistema SNS	Porcentaje de la NPF y NLF con respecto al peso del cemento en la mezcla	%	-	Ficha técnica

Fuente: creación propia

Tabla 18: Operacionalización – Variable Dependiente

Variable		Dimensión	Indicadores	unidad de medida	Técnica	Medición de indicadores
Tipo	Descripción					
Variable dependiente	Propiedades físicas del concreto en estado fresco		Asentamiento	Plg.	NTP 339.035	Método de ensayo para la medición del asentamiento del hormigón con el cono de Abrams
			Temperatura	°C	NTP 339.184	Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas del concreto
			Contenido de aire atrapado	%	NTP 339.080	Método por presión para la determinación del contenido de aire en mezclas frescas
			Tiempo de fraguado	Min/Hrs	ASTM C 403	Método de prueba estándar para tiempo de fraguado de mezclas de concreto por resistencia a la penetración
			Peso unitario	Kg/m ³	NTP 339.046	Método de ensayo para la determinar la densidad (peso unitario) del hormigón (concreto)
	Propiedades mecánicas del concreto en estado endurecido		Resistencia a la compresión	Kg/cm ²	NTP 339.034	Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas
			Resistencia a la tracción indirecta	Kg/cm ²	ASTM C496-96	Método de Ensayo Estándar para Esfuerzo de Tensión por partidura en Especímenes Cilíndricos de Concreto
			Resistencia a la flexión	Kg/cm ²	NTP 339.078	Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo
			Permeabilidad	cm/hr	NTC 4483	Método de ensayo para determinar la permeabilidad del concreto al agua
			Abrasión del concreto	Kg , mm ³	ASTM C779	Método de prueba estándar para la resistencia a la abrasión de superficies horizontales de hormigón
			Módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson	Mpa	ASTM C469 - 94	Método de elasticidad estático y relación de Poisson del concreto en compresión

Fuente: creación propia

Tabla 19: Operacionalización – Variable Interviniente

Variable		Dimensión	Indicadores	unidad de medida	Técnica	Medición de indicadores	
Tipo	Descripción						
Variable interveniente	Propiedades de los constituyentes del concreto	Propiedades físicas y mecánica de los agregados	Granulometría		NTP 400.012	Norma Técnica Peruana (Granulometría de los agregados)	
			Contenido de humedad	%	NTP 339.185	Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado	
			Peso específico	gr/m ³	NTP 400.021;	Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso y fino	
			Grado de absorción	%	NTP 400.022		
			Peso unitario suelto y compactado	Kg/m ³	NTP 400.017	Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados	
		Parámetros del agua	Conductividad	mhos/cm			
			Dureza	mgCaCO 3/l		NTP 339.088	Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos
			pH	-			
		Propiedades físicas y químicas del cemento	MgO	-		NTP 334.086	Análisis químico del cemento. Método de ensayo
			SO ₃	-		NTP 334.086	
			Pérdida por ignición	-		NTP 334.086	
			Residuo insoluble	-		NTP 334.086	
			Contenido de aire	%		NTP 334.048	CEMENTOS determinación del contenido de aire en morteros de cemento hidráulico
			Finura, Superficie específica	-		NTP 334.002	CEMENTOS determinación de la finura expresada por la superficie específica
Propiedades físicas y químicas del sistema SNS 360	Expansión en autoclave	%		NTP 334.004	CEMENTOS ensayo en autoclave para determinar la estabilidad de volumen		
	Resistencia a la compresión	Kg/cm ²		NTP 334.051	CEMENTOS Método para determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento portland usando cubos de 50mm de lado		
Propiedades físicas y químicas de los nanotubos de grafenos	Color	-			Ficha técnica del producto		
	Punto de fusión	-					
Propiedades físicas y químicas del sistema SNS 360	Densidad relativa	gr/cm ³			Ficha técnica del producto		
	Densidad	gr/cm ³					
	Aspecto	-					
	Color	-					
Propiedades físicas y químicas del sistema SNS 360	Densidad a 20 °C	gr/cm ³			Ficha técnica del producto		
	pH	-					

Fuente: creación propia

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Aquí se presentan las metodologías, técnicas y herramientas propuestas para esta investigación.

Tabla 20: Metodología, técnicas y herramientas de recolección de datos

MÉTODO	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
Experimental	<p><u>Ensayos para agregados:</u></p> <p>Análisis granulométrico de los agregados (Según NTP 400.012)</p> <p>Peso unitario de los agregados suelto y compactado (Según NTP 400.017)</p> <p>Contenido de humedad de los agregados (Según NTP 339.185)</p> <p>Peso específico y capacidad de absorción de los agregados (Según NTP 400.021 y NTP 400.022)</p> <p><u>Diseño de mezcla según el método del comité 211 del ACI</u></p>	<p>Formato de las fichas de recopilación de información de la técnica y acta de resultados del laboratorio, Balanzar, Hornos, Tamices normalizados, moldes cilíndricos y prismáticos, cono de Abrams, varilla lisa compactadora, termómetro, penetrómetro, máquina para ensayo de compresión, máquina para ensayo de permeabilidad, Máquina de los ángeles, esferas de acero, tarjeta para medir ancho de fisuras, etc.</p>
	<p><u>Control de calidad del concreto en estado fresco:</u></p> <p>Aseantamiento "SLUMP" (NTP 339.035)</p> <p>Medida de la temperatura de concreto fresco (ASTM C1064)</p> <p>Método por presión para la determinación del contenido de aire en mezclas frescas (NTP 339.080)</p> <p>Ensayo para determinar el tiempo de fraguado (NTP 339.082)</p> <p>Ensayo para determinar el peso unitario (NTP 339.046 ASTM C 138)</p>	
	<p><u>Ensayos para concreto en estado endurecido:</u></p> <p>Ensayo de resistencia a la compresión (NTP 339.034)</p> <p>Ensayo de resistencia a la flexión (NTP 339.078)</p> <p>Ensayo de resistencia a la tracción (Según ASTM C496-96)</p> <p>Ensayo para determinar la permeabilidad del concreto (UNE-EN12390-8)</p> <p>Método de prueba estándar para la resistencia a la abrasión de superficies horizontales de hormigón (ASTM C779)</p> <p>Método de elasticidad estático y relación de Poisson del concreto en compresión (ASTM C469 - 94)</p>	

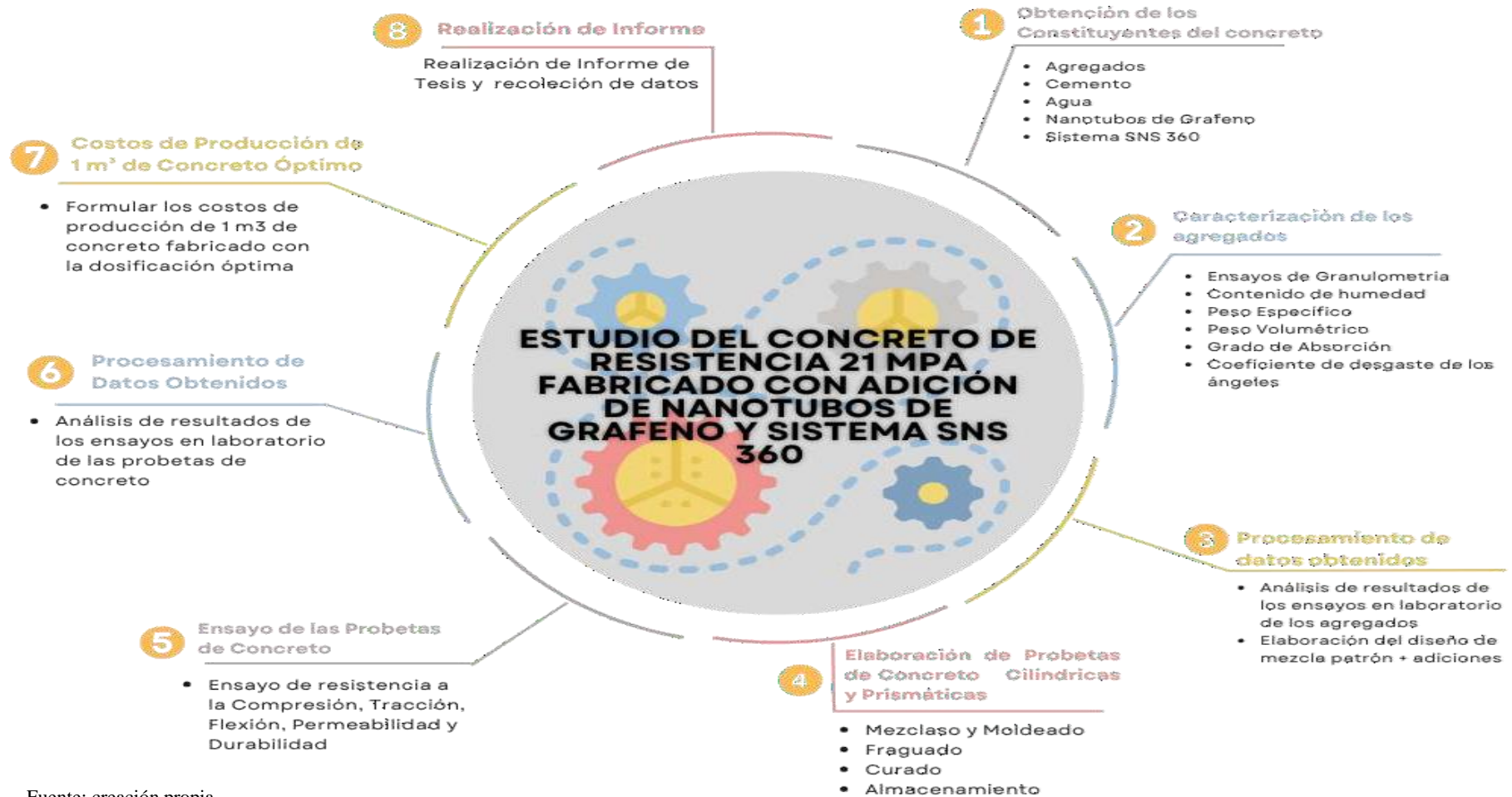
Fuente: Elaboración Propia

Con la finalidad de contrastar las diversas muestras de concreto hechas con distintas proporciones de Nanotubos de Grafeno y Sistema SNS 360, se utilizaron tablas, gráficos que nos permitirán analizar todas las conclusiones alcanzadas de las pruebas en laboratorio, así como el diseño de mezclas según el método del American Concret Institute 211. Finalmente,

cada ensayo se comparará con la mezcla control y la resistencia prevista en nuestra investigación para identificar la proporción más eficaz.

Estrategia para demostrar la hipótesis

Figura N° 4: Estrategia para demostrar la hipótesis



Fuente: creación propia

Procedimientos

Método de dispersión

La correcta dispersión de CNT (nanotubos de carbono) es vital para determinar las características de los nanocompuestos. Estos nanomateriales tienden a agruparse debido a fuerzas de atracción, como las fuerzas de Van der Waals, lo que complica lograr una distribución uniforme en la mezcla [78] [79] [80] [81] [82] [83]. Esta misma dificultad se presenta cuando intentamos dispersar estos nanomateriales en compuestos a base de cemento. Intentar mezclar CNT directamente en pasta de cemento al mezclarla no es práctico, ya que el cemento comienza a espesarse rápidamente después de añadir agua [84] [85] [86] [88]. Para hacer un uso eficiente de las propiedades de estos nanomateriales, necesitamos un método efectivo de dispersión que contrarreste su tendencia natural a agruparse. Una técnica común es la ultrasonicación, a menudo en combinación con otros métodos [89] [90] [94]. La efectividad de esta técnica depende de varios factores, como la duración, el tipo de dispositivo ultrasónico y la calidad de MWCNT utilizados.

Se han establecido mezclas usando diferentes cantidades de MWCNT con respecto al peso del cemento, y se ha utilizado un estabilizador de suelos, el SNS 360, en concentraciones de 1% y 2%. Las especificaciones detalladas se encuentran en la **Tabla 21**.

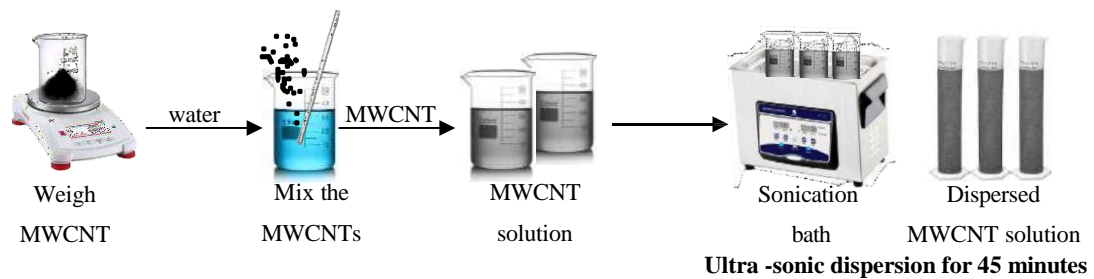
Tabla 21: Proporciones para mezclas de concreto con MWCNT y SNS 360

Mixes	Ratio	Cement	SNS 360	MWCNT
	w/c	Kg/m ³	%	%
PI-001	0,55	460	-	-
PI-002				0.10%
PI-003	0,55	460	1%	0.25%
PI-004				0.05%
PI-005				0.05%
PI-006	0,55	460	2%	0.10%
PI-007				0.25%

Fuente: creación propia

Para preparar las mezclas, primero se pesaron y se añadieron MWCNT al agua, agitándolo brevemente con una varilla de cristal para lograr una predispersión inicial. Posteriormente, se aplicaron ultrasonicación para asegurar una dispersión adecuada, operando el dispositivo a una potencia de 120 W y una frecuencia de 40 kHz durante 45 minutos a una temperatura de 35° C. La **Figura 5** muestra este proceso de mezcla en acción.

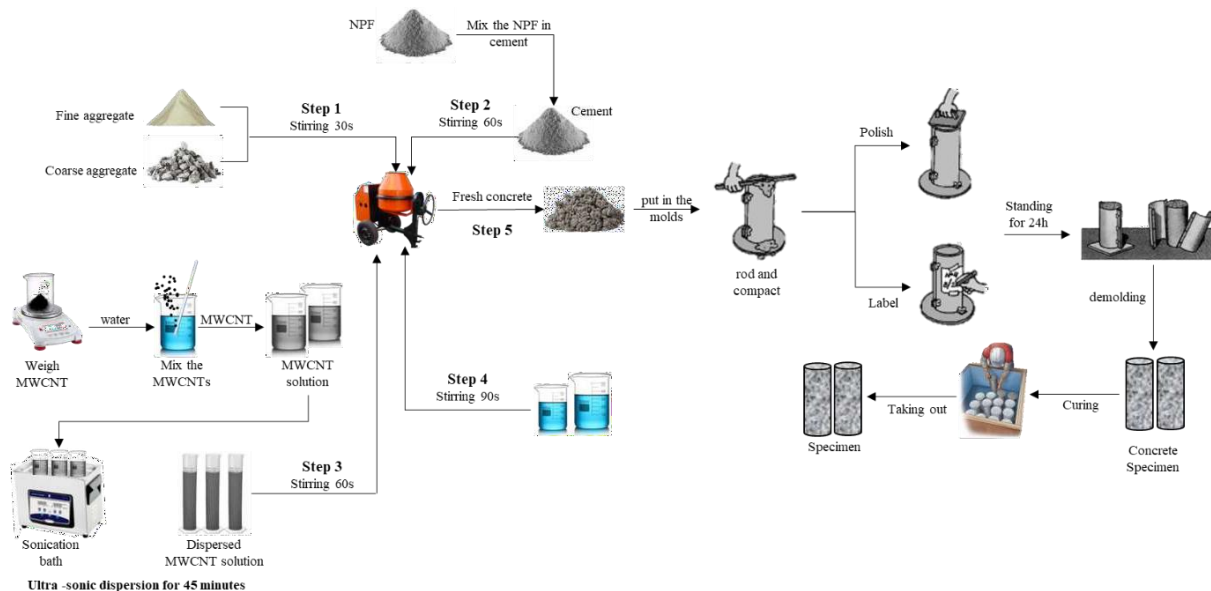
Figura N° 5: Procedimiento de dispersión de MWCNT



Fuente: creación propia

Los CNT, salvo en la mezcla PI-001, se dispersaron usando ultrasonido en el 20% del agua de mezcla durante una hora para lograr una dispersión homogénea. La **Figura 6** se demuestra el proceso exacto de preparación del concreto. Luego, el hormigón se vertió en moldes cilíndricos de 6"x 12" y en prismáticos de 6"x 6" x 22" para evaluar sus propiedades mecánicas. Simultáneamente, se hizo una evaluación física del hormigón fresco. Finalmente, el moldeo y curado de las muestras siguiendo las normas ASTM C109 y ASTM C348.

Figura N° 6: Proceso de preparación del concreto con MWCNT y SNS 360



Fuente: creación propia

Caracterización de los Agregados

Granulometría del Agregado grueso y Agregado fino

Se realiza para clasificar las partículas de un agregado según su tamaño, garantizando que la gradación cumpla lo estipulado a las normas pertinentes.

Normativa:

El estudio se basa en las normas ASTM C136, NTP 400.012 y NTP 400.037 para establecer la gradación de los constituyentes tanto finos como gruesos.

Objetivos:

- Clasificar las partículas de agregado mediante un conjunto de tamices puestos de acuerdo con el tamaño de malla.
- Identificar el módulo de finura (MF) del agregado fino y el tamaño máximo nominal (TMN) del agregado grueso.
- Verificar que la curva granulométrica del tamaño de partículas se adecúe a los criterios establecidos por la normativa.

Procedimiento para el Agregado Fino

Las figuras 7,8 y 9, demuestra el procedimiento granulométrico del agregado fino; en primer lugar, se pesa 500gr de muestra en estado natural para posteriormente ser lavada por el tamiz N°200 con la finalidad de eliminar los finos que pasan el tamiz. En segundo lugar, dejar en el horno durante 24 horas el material retenido en el tamiz 200 hasta llegar a $100 \pm 5^\circ$ C. Una vez secada, sacar la muestra del horno y retirar a temperatura ambiente para su posterior pesaje. Organizar y montar los tamices en el orden especificado desde 1/2" hasta la malla N°100 y fondo, añadir la muestra en el tamiz superior y tapanlo para evitar pérdida de material. Agitar los tamices lateralmente hasta que no se observe más paso de material a través de cada uno. Finalmente pesar lo acumulado en cada tara. Registrar los pesos y calcular tanto el porcentaje retenido como el acumulado.

Figura N° 7: Tamices para la granulometría de Ag. fino



Fuente: creación propia

Figura N° 9: Colocado de muestra del Ag. fino en el horno



Fuente: creación propia

Figura N° 8: Peso de la muestra para análisis granulométrico



Fuente: creación Propia

Procedimiento para el Agregado Grueso

Para el análisis granulométrico del AG se difundió el agregado grueso sobre una superficie llana, formando un círculo, se procede con el cuarteo. Posteriormente se debe seleccionar dos cuartas partes diagonales no consecutivas, asegurándose de que la muestra incluya tanto piedras grandes como pequeñas, garantizando así una buena gradación. El peso de muestra depende del TMN del árido en este caso el TMN es 3/4" por lo tanto se requiere de 5kg de muestra. Después, se trasladó la muestra seleccionada al horno, manteniendo una temperatura constante de $100 \pm 5^\circ \text{C}$. Una vez seco, se retiró la muestra y se dejó en un entorno ambiental para luego proceder a su pesaje. Se organizaron y montaron los tamices en el orden desde la malla de 3" hasta la malla N°16 y fondo. Se vertió gradualmente y se agitó por un tiempo prudencial hasta constatar que no queda material pasando a través de cada uno de ellos. Finalmente pesar el peso retenido. Registrar los pesos y calcular TM y TMN de la muestra.

Figura N° 10: Colocado de muestra de Agregado grueso en el horno



Fuente: creación propia

Figura N° 12: Tamizado del Agregado grueso



Fuente: creación propia

Figura N° 11: Tamices para la granulometría del Agregado grueso



Fuente: creación propia

Contenido de humedad del agregado grueso y fino

Se refiere a la cantidad de agua presente en estos materiales; el contenido de humedad se expresa como un porcentaje del peso del agua con respecto al peso seco del agregado [61].

Normativa:

Este procedimiento se realiza de acuerdo con la norma ASTM C 566 o NTP 339.185.

Objetivo:

Cuantificar el porcentaje de húmedo del Ag. Fino y del Ag. Grueso

Procedimiento:

Para realizar esta prueba primeramente se tuvo que seleccionar 2400gr de muestra en condiciones naturales, Luego se llevó a la muestra por 24hrs al interior del horno a una temperatura constante de $100 \pm 5^\circ \text{C}$. Finalmente retirar, dejar enfriar y registrar los pesos.

Figura N° 14: Peso de la muestra del Ag. fino



Fuente: Elaboración personal

Figura N° 13: Peso de la muestra de Ag. grueso



Fuente: Elaboración personal

Peso específico y grado de absorción del agregado fino

Describe cómo determinar el volumen de árido fino en mezclas de construcción, considerando la absorción de agua en sus partículas. Se enfatiza el uso de una técnica basada en el volumen absoluto de cada componente y se resalta la importancia de medir el cambio en la masa del árido fino debido a la absorción de agua para obtener resultados precisos. [69].

Normativa:

Para realizar este ensayo se tiene que seguir lo descrito en la ASTM C 128 o NTP 400.022

Objetivo:

El análisis del peso del material en relación con su volumen y su capacidad para absorber agua, son cruciales para asegurar que el agregado cumpla con los estándares requeridos, influenciando directamente en la calidad, durabilidad y rendimiento del concreto resultante.

Procedimiento:

Para este tipo de ensayo primero se pasó la muestra por el tamiz N°4, del cual se pesó 500gr de agregado fino. Segundo, se pesó la fiola para posteriormente poder verter la muestra con ayuda de un embudo para evitar pérdidas de material fino. Tercero, se añadió agua destilada a la fiola y se agitó para liberar el contenido de aire. Cuarto, se dejó en reposo la muestra por 24 horas tras eliminar todo el contenido de aire, para pronto ser pesada el conjunto de la muestra, la fiola

y el agua. Quinto, se vertió con cuidado el contenido de la fiola en un recipiente dejándolo que se asiente para, posteriormente, retirar el excedente de agua con la ayuda de una pipeta. Sexto, se puso la muestra a calentar durante 1 día a temperatura de $100 \pm 5^\circ \text{C}$ constante. Finalmente, una vez pasado el tiempo de secado, se retiró y se dejó enfriar afuera del horno para luego pesarla y lograr así el peso del agregado fino una vez secado en el horno.

Figura N° 17: Peso del Ag. fino para ensayo de peso específico y absorción



Fuente: creación propia

Figura N° 16: Peso de la fiola para ensayo de peso específico y absorción



Fuente: creación propia

Figura N° 15: Colocación del Ag. Fino en la fiola con ayuda de embudo



Fuente: creación propia

Figura N° 20: Peso de la muestra secada en horno + recipiente



Fuente: creación propia

Figura N° 19: Remover la fiola para eliminar el contenido de aire



Fuente: creación propia

Figura N° 18: Reposo del Ag. fino en la fiola por 24 hrs



Fuente: creación propia

Peso específico de masa y grado de absorción del agregado grueso

Busca establecer cuánto espacio ocupa el agregado grueso en mezclas diversas, esenciales en ingeniería civil. Además, mide cuánta agua puede absorber el agregado, registrando el cambio en su masa

Normativa:

Se rige por la norma ASTM C 127 ó NTP 400.021 y se utiliza para determinar el peso específico de la masa, así como la tasa de absorción de agua del agregado grueso.

Objetivo:

Determinar cuánto espacio dentro de la mezcla es llenado por el agregado grueso, una información crucial para la formulación precisa de mezclas en construcción

Procedimiento:

El proceso inició con el pesaje de 4kg de agregado grueso, obtenido a través de un método llamado cuarteo. Se seleccionó dos muestras bien graduadas de 1526g cada una, y se las tamizó para excluir el agregado que pasa a través del tamiz N°04. Luego, se lavó cuidadosamente la muestra para eliminar el polvo y se sumergió en agua durante 24 horas. Posteriormente, se retiró el agua y se secó superficialmente el agregado. Una vez seco, se pesó la muestra y se registró este valor. Se colocó el agregado en la canastilla y se pesó en el agua. Luego, se retiró el agregado y se secó en el horno durante 24 horas. Finalmente, se deja enfriar y se pesa de nuevo para obtener el peso de la muestra secada al horno.

Figura N° 21: Peso del agregado grueso



Fuente: Creación propia

Figura N° 23: Acomodo de la muestra después de ser retirada del agua



Fuente: Creación propia

Figura N° 22: Agregado grueso sumergido 24 hrs en agua



Fuente: Creación propia

Peso volumétrico suelto del agregado fino y grueso

Este ensayo también conocido como peso unitario, se expresa en peso por unidad de volumen (kg/m³).

Normativa:

Para este ensayo, las normas a seguir son la ASTM C 29 o la NTP 400.017.

Objetivo:

Este ensayo busca determinar la densidad del agregado (fino o grueso), en términos de su peso por unidad de volumen.

Instrumentos

- Una balanza electrónica precisa
- Moldes cilíndricos de acero
- Un cucharón
- Una brocha
- Una regla de metal

Procedimiento:

Primeramente, se registra el peso del molde vacío para tener una referencia inicial. Después, se llena el molde con agregado, asegurándose de verterlo desde una altura máxima de 5 cm para lograr una distribución uniforme del material. Al llenarse el molde, se utiliza una regla de metal para nivelar la superficie y una brocha para retirar cualquier exceso de material. Finalmente, se pesa el molde ya lleno y se resta el peso del molde vacío, obteniendo así el peso neto del agregado.

Peso volumétrico varillado del agregado fino y grueso

Este caso se compacta el agregado en el molde para saber cuánto pesa un metro cúbico de ese agregado cuando está compactado.

Normativa:

Las normas por seguir son la ASTM C 29 o la NTP 400.017.

Objetivo:

Medir la densidad de masa o el peso unitario del agregado fino y grueso.

Procedimiento:

Se inició el procedimiento pesando el recipiente disponible. Luego, se llenó el recipiente con agregado, pero a cada tercio del llenado, se compacta el agregado con la varilla y se golpea el contorno del molde con el martillo de goma. Una vez lleno y compactado el molde, se niveló la superficie del agregado y se quitaron los excesos. Por último, se pesó el recipiente lleno y se restó el peso del molde vacío para obtener el peso del agregado compactado.

Figura N° 25: Apisonado del agregado 25 veces de manera distribuida



Fuente: Creación propia

Figura N° 26: Peso de la muestra apisonada + recipiente



Fuente: Creación propia

Figura N° 24: Llenado del molde con el material hasta desbordar el recipiente



Fuente: Creación propia

Caracterización física del concreto en estado fresco

Ensayo de asentamiento del concreto

Capacidad del concreto para fluir y rellenar el molde correctamente durante el proceso de vertido. Se mide utilizando el cono de Abrams.

Normativa:

La normativa que rige este proceso es la ASTM C143 o NTP 339.035. Estas son normas internacionales que definen cómo se debe realizar el ensayo de asentamiento.

Objetivo:

Es fundamental para asegurar que el concreto tenga la plasticidad adecuada para su manejo y colocación.

Instrumentos:

Los instrumentos empleados en este procedimiento incluyen

- Cono de Abrams,
- Una varilla lisa de acero
- Un cucharón
- Una wincha métrica

Procedimiento:

- Antes de comenzar el mezclado del concreto, se humedecieron todos los instrumentos indicados en el apartado anterior. Esto ayuda a prevenir la absorción de agua del concreto por parte de los instrumentos, lo cual podría afectar los resultados del ensayo.
- El cono de Abrams debe llenarse proporcionalmente y cada capa debería ser aproximadamente un tercio del volumen total del cono. Esto ayuda a asegurar que el concreto se compacte de manera uniforme y reduce la probabilidad de atrapar aire en la mezcla.
- Se colocó el primer tercio de concreto en el cono de Abrams utilizando el cucharón, asegurándonos de distribuir el concreto de manera uniforme dentro del cono.
- Compactación de la Primera Capa: Compacte la primera capa con 25 golpes uniformemente distribuidos utilizando la varilla lisa. Esto ayuda a asegurar que el concreto se acomode de manera uniforme y reduce la probabilidad de formación de vacíos.

- Añada la segunda capa de concreto en el cono, asegurándose de distribuir el material de manera uniforme.
- Compacte la segunda capa con 25 golpes uniformemente distribuidos, tal como se hizo con la primera capa.
- Para la tercera capa, llene el cono un poco más allá de su borde superior y compacte con 25 golpes. Luego, enrase la superficie superior del cono con la varilla o una plancha de albañilería, eliminando el exceso de concreto alrededor del borde del cono.
- Realice el ensayo con precaución, asegurándose de sujetar firmemente el molde contra la base para evitar errores. Retire cuidadosa pero rápidamente el cono de Abrams, levantándolo verticalmente para prevenir movimientos laterales o inclinaciones.
- Se midió el asentamiento colocando la varilla sobre el cono, y midiendo la distancia desde la parte superior de la mezcla de concreto hasta la varilla.

Figura N° 27: Medición del asentamiento del concreto (SLUMP)



Fuente: Creación Propia

Ensayo del peso unitario del concreto fresco

Normativa:

La normativa para la determinación del peso unitario se basa en las normas ASTM C138 o NTP 339.046. Estas normas especifican el método para calcular el peso unitario del concreto fresco.

Objetivo:

El objetivo del ensayo se realiza para conocer la densidad del concreto en su estado fresco, información esencial para calcular correctamente las proporciones de los ingredientes en la mezcla y prever el comportamiento del concreto en términos de su solidez y estabilidad.

Instrumentos:

Los instrumentos empleados incluyen

- Una balanza electrónica de alta precisión
- Un recipiente de medida PVC
- Una varilla de acero lisa
- Un cucharón
- Un martillo de goma
- Una plancha de pulir

Procedimiento:

Inicialmente, se obtiene el peso de un molde vacío. Luego, se llena con concreto fresco en tres capas distintas, compactando y golpeando cada una para eliminar burbujas de aire y asegurar una distribución homogénea del material. Tras alisar la superficie y eliminar el exceso de concreto, se pesa el molde lleno. La diferencia entre este peso y el del molde vacío proporciona el peso unitario del concreto, que es una medida directa de su densidad.

Figura N° 28: Peso del recipiente más el concreto



Fuente: Elaboración personal

Ensayo del tiempo de fraguado del concreto

El concepto del tiempo de fraguado se refiere al período necesario para que el concreto alcance cierto nivel de dureza después de la mezcla del agua con el cemento. Este es un aspecto crucial para el manejo, transporte y aplicación del concreto.

Normativa:

La normativa para este ensayo es la ASTM C-403 o N.T.P. 339.082. Estas normas internacionales establecen los métodos para saber cuánto es el tiempo total de fragua al concreto.

Objetivo:

El objetivo del ensayo de tiempo de fraguado es determinar cuánto tiempo tardará el concreto en endurecerse hasta el punto de ser manejable. Esto es vital para programar las operaciones de construcción, como la compactación, el acabado y el curado del concreto.

Procedimiento:

- **Preparación:** Primero, se preparó el recipiente que fue usado para contener la mezcla de concreto. Debe ser lo suficientemente grande para permitir la realización del ensayo, y se debe humedecer antes de ser llenado con concreto.
- **Mezcla:** Luego, el concreto fue mezclado. El momento en que el agua entra en contacto con el cemento marca el inicio del tiempo de fraguado.
- **Rellenado y Tamizado:** Después de la mezcla, el concreto se tamizó y se colocó en el recipiente preparado. Es importante hacer esto de manera rápida y eficiente para evitar que el concreto comience a fraguar antes de que se pueda realizar el ensayo.
- **Inicio del Ensayo:** Inmediatamente después de llenar el recipiente, se inició el ensayo de tiempo de fraguado. Esto se hace usando una aguja de penetración, que se presiona en el concreto cada 30min.
- **Mediciones:** En cada intervalo, se mide la profundidad a la que la aguja de penetración puede penetrar en el concreto. Esta profundidad indica la dureza del concreto y por lo tanto, cuánto ha avanzado el fraguado.
- **Finalización:** El ensayo terminó cuando la aguja de penetración ya no pudo penetrar en el concreto a una profundidad predeterminada. Esto indica que el concreto ha alcanzado un cierto nivel de dureza y por lo tanto ha terminado de fraguar.
- **Registro y Análisis:** Por último, se registraron todos los datos recogidos durante el ensayo y se utilizan para calcular el tiempo de fragua en el concreto.

Figura N° 29: Rellenado y tamizado de la muestra para iniciar el ensayo de tiempo de fraguado



Fuente: Elaboración personal

Figura N° 30: Inicio de la penetración de agujas en el concreto



Fuente: Elaboración personal

Para evaluar la resistencia a la penetración y los tiempos de fraguado en el concreto, se sigue un procedimiento específico que permite evaluar cómo varía la resistencia del material a lo largo del tiempo. Primero, se llevan a cabo pruebas de penetración utilizando diversas agujas, midiendo la resistencia a la penetración en los momentos adecuados para cada una de ellas. Es crucial registrar con precisión estos datos para el análisis posterior. Una vez recopilada la información, se procede a crear una curva que represente la relación entre el tiempo y la resistencia a la penetración del concreto. Esta curva es fundamental para identificar dos puntos críticos en el proceso de fraguado: el tiempo de fragua inicial y el tiempo de fragua final.

El tiempo inicial de fraguado se identifica en el momento en que la 500 lb/pulg^2 , equivalente a 3.5 MPA . Por otro lado, el tiempo de fragua final se determina cuando la resistencia llega a las 4000 lb/pulg^2 , o 27.6 MPA . La diferencia entre estos dos tiempos nos proporciona la duración total del proceso de fraguado del concreto.

Ensayo de Temperatura del Concreto

El control de temperatura es fundamental en el concreto porque influye en la velocidad de hidratación de las partículas del cemento e indirectamente en el tiempo de fraguado. Además, una temperatura alta puede generar disminución de la trabajabilidad, fragua instantánea o juntas frías.

Normativa:

Este ensayo se realiza según la norma NTP 339.184.

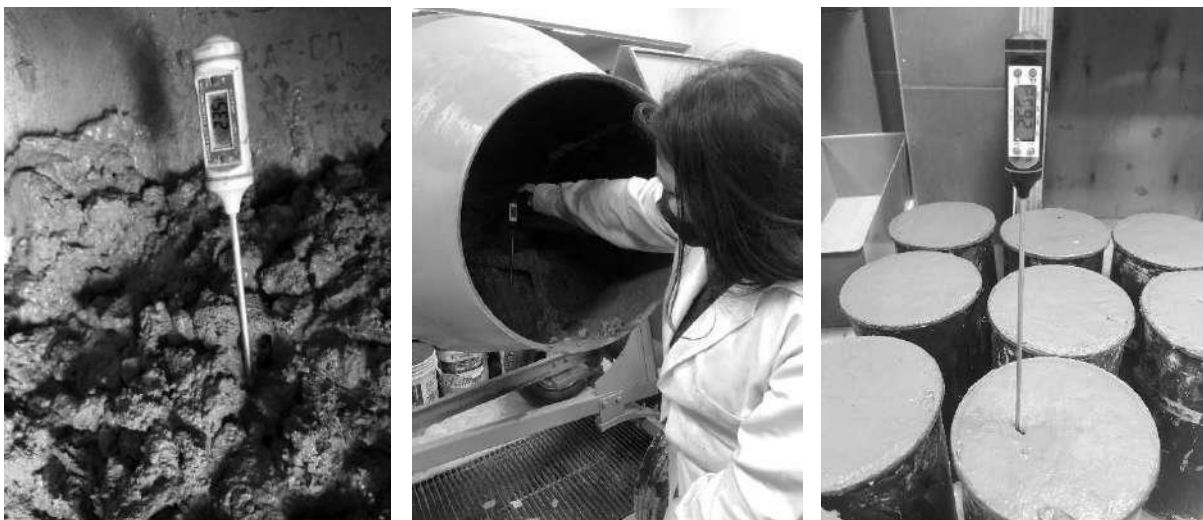
Objetivo:

El propósito fundamental de este ensayo es verificar que la temperatura del concreto fresco no exceda los 32°C , que es el límite máximo que establece la norma E.060.

Procedimiento:

Cuando el mezclado de la mezcla finalizó se insertó el termómetro en la mezcla de concreto teniendo en cuenta siempre que esté inmerso al menos 7.5cm para que la temperatura ambiental no influya en la realización de la prueba. El tiempo de permanencia del termómetro en la mezcla es de 5min . Se registró el resultado final.

Figura N° 31: Medición de la temperatura del concreto en estado fresco



Fuente: Creación propia

Caracterización mecánica del concreto endurecido

Ensayo de Resistencia a la Compresión

El término ' f'_c ' representa la resistencia a la compresión del concreto, indicando cuánto puede soportar en términos de cargas o fuerzas de compresión antes de sufrir daños permanentes o colapsar. Se mide en unidades de presión como Megapascuales (MPa) o libras por pulgada cuadrada (psi). Esta medida es fundamental porque actúa como un indicador clave de la calidad y durabilidad del concreto.

Normativa:

Este ensayo se realiza siguiendo las directrices de la norma ASTM C-39 o N.T.P.339.034.

Objetivo:

Determinar con precisión el f'_c del concreto. Para hacerlo, se somete una muestra de concreto a una carga compresiva creciente hasta que finalmente falla o se rompe.

Elaboración de probetas:

1. Se realizaron testigos de concreto de 4" x 8" y 6" x 12", llenándolos con concreto en tercios iguales proporcionales al molde.
2. Cada tercio se compacta dando 25 golpes con la varilla lisa de forma circular de afuera hacia adentro y se golpea con el martillo de goma 15 veces alrededor del molde para eliminar posibles vacíos y contenido de aire.
3. Los testigos se desmoldaron después de haber transcurrido 24 horas para posteriormente ser colocados en la poza de curado.

Procedimiento:

1. Para empezar a ensayar las probetas, estas primeras se tuvieron que retirar de la poza de curado y estén superficialmente secas.
2. Se midió con el vernier el diámetro y la altura de cada testigo.
3. Se colocó el testigo en la máquina de ensayo, se verificó que el dispositivo de lectura se encuentre en 0 y que las almohadillas de neopreno estén puestas correctamente con la finalidad de que la carga aplicada se distribuya uniformemente.
4. Se aplicó la carga de manera continua y constante a una velocidad que depende del tamaño del testigo. Para testigos de 15cm de diámetro y 30cm de altura la velocidad es

entre 15 MPa y 55 MPa. Para testigos de 10cm de diámetro y 20cm de altura la velocidad es entre 17 MPa y 32 MPa.

5. Se continuó la compresión hasta que el concreto falle. La carga máxima alcanzada se registra y se usa para calcular la resistencia a la compresión del concreto.

Figura N° 32: Procedimiento de rotura para conocer la resistencia a compresión



Fuente: Creación propia

Figura N° 33: Rotura y tipo de falla del ensayo a compresión



Fuente: Creación propia

Ensayo de Resistencia a la Tracción

Este ensayo se utiliza para determinar la resistencia del concreto a la tracción. La tracción es la capacidad de un material para resistir fuerzas que intentan estirarlo o desgarrarlo. A diferencia de otros materiales como el acero, el concreto es débil en tracción. Esta prueba es fundamental para determinar cuánto puede resistir cargas de tracción y, por tanto, su aptitud para su uso en estructuras.

Normativa:

Este ensayo se lleva a cabo siguiendo las normas ASTM C-496 o N.T.P.339.084.

Objetivo:

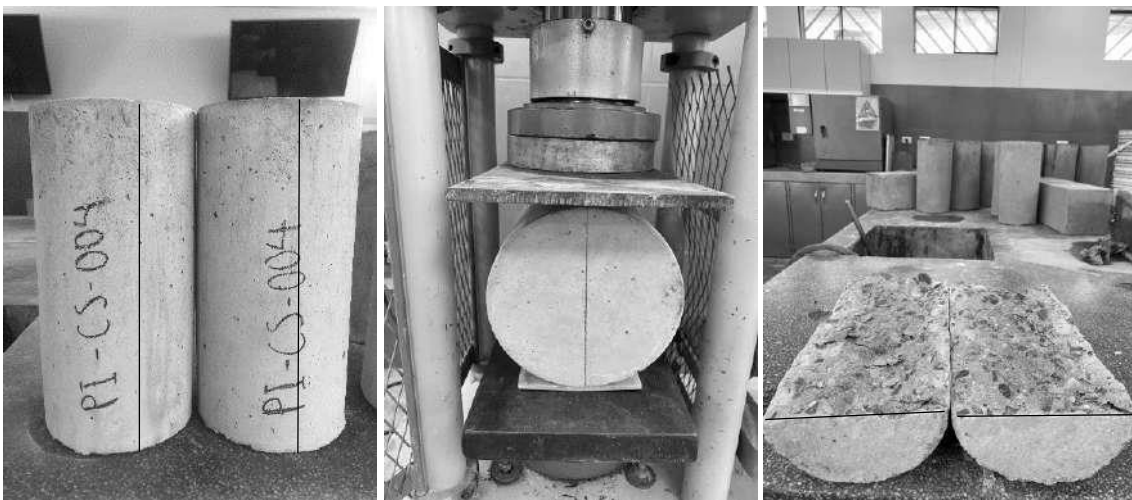
El objetivo principal de este ensayo es determinar la resistencia a la tracción del concreto. Para ello, se aplica una fuerza de compresión diametral a lo largo del testigo, o sea de manera longitudinal hasta que falle.

Elaboración de probetas: Los especímenes a ensayar se elaboraron de la misma manera que los testigos ensayados a compresión.

Procedimiento:

- Primero: Se marcan líneas diametrales en cada extremo del testigo utilizando un nivel de mano y una cera de escribir. Se midieron y registraron el diámetro y altura de cada testigo.
- Segundo: Se preparó la prensa colocando la placa en la parte inferior, sobre ella se colocaron listones de madera (10cm x 30cm) y se centra de manera que la probeta se coloque encima de él haciendo que la línea diametral central coincida con la línea trazada en el listón.
- Tercero: Se hace lo mismo con el listón de la parte superior, verificando que las líneas trazadas coincidan entre sí.
- Cuarto: Se aplicó la carga de manera continua y constante entre 100 y 200 PSI/min hasta que la máquina muestre la lectura en la pantalla. Finalmente se registró la carga mostrada en la pantalla.

Figura N° 34: Marcación de probetas para poder longitudinal identificarlas *Figura N° 35: Rotura y falla del espécimen en toda su*



Fuente: Creación propia

Ensayo de Resistencia a la Flexión

Se centra en medir la capacidad de resistencia del concreto cuando se encuentra en forma de una viga simplemente apoyada y se le aplica una carga que genera flexión o doblamiento..

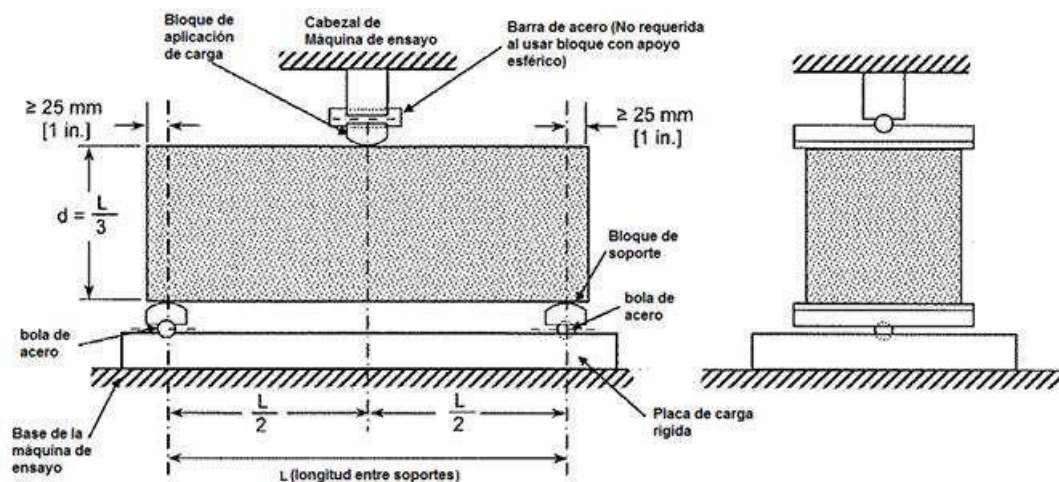
Normativa:

El ensayo se realiza siguiendo las normas ASTM C-78 o N.T.P.339.078.

Objetivo:

Calcular el Módulo de Ruptura, que no es más que el valor que representa la máxima resistencia a la flexión que una viga de concreto es capaz de soportar antes de romperse..

Figura N° 36: Configuración del equipo para el ensayo a flexión de las vigas



Fuente: ASTM C-39

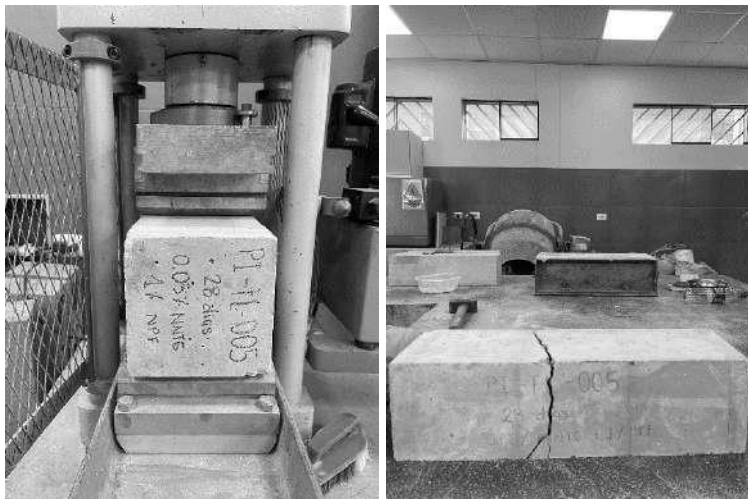
Elaboración de las vigas: Las vigas fueron elaboradas en moldes de 150mm x 150mm x 530mm. El concreto se coloca en el molde en tres capas, cada una de las cuales se compacta con 25 golpes de una varilla lisa de acero de 5/8" con puntas redondeadas y 25 golpes laterales con un mazo de goma. Después de 24 horas, las vigas se desmoldan y se llevan a curar.

Procedimiento:

1. Primero: Se marcaron las vigas con un lápiz.
2. Segundo: Las vigas se montaron en el soporte de la máquina de ensayo y se colocó la viga en el dispositivo de ensayo, asegurándose de que las líneas marcadas coincidan con el centro del bloque de soporte.

3. Tercero: Se verificó que la viga esté correctamente colocada y que el bloque que transmite la carga recaiga en cada tercio de la viga.
4. Se aplica la carga y se registra la fuerza obtenida de cada viga.

Figura N° 37: procedimiento y rotura del ensayo a flexión



Fuente: Creación propia

Ensayo de Durabilidad del Concreto – Resistencia al Desgaste o Abrasión

Este ensayo determina la resistencia de la superficie del concreto al desgaste o abrasión, que es la pérdida de material de la superficie debido al roce o al deslizamiento de otros materiales.

Normativa:

El ensayo se realiza siguiendo la norma ASTM C-944.

Objetivo:

Identificar la resistencia del concreto al desgaste o abrasión, lo que permite prever cómo resistirá el concreto a las condiciones de uso a largo plazo.

Procedimiento:

- Primero: Se elaboraron los testigos de concreto de 4" x 8", a los 28 días de curado estos se cortaron en discos de 5cm y 3cm de espesor.

- Segundo: De cada disco se registra el peso inicial, luego se colocaron los discos en la máquina de desgaste, que gira a una velocidad de 200rpm y aplica una fuerza de 9.8N (10kg).
- Se realizan tres ciclos de dos minutos cada uno, limpiando la superficie de la probeta después de cada ciclo y pesando los testigos.

Figura N° 38: Cortado de probetas y ensayo de discos en la máquina de desgaste



Fuente: Creación propia

Figura N° 39: Peso de masa inicial y final de los discos después de cada ciclo



Fuente: Creación propia

Resultados y discusión

Caracterización física de los agregados

El análisis se realizó bajo los condicionamientos descritos en la ASTM C136. El material de estudio es procedente de las canteras “Pacherrez” – Tres Tomas y “Granda” – Ferreñafe.

Análisis Granulométrico del Agregado Fino

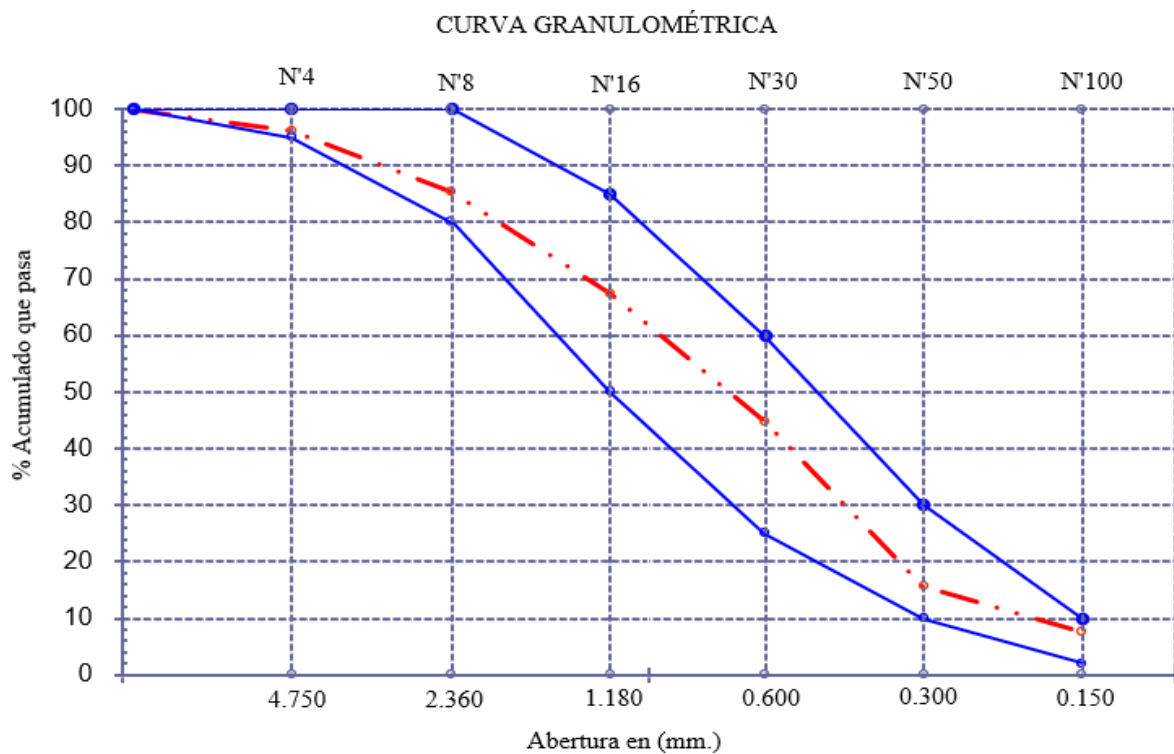
Mediante el uso de tamices ordenados desde 1/2 pulgada hasta la malla número 100 utilizando 500gr de muestra de la cantera seleccionada. La curva granulométrica resulta del proceso de gradación que existe en la muestra. Además, se determina el MF cuyo valor es considerado importante para un buen cálculo de dosificación de mezcla.

Tabla 22: Análisis granulométrico del agregado fino - Cantera Granda Ferreñafe

Malla		Peso	(%)	(%) Acum.	(%) Acum.	Especificaciones:	
Pulg.	(mm.)	Ret.	Ret.	Ret.	Que Pasa		
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	0	0.0	0.0	100.0	100	100
Nº 04	4.750	19.31	3.9	3.9	96.1	95	100
Nº 08	2.360	52.29	10.6	14.6	85.4	80	100
Nº 16	1.180	89.42	18.2	32.8	67.2	50	85
Nº 30	0.600	111.08	22.6	55.4	44.6	25	60
Nº 50	0.300	142.79	29.1	84.4	15.6	10	30
Nº 100	0.150	38.9	7.9	92.3	7.7	2	10
Fondo		37.6	7.7	100.0	0.0		
Módulo de Fineza				2.834			
Abertura de malla de referencia				9.500			

Fuente: Creación Propia

Figura N° 40: Curva granulométrica del agregado fino - Cantera Granda Ferreñafe



La **figura N° 40** presenta la gradación de las partículas del agregado fino, la curva en rojo muestra una distribución uniforme a lo largo de los tamaños de partículas, con un porcentaje equilibrado que pasa a través de los diferentes tamices, indica una buena gradación del agregado.

Cabe señalar que el resultado obtenido sigue la norma ASTM C136 y se encuentra dentro de los husos granulométricos graficados en color azul, presentado un MF de 2.83 descrito en la **Tabla 22**.

Análisis Granulométrico del Agregado Grueso

Se realizó mediante el uso de tamices ordenados desde 2 pulgada hasta la malla número 16 utilizando 6950gr de muestra de la cantera seleccionada. La curva granulométrica resulta del proceso de gradación que existe en la muestra. Además, se determina el TMN y el MF cuyos valores son de suma importancia con el fin de un buen diseño de mezcla.

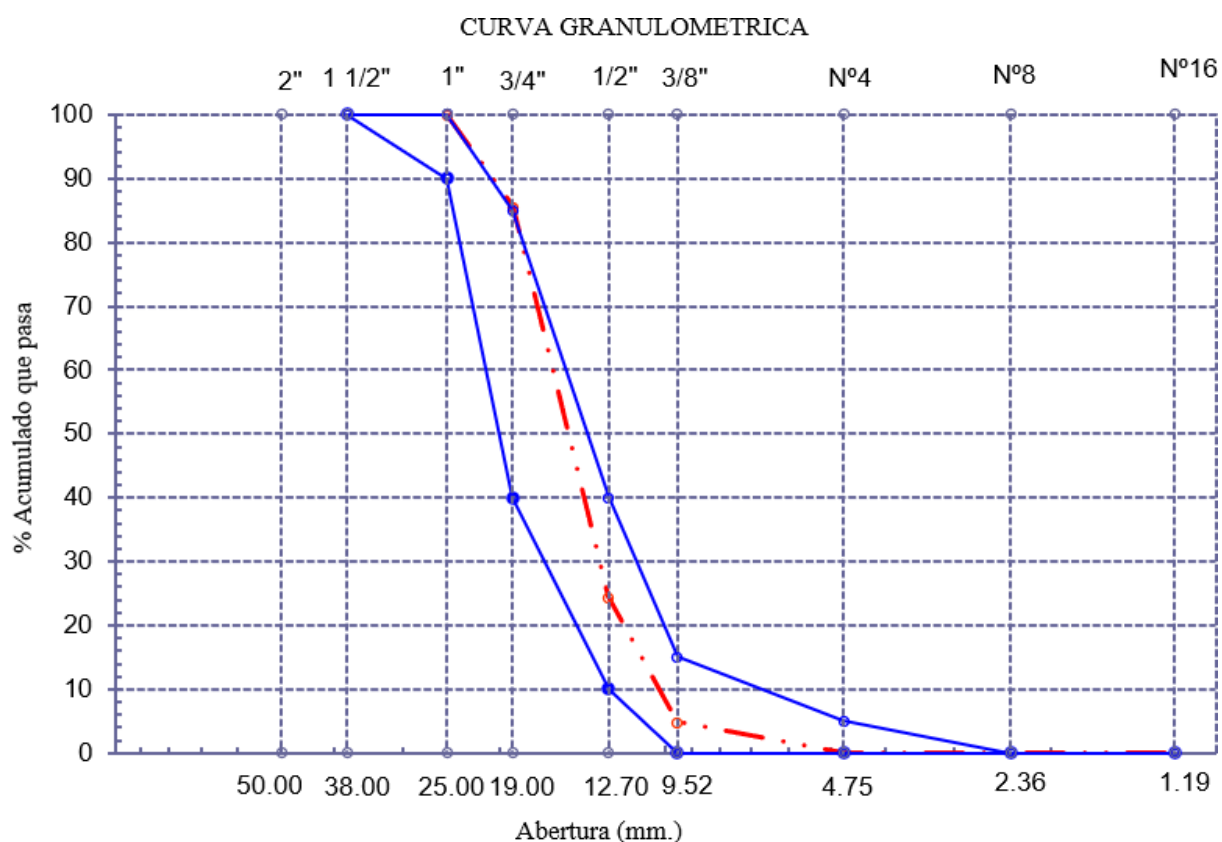
Tabla 23: Análisis granulométrico del agregado grueso - Cantera Pacherez Tres Tomas

Cantera : Pacherez - Tres Tomas P. Inicial S. 6950 % de Humedad = 0.41

Malla		Peso	(%)	(%) Acum.	(%) Acum.	Especificaciones	
Pulg.	(mm.)	Ret.	Ret.	Ret.	Que Pasa	USO 56	
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	25.00	7.0	0.1	0.1	99.9	90.0	100.0
3/4"	19.00	997.0	14.3	14.4	85.6	40.0	85.0
1/2"	12.70	4250.0	61.2	75.6	24.4	10.0	40.0
3/8"	9.52	1360.0	19.6	95.2	4.8	0.0	15.0
Nº 04	4.75	330.0	4.7	99.9	0.1	0.0	5.0
Nº 08	2.36	0.0	0.0	99.9	0.1	0.0	0.0
Nº 16	1.19	0.5	0.0	99.9	0.1	0.0	0.0
Fondo		5.6	0.1	100.0	0.0		
Tamaño Maximo			1"	38.00			
Tamaño Maximo Nominal			3/4"	25.00			

Fuente: Creación propia

Figura N° 41: Curva granulométrica del agregado grueso - Cantera Pacherez Tres Tomas



Fuente: Creación propia

La **figura 41** presenta la gradación de las partículas del agregado grueso, la curva en rojo muestra una distribución uniforme de tamaños de partículas a lo largo de la escala, con una proporción equilibrada de partículas en cada fracción de tamaño, esto indica una buena gradación del agregado grueso.

Es relevante destacar que el agregado sigue las directrices de la ASTM C136 y se ajusta a las distribuciones de tamaño ilustradas en azul, teniendo un TM de 3/4" descrito en la **Tabla 23**.

Contenido de humedad del agregado fino y grueso

Es crucial para comprender la cantidad de agua presente en el material y su influencia en las propiedades del concreto fresco. El contenido de humedad del agregado fino es 0.91% esto quiere decir que hay una cantidad relativamente baja de agua presente en el material en comparación con su peso total. Además, un contenido de humedad bajo reduce el riesgo de segregación y mejora la durabilidad a largo plazo.

Tabla 24: Contenido de humedad del agregado fino – Cantera Granda Ferreñafe

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	500	500
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	495.49	495.49
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.91	0.91
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.91	

Fuente: Elaboración Personal

La humedad presente en el agregado grueso es relativamente baja a 0.36%. Esto sugiere que sus poros están mayormente secos y solo contribuyen con una pequeña cantidad de agua a la combinación.

Tabla 25: Contenido de humedad del agregado grueso - Cantera Pacherrez Tres Tomas

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	5000	5000
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	4982	4982
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.4	0.4
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.36	

Fuente: Creación Propia

Peso específico y grado de absorción del agregado fino y grueso

Para el material fino resultó ser de 2.102 g/cm³. Además, el agregado fino demostró una capacidad de absorción del 0.87%.

Para el material grueso resultó ser de 2.173 g/cm³. Además, el agregado grueso demostró una capacidad de absorción del 1.20%.

Tabla 26: Peso específico y grado de absorción del agregado fino y grueso

DATOS		A. FINO	A. GRUESO
A. - PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.102	2.462
B. - PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.120	2.481
C. - PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.141	2.510
D. - PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.87	0.78

Fuente: Creación Propia

Peso unitario suelto y compactado del agregado fino y grueso

La **tabla 27** muestra los datos relacionados con la densidad suelta y compactada de los agregados. Se determinó la densidad por unidad de volumen del material cuando se encuentra en un estado suelto, es decir, sin compactación. En contraste, la densidad compactada se refiere a la medida cuando el material cuando se somete a un proceso de compactación, propiedad física expresada en kg/m³.

La densidad suelta del agregado fino resultó ser de 1396 Kg/m³, situándose en el margen que la norma NTP N° 400.17 establece, que va de 1400 Kg/m³ a 1600 Kg/m³. Por otro lado, la densidad compactada de este mismo agregado fue de 1673 Kg/m³, encajando dentro de los límites de 1500 Kg/m³ a 1700 Kg/m³ marcados por la normativa. Ambos valores cumplen con lo estipulado.

Tabla 27: Peso unitario suelto y compactado del Ag. fino y grueso

DATOS		A. FINO	A. GRUESO
A. - Peso unitario suelto seco (promedio)	(kg/m ³)	1396	1375
B. - Peso unitario compactado seco (promedio)	(kg/m ³)	1673	1526

Fuente: Creación Propia

La densidad suelta del agregado grueso es de 1375 Kg/m³, lo cual se alinea con lo dispuesto por la norma NTP N° 400.17. Asimismo, la densidad compactada de este agregado es de 1526 Kg/m³, ajustándose dentro del margen de 1600 Kg/m³ a 1900 Kg/m³ de dicha norma. Ambos valores cumplen con lo estipulado.

Caracterización física del cemento

Para la preparación de las muestras en esta investigación, se empleó cemento Portland ordinario (OPC) como agente aglutinante, conforme a la norma ASTM C150. Las características químicas de este cemento se detallan en la **Tabla 28**.

Tabla 28: Características Físicas del Cemento Portland Ordinario

Ensayos	Tipo	Valor	Unidad	Normas de ensayos	Resultados
Requisitos Químicos					
MgO	Máximo	6.0	%	ASTM 114	2.1
SO ₃	Máximo	3.0	%	ASTM 114	2.8
Pérdida por ignición	Máximo	3.5	%	ASTM 114	3.1
Residuo insoluble	Máximo	1.5	%	ASTM 114	0.6

Fuente: Elaboración Propia

Caracterización física de los Nanotubos de grafeno

En este apartado, se abordará en detalle la caracterización física de los nanotubos de carbono de pared múltiple, explorando sus dimensiones, morfología, propiedades físicas, y cómo estas se ven influenciadas por diferentes factores. Este análisis no solo proporcionará una base sólida para comprender los MWCNTs, sino que también facilitará el camino para su integración eficiente en aplicaciones futuras.

Tabla 29: Propiedades físicas de los nanotubos de grafeno de pared múltiple

Parámetro	Valor
Outer diameter	10-30 nm
Inner diameter	5-10 nm
Tube length	10-30 μm
C content	>95 wt%
Specific surface area	>110 m^2/g
Apparent density	0.14 g/cm^3
Tap density	$\sim 2.1 \text{ g}/\text{cm}^3$
Conductivity	>100 S/cm

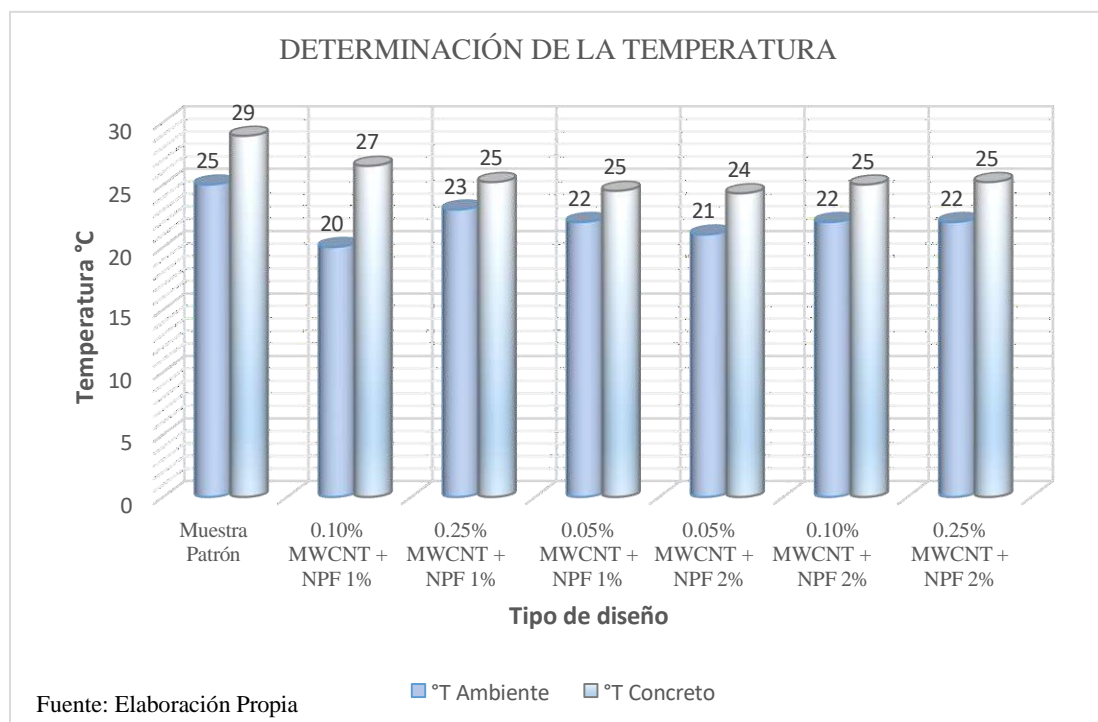
Fuente: Creación Propia

Caracterización física del concreto en estado fresco

Temperatura en el concreto fresco

Durante su colocación debe mantenerse en un nivel que evite problemas en la disminución del asentamiento, un fraguado demasiado rápido o la formación de juntas frías. Es importante tener en cuenta que la T° del concreto no debe exceder los 32°C según la normativa peruana.

Figura N° 42: Resultados de la T° del concreto Vs T° ambiental



La **figura 42** se observa que los valores de la temperatura del ambiente y del concreto fresco se mantienen generalmente dentro de un rango del 20°C a 29°C. Sin embargo, teniendo una ligera variación en la temperatura del ambiente y del concreto fresco en las muestras con diferentes concentraciones de MWCNT y NPF, aunque estas variaciones son relativamente pequeñas la temperatura del concreto parece ser más alta que la temperatura del ambiente en todas las muestras, lo cual es esperado y coherente debido a la transferencia del calor de hidratación del cemento en contacto con el agua. Por lo tanto los datos obtenidos del ensayo se encuentran dentro de las directrices comprendidas en la NTP 339.114.

Peso unitario en el concreto fresco

Tabla 30: Pesos Unitarios del Concreto Fresco para cada muestra

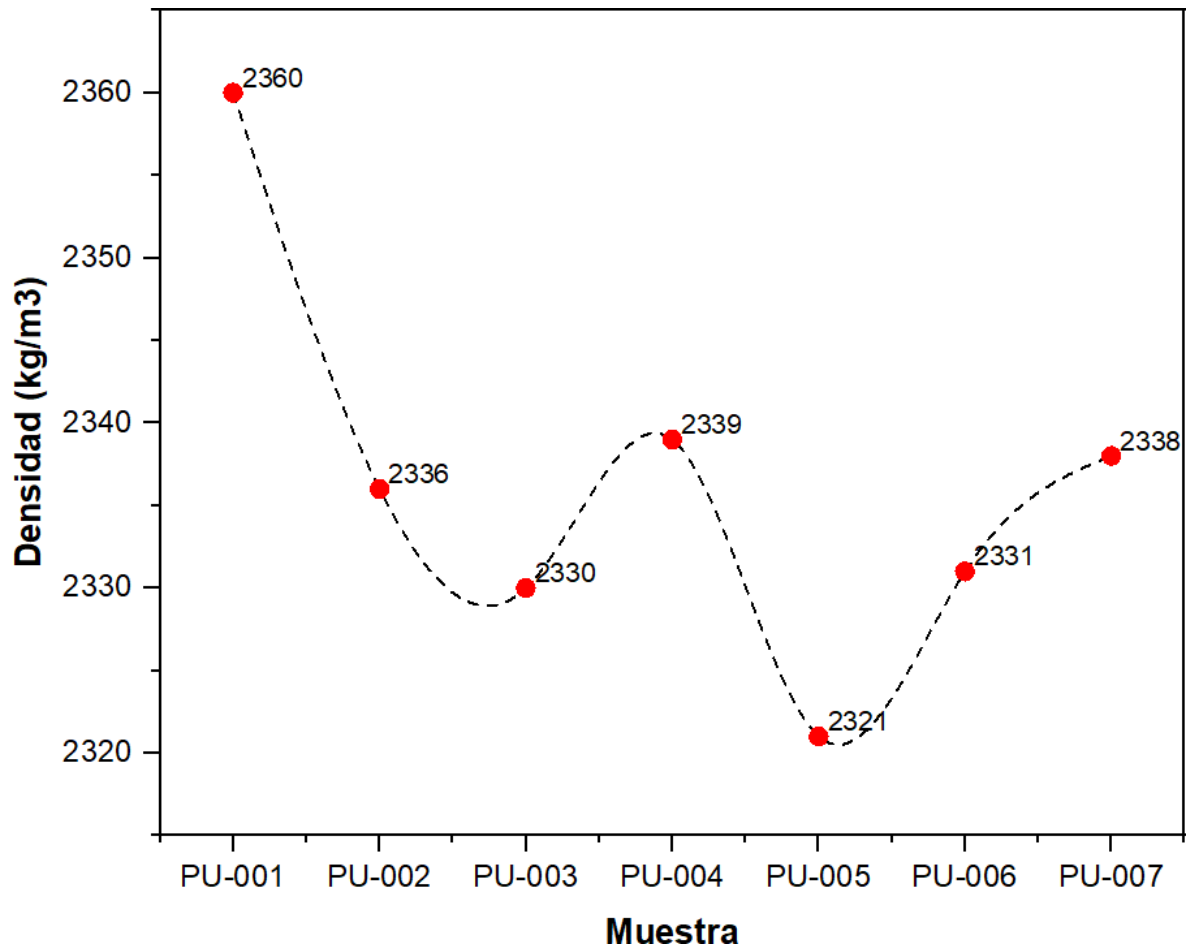
Muestra Nº	IDENTIFICACIÓN	Diseño		Peso Unitario del Concreto			
		F'c	Fecha de Ensayo	Masa Concreto + Masa del Recipiente (kg)	Masa Recipiente (kg)	Volumen del Recipiente (m ³)	Densidad (kg/m ³)
PU-001	M.P - f'c= 210 kg/cm ²	210	25/09/2023	18.873	2.350	0.0070	2360
PU-002	0.10% MWCNT + 1% NPF	210	25/09/2023	18.705	2.350	0.0070	2336
PU-003	0.25% MWCNT + 1% NPF	210	28/09/2023	18.658	2.350	0.0070	2330
PU-004	0.05% MWCNT + 1% NPF	210	23/09/2023	18.722	2.350	0.0070	2339
PU-005	0.05% MWCNT + 2% NPF	210	29/09/2023	18.595	2.350	0.0070	2321
PU-006	0.10% MWCNT + 2% NPF	210	29/09/2029	18.667	2.350	0.0070	2331
PU-007	0.25% MWCNT + 2% NPF	210	30/09/2023	18.715	2.350	0.0070	2338

Fuente: Elaboración Propia

El ensayo siguiendo la referencia NTP 339.046, revela distintas muestras de concreto: PU-001 a PU-007, todas con un diseño f'c de 210 kg/cm². Estas muestras difieren en sus porcentajes de MWCNT y NPF. La muestra PU-002, que contiene 0.10% de MWCNT y 1% de NPF, registra una densidad de 2336 Kg/m³. Comparándola con la PU-003, que tiene 0.25% MWCNT y 1% NPF y una densidad de 2330 Kg/m³, observamos una disminución del 0.257%. Sin embargo, la densidad de la muestra PU-004, con 0.05% MWCNT y 1% NPF, es de 2339 Kg/m³, lo que representa un incremento del 0.386% respecto a la PU-003. La muestra PU-005, compuesta por 0.05% MWCNT y 2% NPF, presenta una densidad de 2321 Kg/m³, lo que significa una pérdida del 0.769% en comparación con la PU-004. Por otro lado, la PU-006, con 0.10% MWCNT y 2% NPF, tiene una densidad de 2331 Kg/m³, reflejando un aumento del 0.431% respecto a la

PU-005. Finalmente, la muestra PU-007, con 0.25% MWCNT y 2% NPF, alcanza una densidad de 2338 Kg/m³, lo que traduce en un incremento del 0.300% en comparación con la PU-006.

Figura N° 43: Variación de la densidad del concreto Patrón Vs Nano adiciones



Fuente: Creación Propia

Las variaciones en densidad observadas en las muestras de concreto PU-001 a PU-007 se encuentran dentro del rango típico del peso unitario del concreto convencional, que se sitúa entre 2,200 Kg/m³ y 2,400 Kg/m³. Esta categoría de concreto es ampliamente empleada en la construcción debido a su resistencia moderada, que varía entre 175 a 350 Kg/cm². Las fluctuaciones en su peso unitario pueden atribuirse a factores a los constituyentes del concreto en la mezcla [62]. Aunque las muestras ensayadas presentan variaciones en sus porcentajes de MWCNT y NPF, sus densidades se mantienen consistentes con las características del concreto convencional.

Slump en el concreto fresco

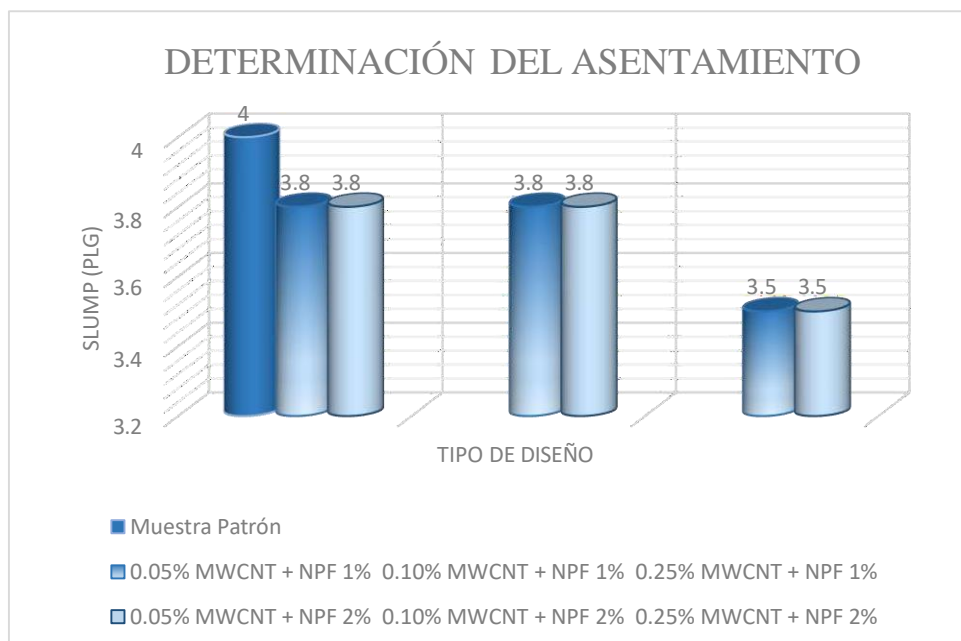
La mezcla patrón, SP-001, sin adiciones de CNT ni de SNS 360, presenta una trabajabilidad óptima, con un asentamiento que supera las 3 pulgadas. Sin embargo, al incorporar CNT y SNS 360 en las mezclas, se evidencia una tendencia decreciente en la trabajabilidad. Por ejemplo, la mezcla PI-AI-007, que contiene la mayor proporción de CNT (0.25%) y un 2% de SNS 360, muestra el menor valor de "slump" (3.5"), evidenciando una disminución significativa en su fluidez en comparación con la mezcla de referencia, como se puede apreciar en la **Tabla 31**.

Tabla 31: Valores de asentamiento de SNS 360 con MWCNT

Código	Tipo de diseño	Slump
SP-001	Muestra Patrón	4
SP-004	0.05% MWCNT + NPF 1%	3.8
SP-002	0.10% MWCNT + NPF 1%	3.8
SP-003	0.25% MWCNT + NPF 1%	3.5
SP-005	0.05% MWCNT + NPF 2%	3.8
SP-006	0.10% MWCNT + NPF 2%	3.8
SP-007	0.25% MWCNT + NPF 2%	3.5

Fuente: Creación Propia

Figura N° 44: Resultados de la determinación del asentamiento



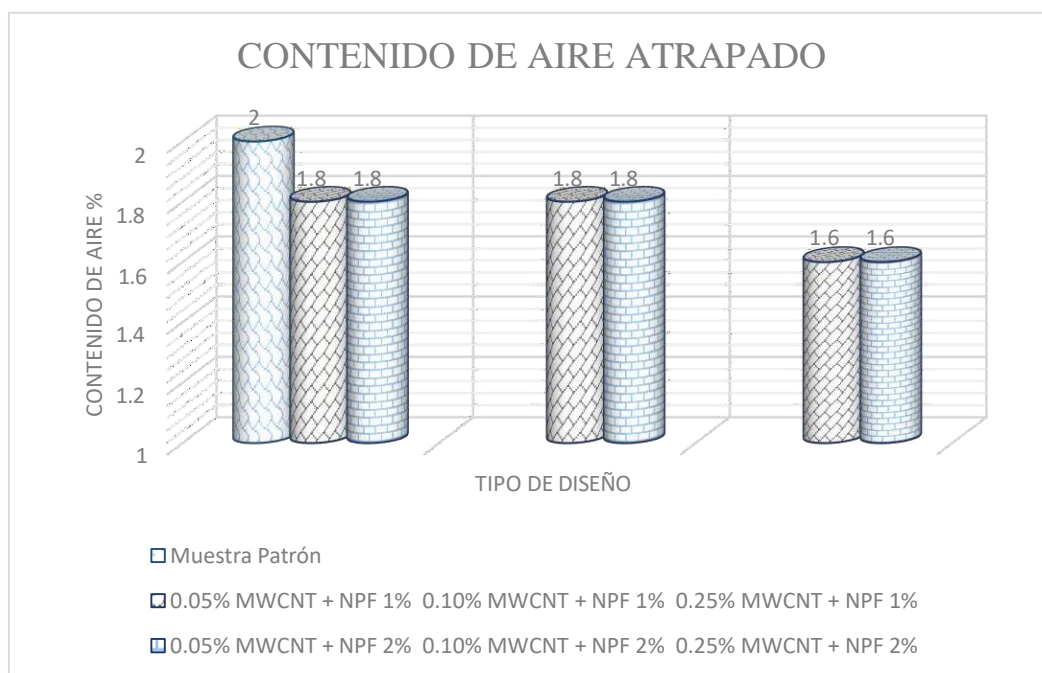
Fuente: Creación Propia

Como se puede visualizar el aumento significativo de SNS 360 en las mezclas produce una parcial reducción de la trabajabilidad causada por los CNT. Esta observación se alinea con la hipótesis de que el agua puede quedar atrapada entre aglomerados de CNT, reduciendo su disponibilidad para contribuir a la fluidez del concreto. Esta característica es atribuible a la elevada superficie específica de las nanopartículas y a sus propiedades de tensión superficial. La naturaleza hidrofóbica de los CNT provoca que el agua se adhiera a ellos, limitando la interacción con la matriz de concreto y, por ende, afectando la trabajabilidad [96] [97] [98].

Contenido de aire atrapado

En la **figura 45**, se destaca el comportamiento del aire atrapado en función de las diferentes combinaciones de aditivos. El concreto patrón, PI-AI-001, exhibe un porcentaje de aire atrapado del 2.0%. Sin embargo, al incorporar diferentes proporciones de MWCNT y SNS 360, se nota una reducción en el aire atrapado, llegando a valores cercanos a 1.60% para las mezclas PI-AI-003 y PI-AI-007. Al contrastar estos resultados con los obtenidos en la **figura 44** se percibe que la mezcla patrón presenta una trabajabilidad superior con un asentamiento que supera las 3 pulgadas. Las mezclas con adiciones, en cambio, muestran una disminución en la fluidez, lo que podría estar correlacionado con la menor cantidad de aire atrapado

Figura N° 45: Contenido de aire del hormigón con adición de MWCNTS y SNS 360



Fuente: Creación Propia

De acuerdo con los datos, las mezclas que contienen 0.25% de MWCNT + 1% NPF y 2% NPF tienden a tener una menor cantidad de aire atrapado en comparación con las que contienen

0.05% y 0.10% de MWCNT + 1% y 2% de NPF. Esta observación podría atribuirse a la interacción de los nanotubos con el SNS 360, modulando la cantidad de aire incorporado en el concreto [8]. La interacción entre los MWCNT y el agua podría disminuir, impactando directamente en su trabajabilidad y en su fluidez. Estas conclusiones están en línea con estudios previos que han analizado el comportamiento de mezclas de concreto con aditivos nano modificados. Según Sldozian et al., la introducción de nanopartículas en el concreto puede modificar las propiedades del material, incluyendo la trabajabilidad y el aire atrapado [99] [100] [101].

Tiempo de Fraguado

Los datos obtenidos del ensayo de tiempo de fraguado para distintos tipos de diseño con composiciones específicas de MWCNT y NPF, se muestran en la **tabla 32**. La "Muestra Patrón" tuvo un tiempo de fraguado total de 01:35:22 horas, mientras que las muestras con 0.10% MWCNT + NPF 1% y 0.25% MWCNT + NPF 1% mostraron tiempos totales de 02:34:02 y 02:16:48 horas respectivamente. Es notable que al incrementar el porcentaje de MWCNT a 0.25%, el tiempo de fraguado disminuye ligeramente en comparación con el 0.10% para el mismo porcentaje de NPF. Sin embargo, al observar las muestras con 2% de NPF, vemos que los tiempos de fraguado son generalmente menores que sus contrapartes con 1% NPF, con la muestra de 0.05% MWCNT + NPF 2% mostrando el tiempo más prolongado de 02:05:16 horas. En resumen, los tiempos de fraguado varían según las proporciones de MWCNT y NPF, con tendencias que sugieren que mayores concentraciones de MWCNT y menores concentraciones de NPF pueden influir en la reducción del tiempo total de fraguado.

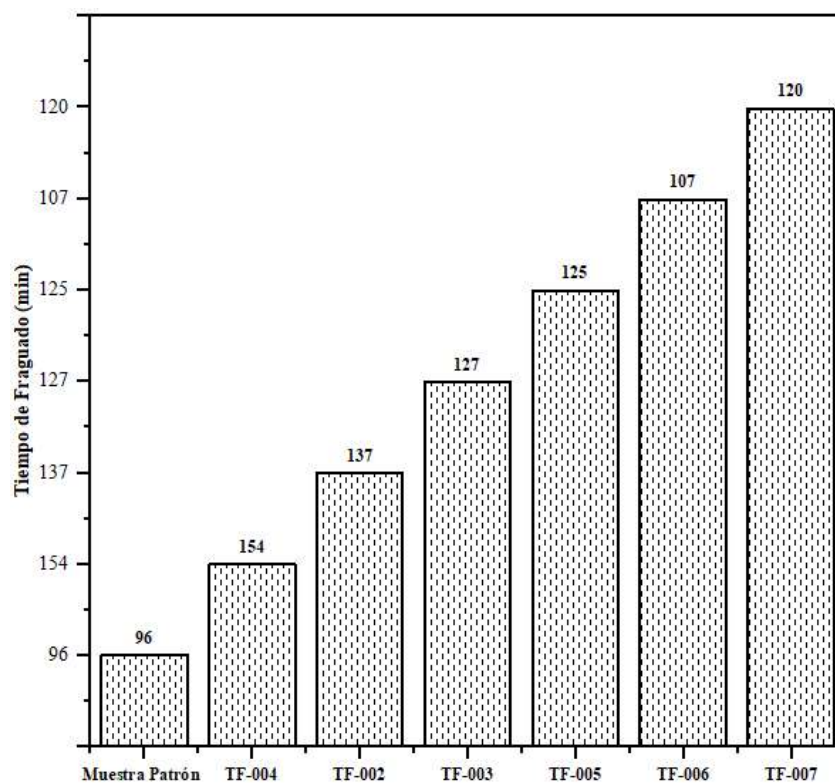
Tabla 32: Consolidación de resultados del tiempo de fraguado

Código	Tipo de diseño	Tiempo de fraguado (hrs)		
		T. Inicial	T. Final	T. total
TF-001	Muestra Patrón	04:37:15	06:12:37	01:35:22
TF-004	0.10% MWCNT + NPF 1%	05:25:47	07:59:49	02:34:02
TF-002	0.25% MWCNT + NPF 1%	07:11:33	09:28:21	02:16:48
TF-003	0.05% MWCNT + NPF 1%	05:01:31	07:08:18	02:06:47
TF-005	0.05% MWCNT + NPF 2%	05:27:33	07:32:49	02:05:16
TF-006	0.10% MWCNT + NPF 2%	05:05:14	06:52:25	01:47:11
TF-007	0.25% MWCNT + NPF 2%	04:43:49	06:44:01	02:00:12

Fuente: Creación Propia

Al comparar los resultados del ensayo proporcionado con los hallazgos del autor [102], surgen discrepancias notables en los efectos de los nanotubos sobre los tiempos de fraguado. Mientras que el autor encontró que las muestras compuestas con nanotubos se redujeron considerablemente antes que las muestras de control, especialmente con tiempos de fraguado que oscilaron entre 125 y 135 minutos para compuestos con 0,1% a 0,3% de MWNT, nuestros datos muestran que la "Muestra Patrón" tuvo un tiempo de fraguado total de 01:35:22 horas, siendo más rápido que las muestras adicionadas que oscilan entre 01:41:11 y 02:34:02 horas. Una posible explicación para esta diferencia podría ser la presencia de SNS 360 en nuestras muestras adicionadas. Aunque el autor señala que la presencia de nanotubos acelera la hidratación del C3A inicial, en nuestras muestras, la combinación de MWCNT y NPF pudo haber tenido un efecto sinérgico diferente, afectando el comportamiento del fraguado. Asimismo, es vital considerar las proporciones exactas de MWCNT y SNS 360, las condiciones del ensayo y las características específicas de los materiales utilizados, ya que pequeñas variaciones en cualquiera de estos factores pueden tener impactos significativos en los resultados.

Figura N° 46: Tiempo de fraguado del concreto con adición de MWSNT y SNS 360



Fuente: Creación Propia

Caracterización mecánica del concreto en estado endurecido

Resistencia a la compresión

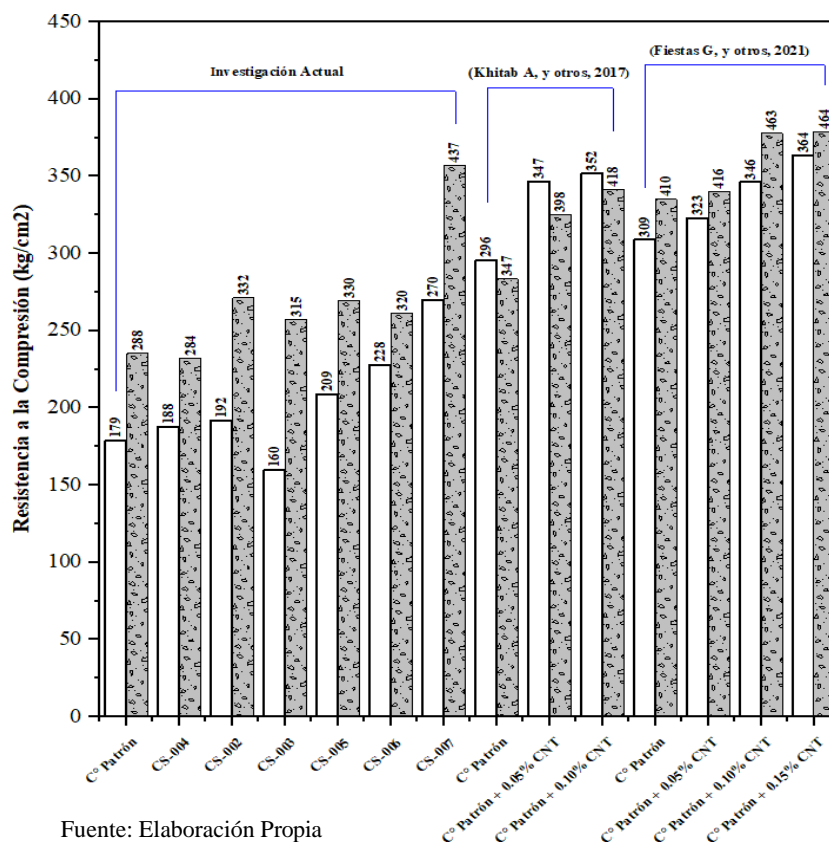
Los datos referentes al f_c de las diferentes mezclas de concreto con adición de MWCNT y NPF se visualiza en la siguiente **Tabla 33**. La resistencia se midió a los 3, 7, 14 y 28 días de curado. La mezcla de control (CS-001) presenta una tendencia ascendente a medida que se prolonga el tiempo de curado, alcanzando los 288 kg/cm² a los 28 días.

Tabla 33: Resistencia a la compresión del concreto

Cod.	Tipo de concreto	F'c (Kg/cm ²)			
		3 días	7 días	14 días	28 días
CS-001	Control	142	179	205	288
CS-002	0.05% MWCNT + 1% SNS 360	160	188	263	284
CS-003	0.10% MWCNT + 1% SNS 360	176	192	250	332
CS-004	0.25% MWCNT + 1% SNS 360	148	160	188	315
CS-005	0.05% MWCNT + 2% SNS 360	169	209	241	330
CS-006	0.10% MWCNT + 2% SNS 360	135	228	254	320
CS-007	0.25% MWCNT + 2% SNS 360	250	270	333	437

Fuente: Elaboración Propia

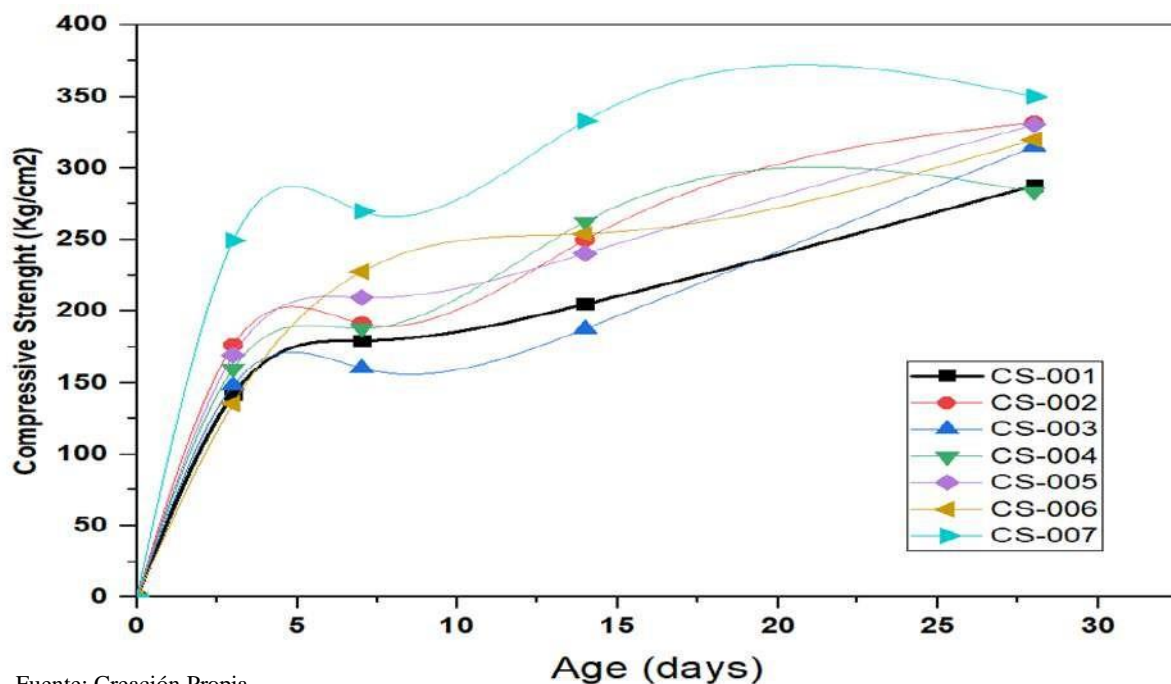
Figura N° 47: Discusión de resultados de la resistencia a la compresión



Fuente: Elaboración Propia

Al incorporar un 0.1% MWCNT + 1% de SNS 360 (CS-003), se observa una influencia significativa, con un valor de 332 kg/cm² a los 28 días. De manera parecida, las mezclas con 0.25% MWCNT +1% SNS 360 (CS-004) y 0.05% MWCNT + 1% SNS 360 (CS-002) mostraron resistencias de 315 kg/cm² y 284 kg/cm², individualmente. Es notorio que al incrementar la cantidad de SNS 360 al 2%, las resistencias tienden a superar al patrón, siendo el caso más destacado la mezcla con 0.25% MWCNT + 2% SNS 360 (CS-007) que alcanza 437 kg/cm² a los 28 días. Comparando los datos con estudios previos como lo muestra la **figura 47**, se encuentra coherencia con investigaciones en las que se añade CNT a mezclas de concreto, donde se reportó un incremento en la resistencia de aproximadamente el 7% al 20% para adiciones del 0.01% al 0.03% de CNT [12] [25]. De igual manera, nuestro estudio se alinea con hallazgos que indican un aumento de hasta el 20% cuando se incluyen porcentajes similares de aditivos nanoestructurados en las mezclas de hormigón

Figura N° 48: Curvas del f'c de las muestras de hormigón a diferentes edades.



Resistencia a la Tracción

En este ensayo contiene diversas mezclas de hormigón es una propiedad esencial que determina su capacidad para soportar fuerzas de tracción sin fracturarse. En el estudio realizado, se analizaron diferentes tipos de hormigones con variaciones en sus composiciones, como se puede ver en la **Tabla 34** con el objetivo de comprender cómo las adiciones de MWCNT y SNS 360 afectan su resistencia a tracción durante diferentes etapas de curado (3, 7, 14 y 28 días).

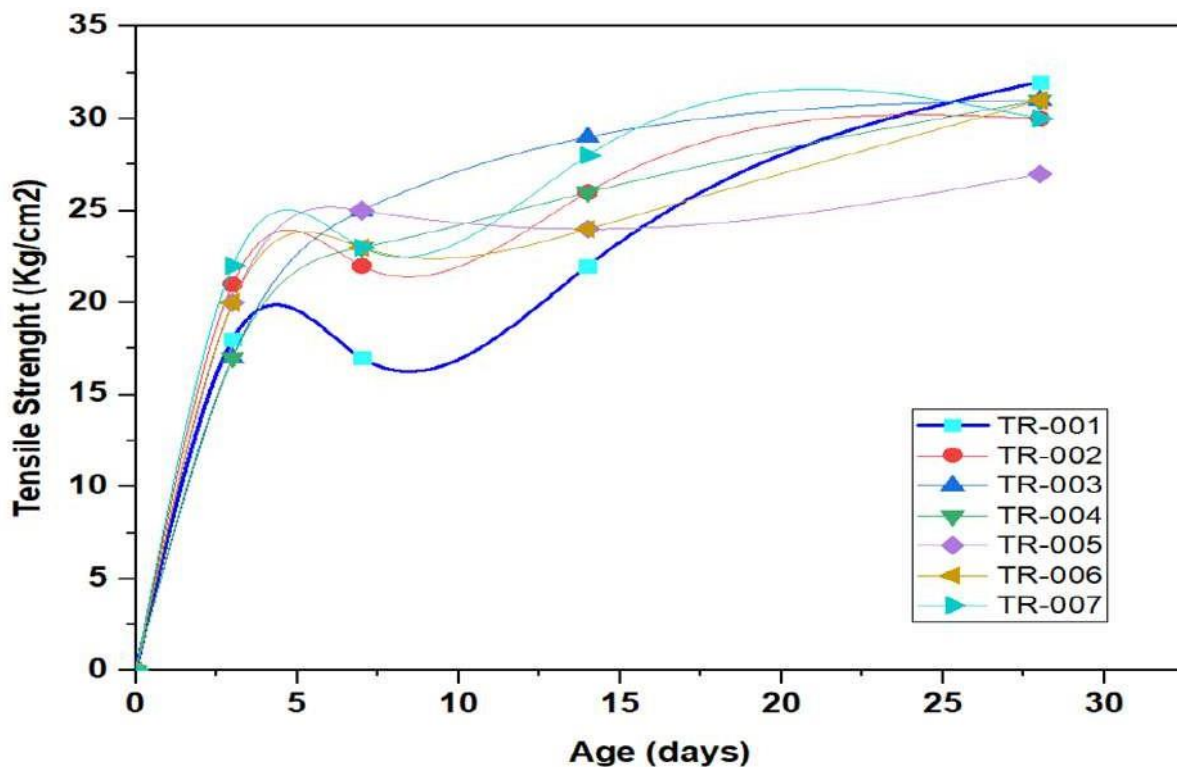
Tabla 34: Cuadro de resistencia sobre las resistencias a la tracción del hormigón

Cod.	Tipo de concreto	Resistencia a la Tracción (kg/cm ²)			
		3 días	7 días	14 días	28 días
TR-001	Control	18	17	22	32
TR-002	0.05% MWCNT + 1% SNS 360	21	22	26	30
TR-003	0.10% MWCNT + 1% SNS 360	17	25	29	31
TR-004	0.25% MWCNT + 1% SNS 360	17	23	26	31
TR-005	0.05% MWCNT + 2% SNS 360	20	25	24	27
TR-006	0.10% MWCNT + 2% SNS 360	20	23	24	31
TR-007	0.25% MWCNT + 2% SNS 360	22	23	28	30

Fuente: Elaboración Propia

Inicialmente, se observa que la mezcla patrón, conocida como TR-001, presentó resistencias a tracción de 18, 17, 22 y 32 kg/cm² respectivamente durante las fases de curado mencionadas. Estos valores sirven para comparar cuanto se gana o pierde con las otras mezclas experimentales.

Figura N° 49: Efecto de MWCNT y SNS 360 sobre la resistencia a la tracción del hormigón

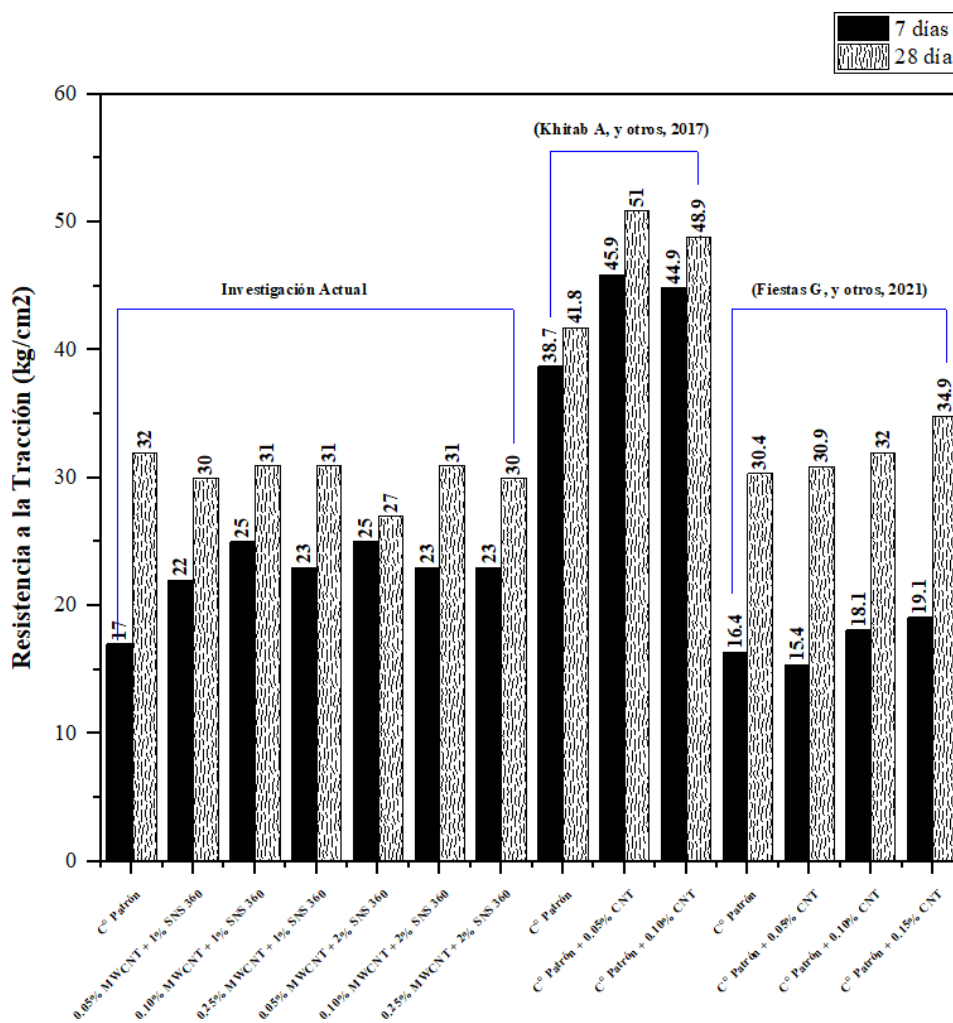


Fuente: Elaboración Propia

La figura 49 representa los resultados donde la mezcla TR-002, con una composición de 0.10% MWCNT + 1% SNS 360, mostró resistencias de 21, 22, 26 y 30 kg/cm² a lo largo del período de curado. Aunque inicialmente presenta una resistencia superior a la mezcla patrón durante los primeros 14 días, hacia el día 28, la resistencia a tracción de la mezcla patrón supera a esta mezcla experimental.

Un comportamiento similar se observa en las otras mezclas, como TR-003 y TR-004, donde, a pesar de presentar resistencias comparables o incluso superiores en las etapas iniciales del curado, hacia el día 28 no logran superar a la mezcla patrón. La mezcla TR-007, con 0.25% MWCNT + 2% SNS 360, aunque tiene una resistencia inicial alta de 22 kg/cm² a los 3 días, finaliza con un $f'c$ de 30 kg/cm² al día 28, todavía inferior a la mezcla patrón.

Figura N° 50: Discusión de resultados del ensayo - resistencia a la tracción



Fuente: Elaboración Propia

Resistencia a la Flexión

Tabla N° 35, se presentan las resistencias a la flexión de los días 28 días en condiciones de curado de los compuestos cementosos reforzados con MWCNT y la muestra de control. Con un contenido de MWCNT de 0,05% en peso, 0,1% en peso y 0,25% en peso.

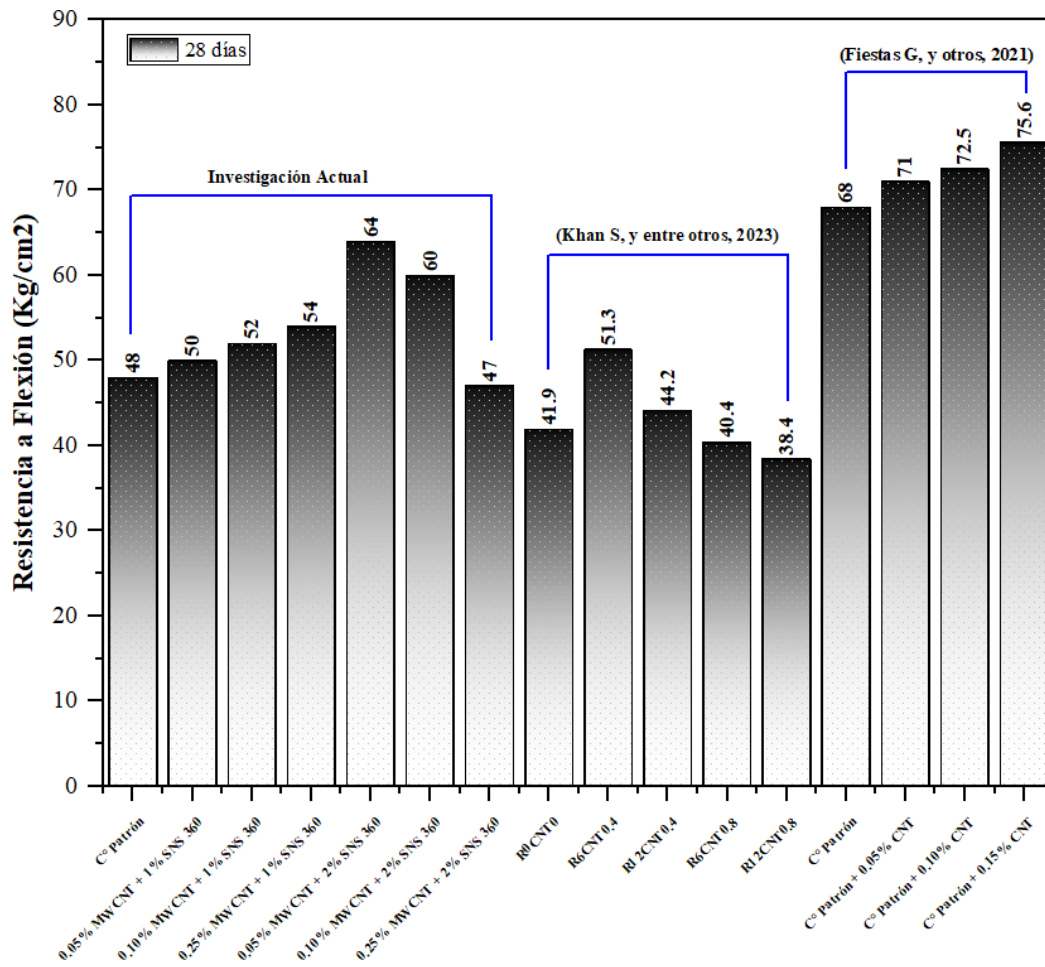
Tabla 35: Cuadro de resistencia sobre las resistencias a la flexión del hormigón

Cod.	Tipo de concreto	Resistencia a la Flexión (kg/cm ²)
		28 días
FL-001	Control	48
FL-002	0.05% MWCNT + 1% SNS 360	50
FL-003	0.10% MWCNT + 1% SNS 360	52
FL-004	0.25% MWCNT + 1% SNS 360	54
FL-005	0.05% MWCNT + 2% SNS 360	64
FL-006	0.10% MWCNT + 2% SNS 360	60
FL-007	0.25% MWCNT + 2% SNS 360	47

Fuente: creación propia

La **Tabla 35** muestra los resultados de las pruebas hechas al hormigón después de 28 días. Al comparar con la muestra control (FL-001) que tuvo un $f'c$ 48 kg/cm², las muestras con adición de MWCNT y SNS 360 presentan variaciones en su resistencia. La muestra FL-002, con 0.05% MWCNT y 1% SNS 360, muestra un incremento del 4,2% en resistencia. La FL-003, con 0.10% MWCNT y 1% SNS 360, presenta un aumento del 8,3%. Por otro lado, la FL-004, con 0.25% MWCNT y 1% SNS 360, muestra un incremento del 12,5%. Al cambiar la proporción de SNS 360 al 2%, la FL-005 con 0.05% MWCNT muestra un destacado aumento del 33,3% en resistencia. Sin embargo, la FL-006, con 0.10% MWCNT, presenta un aumento del 25%. Sorprendentemente, la FL-007, con una mayor concentración de 0.25% MWCNT, muestra una disminución en resistencia de 2,1% respecto a la muestra control. Estos resultados sugieren que, aunque la adición de MWCNT y SNS 360 generalmente mejora la resistencia a la flexión del hormigón, concentraciones demasiado altas de MWCNT, incluso con mayor SNS 360, pueden no ser beneficiosas.

Figura N° 51: Discusión de resultados del ensayo - resistencia a la flexión



Fuente: creación propia

De acuerdo con la **figura 51** presentada, los datos obtenidos de nuestro estudio muestran similitudes y divergencias con los resultados citados por el autor en [29]. Nuestro estudio evidencia que la resistencia a la flexión alcanza un aumento destacado del 33,3% con una concentración de 0,05% MWCNT y 2% SNS 360 a los 28 días, coincidiendo con el autor al indicar que la adición de 0,05% en peso de MWCNT puede optimizar la resistencia a la flexión. Sin embargo, mientras el autor menciona una disminución del -8,6% a los 28 días en la muestra C7, nuestros resultados para la muestra FL-007 (con 0,25% MWCNT y 2% SNS 360) muestran una disminución menor del 2,1% respecto al control. Esta diferencia puede deberse a las condiciones de preparación o a las propiedades intrínsecas del material. Es interesante observar que, al igual que el autor destaca la aglomeración mutua de MWCNT con concentraciones superiores al 0,05% debido a la fuerza de van der Waals, nuestros resultados muestran una disminución progresiva en resistencia a la flexión con concentraciones de 0,25% MWCNT, sugiriendo que una adición excesiva podría no ser beneficiosa. Estos resultados sugieren que,

aunque la adición de MWCNT y SNS 360 generalmente mejora la resistencia a la flexión del hormigón, concentraciones demasiado altas de MWCNT, incluso con mayor SNS 360, pueden no ser beneficiosas, reafirmando la hipótesis presentada por el autor [29].

Resistencia al desgaste en el concreto

La **tabla 36** presenta el cuadro de resultado del ensayo a diferentes composiciones de concreto, realizados conforme a la norma ASTM C944. La norma ASTM C944 es reconocida por medir la resistencia a la abrasión de concreto utilizando un aparato rotatorio con punta de corte.

Tabla 36: Resistencia al desgaste en el concreto

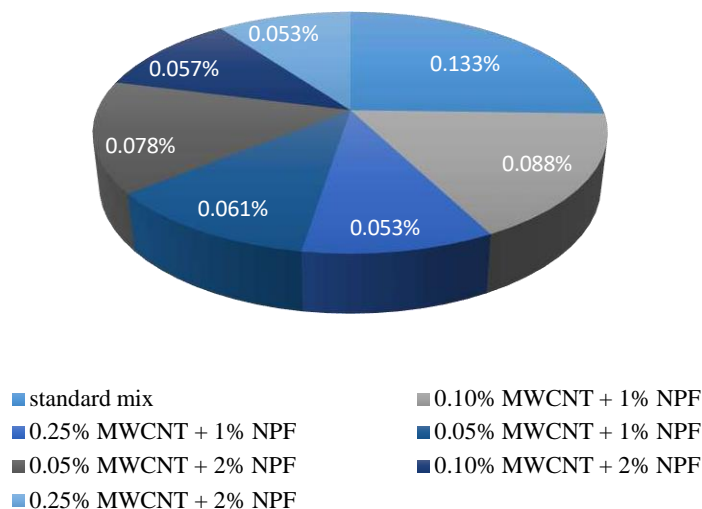
TIPO DE MUESTRA	REEMPLAZOS	MUESTRA	MASA DE MUESTRA (g)				DESGASTE (%)	PROMEDIO (%)
			Masa inicial	Primer ciclo	Segundo ciclo	Tercer ciclo		
Muestra patrón	PATRÓN - FC =210 KG/CM2	M1	845.20 g.	844.78 g.	844.30 g.	844.05 g.	0.14	0.133
		M2	844.23 g.	843.75 g.	843.24 g.	843.13 g.	0.13	
0.10% MWCNT + 1% NPF	AB-002	M1	785.78 g.	785.48 g.	785.33 g.	785.11 g.	0.09	0.088
		M2	676.92 g.	676.69 g.	676.55 g.	676.30 g.	0.09	
0.25% MWCNT + 1% NPF	AB-003	M1	683.51 g.	683.32 g.	683.24 g.	683.11 g.	0.06	0.053
		M2	810.01 g.	809.81 g.	809.68 g.	809.62 g.	0.05	
0.05% MWCNT + 1% NPF	AB-004	M1	841.37 g.	841.18 g.	841.04 g.	840.83 g.	0.06	0.061
		M2	825.39 g.	825.18 g.	825.01 g.	824.92 g.	0.06	
0.05% MWCNT + 2% NPF	AB-005	M1	856.25 g.	855.86 g.	855.68 g.	855.32 g.	0.11	0.078
		M2	823.32 g.	823.23 g.	823.04 g.	822.93 g.	0.05	
0.10% MWCNT + 2% NPF	AB-006	M1	843.13 g.	842.98 g.	842.82 g.	842.69 g.	0.05	0.057
		M2	882.94 g.	882.68 g.	882.52 g.	882.39 g.	0.06	
0.25% MWCNT + 2% NPF	AB-007	M1	843.44 g.	843.25 g.	843.12 g.	842.98 g.	0.05	0.053
		M2	1003.90 g.	1003.68 g.	1003.50 g.	1003.39 g.	0.05	

Fuente: creación propia

La "Muestra patrón", identificada como "PATRÓN - FC =210 KG/CM2", se utiliza como referencia en este estudio y muestra un promedio de desgaste del 0.133% después de tres ciclos de abrasión. Este valor nos proporciona como referencia para comparar otras adiciones.

Las composiciones que contienen "0.25% MWCNT + 1% NPF" y "0.25% MWCNT + 2% NPF" han demostrado ser más resistentes a la abrasión que la muestra patrón, con promedios de desgaste del 0.053%. Estos valores indican que la adición de MWCNT y NPF puede mejorar el ensayo. Otra composición notable es la que contiene "0.10% MWCNT + 2% NPF", que también mostró una resistencia superior a la muestra patrón, con un promedio de desgaste del 0.057%.

Figura N° 52: efectos de las nano-adiciones en la resistencia al desgaste del concreto



Fuente: creación propia

Ensayo Permeabilidad

En el ensayo de Permeabilidad UNE-EN12390-8, se analizó la penetración de agua en diferentes muestras de hormigón. Las muestras M-01 y M-02, que son concretos patrón, presentaron penetraciones promedio de 24.17 mm y 25.29 mm, respectivamente, ambas dentro del límite máximo aceptable de 50 mm para elementos en masa o armados. Las muestras M-03 a M-05, con variaciones de MWCNT, pero todas con 1% de NPF, mostraron una disminución gradual en la penetración: 21.79 mm, 21.09 mm y 20.41 mm. Las muestras M-06 a M-08, con 2% de NPF y variaciones de MWCNT, tuvieron penetraciones de 19.29 mm, 14.94 mm y 14.14 mm, respectivamente, valores que además cumplen con el límite medio aceptable de 30 mm para elementos en masa o armados. Esta tendencia sugiere que el aumento del MWCNT y SNS 360 mejora la impermeabilidad del hormigón. Todas las muestras cumplieron con los criterios establecidos, demostrando la calidad y resistencia del hormigón ante la penetración de agua.

Tabla 38: Resultados del ensayo de permeabilidad

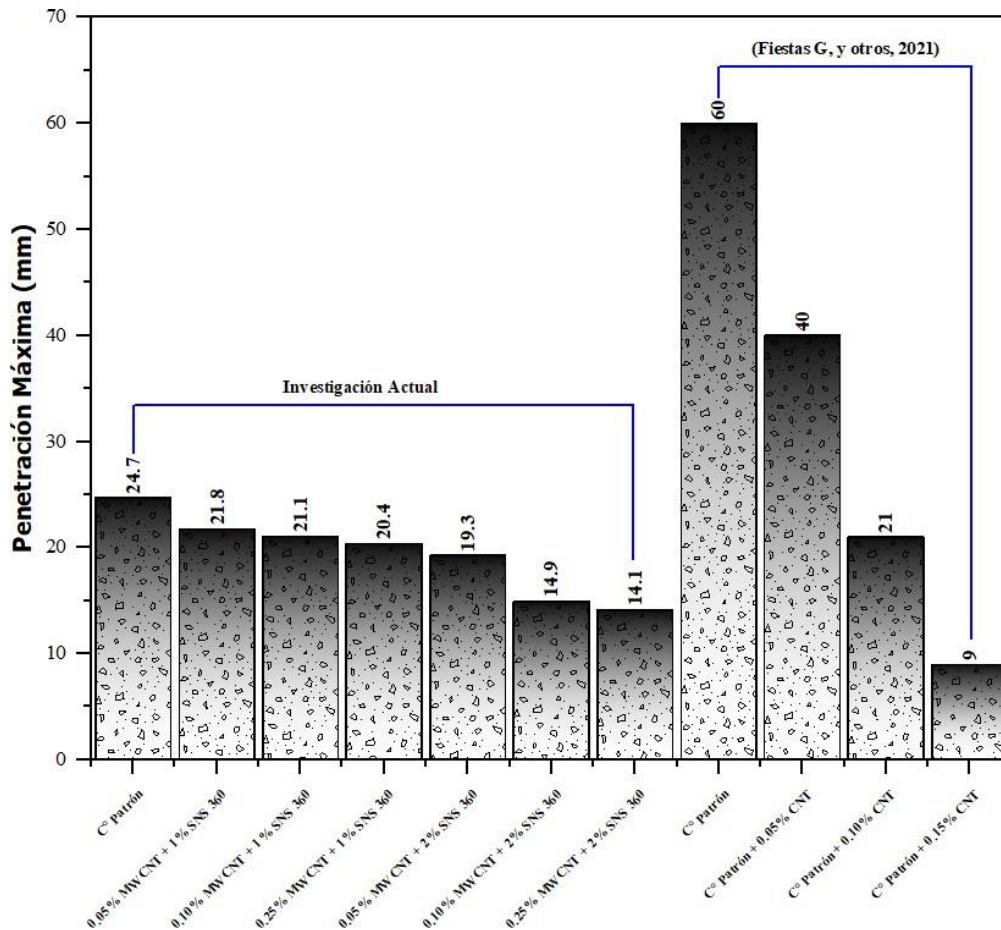
Muestra N°	Descripción de la Muestra (kg/cm ²)	Edad (Días)	Fecha		Hora		Tiempo (72 ± 2 Horas)	Cara	Penetración Máxima (mm)		
			Inicio	Final	Inicio	Final			Unidad	Promedio	Clase de exposición
M-01	CONCRETO PATRÓN 210	30	10/10/2023	13/10/2023	9:00 a. m.	9:00 a. m.	72	A	22.41	24.73	CUMPLE para elementos en masa o armados
							B	25.93			
M-02	CONCRETO PATRÓN 210	30	10/10/2023	13/10/2023	9:00 a. m.	9:00 a. m.	72	A	25.93		
							B	24.65			
M-03	PC - f'c= 210 kg/cm ² + 0.1%NNTG + 1%NPF	30	10/10/2023	13/10/2023	9:00 a. m.	9:00 a. m.	72	A	21.60	21.79	CUMPLE para elementos en masa o armados
							B	21.98			
M-04	PC - f'c= 210 kg/cm ² + 0.25%NNTG + 1%NPF	30	13/10/2023	16/10/2023	9:00 a. m.	9:00 a. m.	72	A	20.71	21.09	CUMPLE para elementos en masa o armados
							B	21.47			
M-05	PC - f'c= 210 kg/cm ² + 0.05%NNTG + 1%NPF	30	13/10/2023	16/10/2023	9:00 a. m.	9:00 a. m.	72	A	19.82	20.41	CUMPLE para elementos en masa o armados
							B	20.99			
M-06	PC - f'c= 210 kg/cm ² + 0.05%NNTG + 2%NPF	30	13/10/2023	16/10/2023	9:00 a. m.	9:00 a. m.	72	A	19.60	19.29	CUMPLE para elementos en masa o armados
							B	18.98			
M-07	PC - f'c= 210 kg/cm ² + 0.10%NNTG + 2%NPF	30	16/10/2023	19/10/2023	9:00 a. m.	9:00 a. m.	72	A	15.13	14.94	CUMPLE para elementos en masa o armados
							B	14.74			
M-08	PC - f'c= 210 kg/cm ² + 0.25%NNTG + 2%NPF	30	16/10/2023	19/10/2023	9:00 a. m.	9:00 a. m.	72	A	14.71	14.14	CUMPLE para elementos en masa o armados
							B	13.56			

Fuente: creación propia

En la comparación entre los ensayos de permeabilidad basados en la normativa técnica colombiana NTC 4483 y el UNE-EN12390-8, hay similitudes notables en los procedimientos y resultados. La NTC 4483 emplea probetas cilíndricas de 6" de diámetro y 12" de altura, y evalúa la permeabilidad a una presión de 0,5 MPa. Se destacó el impacto de variar los niveles de incorporación de Nanotubos de Carbono (NTC) en la profundidad de penetración del agua, observándose que al modificar el porcentaje de adición de NTC, la profundidad de penetración a los 28 días se redujo, registrando valores de 4 cm, 2.1 cm y 0.8 cm para las diferentes mezclas. Nanotubos de Carbono al 5.00%, 10.00% y 15.00% respectivamente. Estos valores representan una reducción del 33%, 65% y 86% en comparación con la muestra NTC al 0% [60]. Por otro lado, en el ensayo UNE-EN12390-8, las muestras M-03 a M-05 mostraron penetraciones que disminuyen de 21.79 mm a 20.41 mm con la adición de MWCNT y 1% de NPF. Mientras que las muestras M-06 a M-08, con 2% de NPF y variaciones de MWCNT, presentaron penetraciones de 19.29 mm a 14.14 mm. Estos resultados respaldan la hipótesis de que la dispersión uniforme de nanopartículas en la matriz del concreto mejora su homogeneidad y compactación, reduciendo la penetración de agua. Ambos ensayos refuerzan la idea de que

ciertas adiciones pueden mejorar significativamente la impermeabilidad del concreto, evidenciando la resistencia y calidad del material frente a la penetración de agua.

Figura N° 54: Discusión de resultados del ensayo - resistencia a la penetración de agua

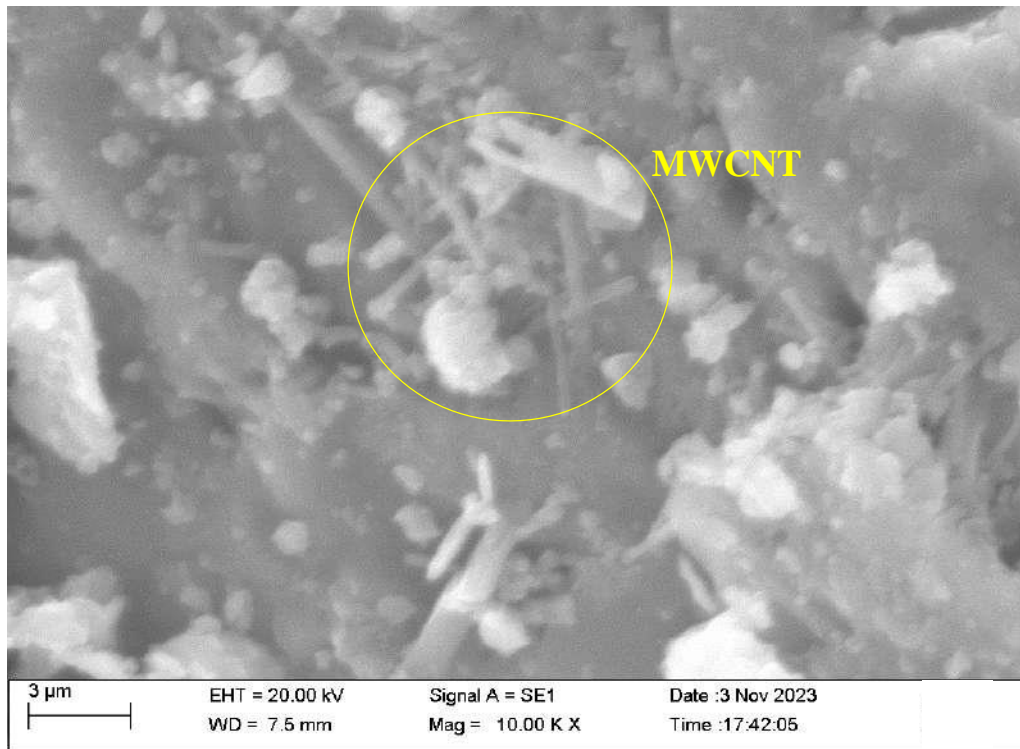


Fuente: creación propia

Caracterización física y química del concreto

La **figura 53** muestra una fotografía tomada con un microscopio electrónico de barrido. En la fotografía a escala de $3\mu\text{m}$ se observa la distribución homogénea de los nanotubos. Estos materiales, debido a su naturaleza y tamaño, tienden a formar aglomerados. Se aprecia que cada uno de los nanotubos se dispone individualmente en la matriz. Además, también se observa que los MWCNT mantienen su estructura intacta, lo que significa que no se han fracturado tras la aplicación de ultrasonidos.

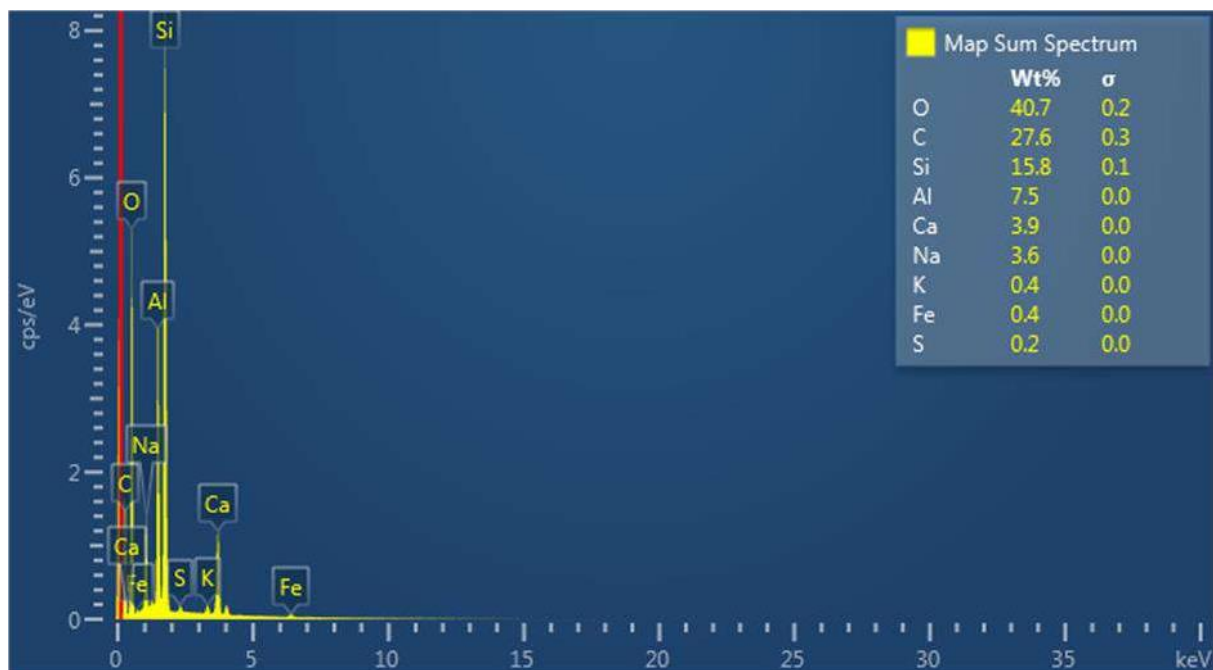
Figura N° 58: imagen de microscopio electrónico de barrido de la matriz del concreto con MWCNT y SNS 360



Fuente: colaboración del centro de investigación de la UNI - PERÚ

En la **figura 54** se puede observar una fotografía tomada con un microscopio electrónico de barrido a una escala de tres micras. A partir de los resultados obtenidos con el ensayo de difracción de rayos X (DRX) y el espectrómetro, se puede observar una matriz compuesta principalmente por sílice (SiO_2), alúmina (Al_2O_3), así como calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}). Además, se puede observar la estructura y disposición de los nanotubos. Se puede comprobar la eficacia del proceso de dispersión aplicado con un baño termostático y ultrasonidos. Es evidente que los nanotubos están intactos, sin roturas debidas a un posible exceso de ultrasonidos. En la Figura 12 se muestran los picos de los elementos detectados en la muestra analizada. Se observa un mayor porcentaje de Si, O, Al, Na y Ca.

Figura N° 64: Prueba de espectroscopia de dispersión de energía en una muestra de hormigón.



Fuente: colaboración del centro de investigación de la UNI - PERÚ

Análisis de Costos Unitarios

Partida	01.01	(010102010270-1201001-01)	CONCRETO F'c=210 KG/CM2	Costo unitario directo por:	m ³	743.34
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
Mano de Obra						
0101010003	OPERARIO		hh	0.4000	20.22	10.49
0101010005	PEON		hh	0.4000	18.65	7.46
17.95						
Materiales						
02070100010002	PIEDRA CHANCADA 1/2"		m ³	2.0300	75.00	152.25
02070200010002	ARENA GRUESA		m ³	1.5500	65.00	100.75
0213010007	CEMENTO PACASMAYO TIPO I (42.5 kg)		bol	10.8200	31.70	342.99
0290130021	AGUA		m ³	257.0000	0.50	128.50
724.49						
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		0.90	0.90
0.90						
Partida	01.02	(010102010273-1201001-01)	CONCRETO F'c=210 KG/CM2 CON NANOADICIONES (0.25% + 2%)	Costo unitario directo por:	m ³	1,786.46
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
Mano de Obra						
0101010003	OPERARIO		hh	0.4000	25.22	10.49
0101010005	PEON		hh	0.4000	18.55	7.46
17.95						
Materiales						
02070100010002	PIEDRA CHANCADA 1/2"		m ³	2.0300	75.00	152.25
02070100010005	ADITIVO SNS 360		kg	9.2000	5.40	49.68
02070100010006	NANOTUBO DE CARBONO (MWCNT)		kg	1.1500	863.86	993.44
02070200010002	ARENA GRUESA		m ³	1.5500	65.00	100.75
0213010007	CEMENTO PACASMAYO TIPO I (42.5 kg)		bol	10.8200	31.70	342.99
0290130021	AGUA		m ³	257.0000	0.50	128.50
1,767.61						
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		0.90	0.90
0.90						

Partida	01.03	(010102010272-1201001-01)	CONCRETO F'C=210 KG/CM2 CON NANOADICIONES (0.05% + 2%)			Costo unitario directo por:	m3	991.71
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cantidad	Precio S/	Parcial S/		
Mano de Obra								
0101010003	OPERARIO		hh	0.4000	26.22	10.49		
0101010005	PEON		hh	0.4000	18.65	7.46		
17.95								
Materiales								
02070100010002	PIEDRA CHANCADA 1/2"		m3	2.0300	75.00	152.25		
02070100010005	ADITIVO SNS 360		kg	9.2000	5.40	49.88		
02070100010006	NANOTUBO DE CARBONO (MWCNT)		kg	0.2300	863.86	198.69		
02070200010002	ARENA GRUESA		m3	1.5500	65.00	100.75		
0213010007	CEMENTO PACASMAYO TIPO I (42.5 kg)		bol	10.8200	31.70	342.99		
0290130021	AGUA		m3	267.0000	0.60	128.50		
972.86								
Equipos								
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		0.90	0.90		
0.90								

Fuente: elaboración propia – S10

Al observar las distintas partidas de concreto F'C=210 KG/CM2, podemos identificar variaciones significativas en términos de evaluación económica. Comenzando con el concreto estándar, sin nano-adiciones, su costo unitario es de S/ 743.34 por m³, estableciendo así el punto de referencia para las demás variantes. Por otro lado, el concreto con nano-adiciones de 0.25% + 2% presenta un incremento en costo de 140.4%, situándose en S/ 1,786.46 por m³. Aunque esta variante logró destacar al obtener la mayor muestra óptima, sus propiedades físicas y mecánicas no correspondieron a dicho aumento. En contraste, el concreto con una menor cantidad de nano-adiciones, específicamente 0.05% + 2%, si bien tiene un costo unitario más elevado que el estándar, S/ 991.71 por m³, demostró un rendimiento superior en todas sus propiedades, logrando una resistencia superior al patrón. Este equilibrio entre costo y desempeño lo posiciona como una opción atractiva. Así, al considerar tanto el costo como el desempeño, parece que el concreto con nano-adiciones de 0.05% + 2% ofrece una relación costo-beneficio favorable. Aunque representa una inversión mayor en comparación con el concreto estándar, su desempeño podría justificar este gasto adicional. Sin embargo, si solo se considera el aspecto económico y no se requiere un desempeño superior, el concreto sin nano-adiciones sigue siendo la opción más rentable.

Conclusiones

La formulación de la mezcla se fundamentó en el procedimiento del ACI 211, empleando materiales provenientes de las canteras “Pacherrez” – Tres Tomas y “Granda” – Ferreñafe. Se verificó que estos agregados cumplieran con la norma ASTM C136. Para el cemento, se optó por el tipo I de Pacasmayo debido a su uso generalizado. Este diseño fue creado para un concreto con una resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$.

Los porcentajes de Nanotubos de Carbono de Pared Múltiple (MWCNT) en combinación con el Sistema Nano Estabilization (SNS 360) se determinaron con base en análisis previos encontrados en la literatura científica. Estos estudios indican que, al incrementar la cantidad de MWCNT, el concreto puede perder ciertas propiedades, tanto en estado fresco como en su estado endurecido. Por esta razón, en este estudio se decidió utilizar concentraciones de 0.10%, 0.25% y 0.05% de MWCNT, añadiendo al mismo tiempo 1% y 2% de SNS 360 en cada muestra.

El estudio se enfocó en analizar la influencia de las propiedades físicas del concreto al incorporar Nanotubos de Carbono de Pared Múltiple (MWCNT) y el Sistema Nano Estabilization (SNS 360). En cuanto a la temperatura, se encontró que, al añadir MWCNT y SNS 360, ésta se mantiene entre 20°C y 29°C . A pesar de las variaciones en las concentraciones, El proceso de hidratación genera calor, lo que resulta en que la temperatura del concreto sea constantemente más alta que la del ambiente, comportamiento que es coherente y esperado. Además, estos resultados cumplen con las especificaciones de la NTP 339.114.

Las muestras con distintas concentraciones de MWCNT y NPF presentaron pesos unitarios similares al concreto patrón. Estos valores se encuentran dentro del rango estándar del concreto convencional, situado entre $2,200\text{ Kg/m}^3$ y $2,400\text{ Kg/m}^3$. Específicamente, el concreto que incluye la muestra PU-004, con 0.05% de MWCNT y 1% de NPF, tiene una densidad de 2339 Kg/m^3 , lo cual indica una disminución del 1.65% en comparación con la muestra Patrón.

Sobre la trabajabilidad, el concreto sin adiciones de CNT ni SNS 360 presentó óptimas características, con un asentamiento que superaba las 3 pulgadas. Sin embargo, al incluir estas adiciones, hubo una disminución notable en la trabajabilidad. Específicamente, la muestra PI-AI-007, con la mayor concentración de CNT y SNS 360, tuvo el menor valor de "slump", lo que resalta una disminución en su fluidez.

El contenido de aire atrapado también fue examinado. El concreto patrón mostró un 2.0% de aire atrapado, pero al introducir variaciones de MWCNT y SNS 360, este porcentaje disminuyó

hasta llegar al 1.75% en algunas mezclas. Estos cambios se correlacionaron con la fluidez del concreto, observando que, a menor fluidez, menor es el aire atrapado.

Por último, el tiempo de fraguado mostró variaciones interesantes. Los datos muestran que la "Muestra Patrón" tuvo un tiempo de fraguado total de 01:35:22 horas, siendo más rápido que las muestras adicionadas que oscilan entre 01:41:11 y 02:34:02 horas. Una posible explicación para esta diferencia en nuestras muestras, la combinación de MWCNT y NPF pudo haber tenido un efecto sinérgico diferente, afectando el comportamiento del fraguado en nuestras muestras.

La influencia que tiene los Nanotubos de Carbono de Pared Múltiple (MWCNT) en combinación con el Sistema Nano Estabilización (SNS 360) en lo que concierne a las propiedades del concreto una vez que se encontraba endurecido, estas fueron: Las muestras de concreto mostraron variaciones notables en la resistencia a la compresión durante el periodo de 28 días. La muestra control (CS-001) tuvo una resistencia de 288 Kg/cm² al final de las cuatro semanas. Al incorporar MWCNT y SNS 360, se observaron diferencias significativas. En particular, la muestra CS-007, con 0.25% MWCNT y 2% SNS 360, mostró resistencias alcanzando 350 Kg/cm² a los 28 días, aumentó al 21.5% respecto a la muestra control. Por otro lado, la muestra CS-002 con 0.05% MWCNT y 1% SNS 360 presentó un valor menor, de 284 Kg/cm², lo cual es una disminución del 1.4% en contraste con el grupo control.

Al ver el desempeño de los especímenes en cuanto a la resistencia a la tracción reveló que, en general, todas las muestras mejoraron su resistencia con el paso del tiempo. El concreto control (CS-001) registró valores que oscilaron entre 18 Kg/cm² y 32 Kg/cm² durante el período de 3 a 28 días. Las muestras que incorporaron MWCNT y SNS 360, como la CS-003 y CS-004, mostraron una tendencia similar, con resistencias que variaron entre 17 Kg/cm² y 31 Kg/cm² a los 3 y 28 días. Es interesante notar que la muestra CS-007, con 0.25% MWCNT y 2% SNS 360, llegó a una resistencia a la tracción de 30 Kg/cm² al final del período, lo que representa una disminución del 6.25% en comparación con la muestra control.

En relación con la resistencia a la flexión a los 28 días, la muestra control (CS-001) presentó una resistencia de 48 Kg/cm². La muestra CS-005, con 0.05% MWCNT y 2% SNS 360, alcanzó la resistencia más alta de 64 Kg/cm², lo que indica un aumento del 33.3% respecto a la muestra control. Sin embargo, la muestra CS-007, con 0.25% MWCNT y 2% SNS 360, registró una resistencia a la flexión de 47 Kg/cm², es decir, una disminución del 2.08% en contraste con el grupo control.

Al evaluar la resistencia a la abrasión las mezclas que abarcan 0.25% MWCNT + 1% NPF" y "0.25% MWCNT + 2% NPF" han demostrado ser más resistentes a la abrasión que la muestra patrón, con promedios de desgaste del 0.053% y 0.053% respectivamente. Estos resultados sugieren que la incorporación de estos aditivos podría ser beneficiosa para mejorar la durabilidad y vida útil del concreto en aplicaciones donde la resistencia a la abrasión es crucial. Sin embargo, es esencial tener en cuenta las condiciones de prueba y las aplicaciones previstas para estas mezclas para determinar su viabilidad en entornos reales.

En el ensayo de permeabilidad, se observó la capacidad de las muestras de hormigón para resistir la penetración del agua. Las muestras patrón, M-01 y M-02, tuvieron penetraciones promedio de 24.17 mm y 25.29 mm, lo cual es significativamente menor al límite máximo aceptable de 50 mm, con una variación de 4.43% entre ellas. Al introducir variaciones de MWCNT con un 1% de NPF (muestras M-03 a M-05), se percibió una reducción en la penetración del agua, siendo la M-05 con 20.41 mm la que presentó la menor penetración, lo que representa una disminución del 15.5% en comparación con la muestra M-01. Por otro lado, las muestras M-06 a M-08, que incorporaron un 2% de NPF, mostraron aún menor penetración de agua. Especialmente, la muestra M-08, con una penetración de 14.14 mm, presentó una disminución del 41.54% en comparación con la muestra M-01. Este valor de penetración equivale a una permeabilidad de $2,27 \times 10^{-7}$ cm/seg, lo que significa que el material desarrollado pertenece a los denominados «medios de baja permeabilidad». La tendencia general sugiere que la adición de mayores cantidades de MWCNT y NPF contribuye a una mejor impermeabilidad del hormigón, ya que las muestras con estas adiciones presentaron significativamente menor penetración de agua en comparación con las muestras patrón.

Al observar las distintas partidas de concreto $F'c=210$ KG/CM², podemos identificar variaciones significativas en términos de evaluación económica. Se observa que la inclusión de nano-adiciones incrementa el precio por unidad del concreto. La variante con un 0.25% de nano-adiciones resulta ser la más costosa con un aumento considerable de 140.4% sin embargo no cumple con las resistencias mecánicas adecuadas. Por otro lado, la variante con un 0.05% de nano-adiciones es menos costosa en comparación, pero aun así presenta un aumento del 33.4% respecto al concreto estándar. Sin embargo, si solo se considera el aspecto económico y no se requiere un desempeño superior, el concreto sin nano-adiciones sigue siendo la opción más rentable.

En conclusión, la utilización de MWCNT junto con el Sistema Nano Stabilization (SNS 360) en altas proporciones no es recomendable, ya que compromete las características del concreto

tanto en su estado fresco como endurecido. Se ha determinado que añadir un 0.05% de MWCNT más un 2% de SNS 360 mejora significativamente las características del concreto. Esto se traduce en una mejor manejabilidad, incremento en la resistencia a la compresión, tracción, flexión y resistencia al desgaste por abrasión, además de reducir su permeabilidad.

Recomendaciones

- Para investigaciones futuras se recomienda disminuir la cantidad de cemento y reemplazar por nanoadiciones para conocer si las propiedades mecánicas y físicas del concreto siguen siendo positivas; con la finalidad de disminuir cantidades de cemento y costos de producción por metro cúbico de concreto.
- Para investigaciones posteriores, se sugiere limitar el uso de porcentajes de MWCNT superiores a 0.25%, ya que se observa una disminución en la resistencia a medida que aumenta la concentración de MWCNT.
- Se recomienda tener como referencia bibliográfica la presente investigación ya que no se tiene antecedentes de la implementación del SNS 360 en el concreto.

Referencias

- [1] M. Choudhary, A. Sharma, S. A. Raj, M. T. H. Sultan, D. Hui y A. U. M. Shah, «Contemporary review on carbon nanotube (CNT) composites and their impact on multifarious applications,» *Nanotechnology Reviews*, vol. 11, n° 1, pp. 2632-2660, 2022.
- [2] M. Du, H. Jing, Y. Gao, H. Su y H. Fang, «Carbon nanomaterials enhanced cement-based composites: advances and challenges,» *Nanotechnology Reviews*, vol. 9, n° 1, pp. 115-135, 2020.
- [3] S. Naganathan, C. S. J. Singh, Y. W. Shen, P. E. Kiat y S. Thiruchelvam, «Nanotechnology in Civil Engineering - A Review,» *Advanced Materials Research*, vol. 935, pp. 151-154, 2014.
- [4] V. Choudhary, B. Singh y R. Mathur, «Carbon Nanotubes and Their Composites,» de *Syntheses and Applications of Carbon Nanotubes and Their Composites*, Japón, Intech, 2013, pp. 1-10.
- [5] Z. Zhao, T. Qi, W. Zhou, D. Hui, C. Xiao, J. Qi, Z. Zheng y Z. Zhao, «A review on the properties, reinforcing effects, and commercialization of nanomaterials for cement-based materials,» *Nanotechnology Reviews*, vol. 9, n° 1, pp. 303-322, 2020.
- [6] H. Qiu y J. Yang, «Chapter 2 - Structure and Properties of Carbon Nanotubes,» de *Industrial Applications of Carbon Nanotubes*, Micro y Nanotecnologías, 2017, pp. 47-69.
- [7] B. Y. Jayakumari, E. N. Swaminathan y P. Partheeban, «A review on characteristics studies on carbon nanotubes-based cement concrete,» *Construction and Building Materials*, vol. 367, n° 130344, pp. 1-11, 2023.
- [8] Z. Sun, Z. Wan y S. G. Sachs, «Compatibility of carbon nanotubes in concrete with air entrainer and superplasticizer,» *Construction and Building Materials*, vol. 364, n° 129944, 2023.
- [9] P. Zhang, J. Su, J. Guo y S. Hu, «Influence of carbon nanotube on properties of concrete: A review,» *Construction and Building Materials*, vol. 369, n° 130388, pp. 1-18, 2023.
- [10] L. Lu, D. Ouyang y W. Xu, «Mechanical Properties and Durability of Ultra High Strength Concrete Incorporating Multi-Walled Carbon Nanotubes,» *Materials*, vol. 9, n° 6, p. 419, 2016.

- [11] I. Singh, A. K. Rehni, P. Kumar, M. Kumar y H. Y. Aboul-Enein, «Carbon Nanotubes: Synthesis, Properties and Pharmaceutical Applications,» *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures*, vol. 17, n° 4, pp. 361-377, 2009.
- [12] W. Zhang, W. Zeng, Y. Zhang, F. Yang, P. Wu, G. Xu y Y. Gao, «Investigating the influence of multi-walled carbon nanotubes on the mechanical and damping properties of ultra-high performance concrete,» *Science and Engineering of Composite Materials*, vol. 27, n° 1, pp. 433-444, 2020.
- [13] B. Xiang, R. Cheng, J. Zhu, Y. Zhou, X. Peng, J. Song y J. Wu, «MWCNTs dispersion adopting GA and its application towards copper tailings-based cementitious materials,» *Scientific Reports*, vol. 13, n° 16081, 2023.
- [14] A. Hassan, H. Elkady y I. G. Shaaban, «Effect of Adding Carbon Nanotubes on Corrosion Rates and Steel-Concrete Bond,» *Scientific Reports*, vol. 9, n° 6285, 2019.
- [15] K. Liew, M. Kai y L. Zhang, «Mechanical and damping properties of CNT-reinforced cementitious composites,» *Composite Structures*, vol. 160, pp. 81-88, 2017.
- [16] S. K. Adhikary, Ž. Rudžionis, S. Tučkutė y D. K. Ashish, «Effects of carbon nanotubes on expanded glass and silica aerogel based lightweight concrete,» *Scientific Reports*, vol. 11, n° 2104, 2021.
- [17] T. Shi, Z. Li, J. Guo, H. Gong y C. Gu, «Research progress on CNTs/CNFs-modified cement-based composites – A review,» *Construction and Building Materials*, vol. 202, pp. 290-307, 2019.
- [18] D. Byron, A. P. Heitman, J. Neves, P. P. d. Souza y P. S. d. O. Patricio, «Evaluation of properties of polymer concrete based on epoxy resin and functionalized carbon nanotubes,» *Construction and Building Materials*, vol. 309, n° 125155, 2021.
- [19] D. Wang, X. Wang, A. Ashour, L. Qiu y B. Han, «Compressive properties and underlying mechanisms of nickel coated carbon nanotubes modified concrete,» *Construction and Building Materials*, vol. 319, n° 126133, 2022.
- [20] M. O. Mohsen, R. Taha, A. A. Taqa y A. Shaat, «Optimum carbon nanotubes' content for improving flexural and compressive strength of cement paste,» *Construction and Building Materials*, vol. 150, pp. 395-403, 2017.
- [21] S. Xu, J. Liu y Q. Li, «Mechanical properties and microstructure of multi-walled carbon nanotube-reinforced cement paste,» *Construction and Building Materials*, vol. 76, pp. 16-23, 2015.

- [22] A. Hawreen, J. Bogas y A. Dias, «On the mechanical and shrinkage behavior of cement mortars reinforced with carbon nanotubes,» *Construction and Building Materials*, vol. 168, pp. 459-470, 2018.
- [23] W. Xia, S. Lu, E. Bai, J. Xu, T. Wang y K. Lin, «Strengthening and toughening behaviors and dynamic constitutive model of carbon-based hierarchical fiber modified concrete: Cross-scale synergistic effects of carbon nanotubes and carbon fiber,» *Journal of Building Engineering*, Vols. %1 de %2Volume 63, Part A, n° 105482, 2023.
- [24] S. Khan, S. Ashraf, S. Ali y K. Khan, «Experimental investigations on the mechanical properties and damage detection of carbon nanotubes modified crumb rubber concrete,» *Journal of Building Engineering*, vol. 75, n° 106937, 2023.
- [25] Y. Zhang y W. Xia, «Enhancing effect of carbon nanotubes on the performance of concrete containing surface-treated fly ash cenosphere,» *Construction and Building Materials*, vol. 406, n° 133322, 2023.
- [26] D. Hwangbo, D.-H. Son, H. Suh, J. Sung, B.-I. Bae, S. Bae, H. So y C.-S. Choi, «Effect of nanomaterials (carbon nanotubes, nano-silica, graphene oxide) on bond behavior between concrete and reinforcing bars,» *Case Studies in Construction Materials*, vol. 18, n° e02206, 2023.
- [27] D.-H. Son, D. Hwangbo, H. Suh, B.-I. Bae, S. Bae y C.-S. Choi, «Mechanical properties of mortar and concrete incorporated with concentrated graphene oxide, functionalized carbon nanotube, nano silica hybrid aqueous solution,» *Case Studies in Construction Materials*, vol. 18, n° e01603, 2023.
- [28] G. Liu, H. Zhang, J. Liu, S. Xu y Z. Chen, «Experimental Study on the Salt Freezing Durability of Multi-Walled Carbon Nanotube Ultra-High-Performance Concrete,» *Materials*, vol. 15, n° 9, p. 3188, 2022.
- [29] X. Guan, S. Bai, H. Li y J. Ou, «Mechanical properties and microstructure of multi-walled carbon nanotube-reinforced cementitious composites under the early-age freezing conditions,» *Construction and Building Materials*, vol. 233, n° 17317, 2020.
- [30] S. Song, Y. Niu y X. Zhong, «Study on dynamic mechanical properties of carbon nanotubes reinforced concrete subjected to freeze–thaw cycles,» *Structural Concrete*, vol. 23, n° 5, pp. 3221-3233, 2022.

- [31] F. Gao, W. Tian, Y. Wang y F. Wang, «Effect of the dosage of MWCNT's on deterioration resistant of concrete subjected to combined freeze–thaw cycles and sulfate attack,» *Structural Concrete*, vol. 22, n° 51, pp. E955-E965, 2021.
- [32] X. Cheng, W. Tian, J. Gao, J. Guo y X. Wang, «Grey entropy analysis of strength and void structure of carbon nanotubes concrete under the coupling of sulfate attack and freeze-thaw cycles,» *Construction and Building Materials*, vol. 358, n° 129462, 2022.
- [33] A. Carriço, J. Bogas, A. Hawreen y M. Guedes, «Durability of multi-walled carbon nanotube reinforced concrete,» *Construction and Building Materials*, vol. 164, pp. 121-133, 2018.
- [34] C. Runzhuo, Y. Junfen, L. Guoxin, Z. Qun y N. Mengdie, «Durability performance of multi-walled carbon nanotube reinforced ordinary Portland/calcium sulfoaluminate cement composites to sulfuric acid attack at early stage,» *Materials Today Communications*, vol. 35, n° 105748, 2023.
- [35] S. J. Mosallam, H. P. Behbahani, M. Shahpari y R. Abaeian, «The effect of carbon nanotubes on mechanical properties of structural lightweight concrete using LECA aggregates,» *Structures*, vol. 35, pp. 1204-1218, 2022.
- [36] G. Yuan, J. Hongwen, Z. Zefu, S. Xinshuai, L. Luan y F. Guangping, «Roles of carbon nanotubes in reinforcing the interfacial transition zone and impermeability of concrete under different water-to-cement ratios,» *Construction and Building Materials*, vol. 272, n° 121664, 2021.
- [37] G. Yuan, J. Hongwen, Z. Zhenlong, S. Xinshuai y L. Luan, «Influence of ultrasonication energy on reinforcing-roles of CNTs to strengthen ITZ and corresponding anti-permeability properties of concrete,» *Construction and Building Materials*, vol. 303, n° 124451, 2021.
- [38] J. Wang, S. Dong, S. D. Pang, C. Zhou y B. Han, «Pore structure characteristics of concrete composites with surface-modified carbon nanotubes,» *Cement and Concrete Composites*, vol. 128, n° 104453, 2022.
- [39] A. J. N. MacLeod, W. P. Gates y F. Collins, «Durability Characterisation of Portland Cement–Carbon Nanotube Nanocomposites,» *Materials*, vol. 13, n° 18, p. 4097, 2020.
- [40] Y. Zhang, Y. Qin, Z. Guo y D. Li, «Research on Performance Deterioration of Multi-Walled Carbon Nanotube–Lithium Slag Concrete under the Coupling Effect of Sulfate Attack and Dry–Wet Cycles,» *Materials*, vol. 16, n° 14, p. 5130, 2023.

- [41] T. Wang, J. Xu, E. Bai, Y. Lv y G. Peng, «Research on a sustainable concrete synergistic reinforced with carbon fiber and carbon nanofiber: Mechanical properties, durability and environmental evaluation,» *International Journal of Hydrogen Energy*, 2023.
- [42] T. M y R. V, «A study on durability characteristics of nano-concrete,» *Materials Today: Proceedings*, Vols. %1 de %2Volume 80, Part 3, pp. 2360-2365, 2023.
- [43] E. Hala y H. Ahmed, «Assessment of High Thermal Effects on Carbon Nanotube (Cnt)-Reinforced Concrete,» *Scientific Reports*, vol. 8, n° 11243, 2018.
- [44] L. Joseph, M. K. Madhavan, K. Jayanarayanan y A. Pegoretti, «High Temperature Performance of Concrete Confinement by MWCNT Modified Epoxy Based Fiber Reinforced Composites,» *Materials*, vol. 15, n° 24, p. 9051, 2022.
- [45] Y. Yao y H. Lu, «Mechanical properties and failure mechanism of carbon nanotube concrete at high temperatures,» *Construction and Building Materials*, vol. 297, n° 123782, 2021.
- [46] M. Shahpari, P. Bamonte y S. J. Mosallam, «Use of carbon nanotubes in the retrofitting of reinforced concrete beams with an opening and the effect of direct fire on their behaviour,» *Construction and Building Materials*, vol. 346, n° 128376, 2022.
- [47] ch33engineering, «Manual SNS 360,» Lima, 2022.
- [48] D. S. Vijayan, P. Devarajan y A. Sivasuriyan, «A review on eminent application and performance of nano based silica and silica fume in the cement concrete,» *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 56, n° 103105, 2023.
- [49] A. Arora, B. Singh y P. Kaur, «Performance of Nano-particles in stabilization of soil: a comprehensive review,» *Materials Today: Proceedings*, Vols. %1 de %2Volume 17, Part 1, pp. 124-130, 2019.
- [50] S. Chen, P. Ni, Z. Sun y K. Yuan, «Geotechnical Properties and Stabilization Mechanism of Nano-MgO Stabilized Loess,» *Sustainability*, vol. 15, n° 5, p. 4344, 2023.
- [51] S. Thomas, S. Chandrakaran y N. Sankar, «Nanocomposites are state-of-the-art in the field of ground improvement- a review,» *Materials Today: Proceedings*, Vols. %1 de %2Volume 65, Part 2, pp. 877-882, 2022.
- [52] G. Kannan y E. R. Sujatha, «A review on the Choice of Nano-Silica as Soil Stabilizer,» *Silicon*, vol. 14, p. 6477–6492, 2022.

- [53] A. A. S. Correia y M. G. Rasteiro, «Nanotechnology Applied to Chemical Soil Stabilization,» *Procedia Engineering*, vol. 143, pp. 1252-1259, 2016.
- [54] N. Ghasabkolaei, A. J. Choobbasti, N. Roshan y S. E. Ghasemi, «Geotechnical properties of the soils modified with nanomaterials: A comprehensive review,» *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, Vols. %1 de %2Volume 17, Issue 3, pp. 639-650, 2017.
- [55] J. Krishnan y S. Shukla, «The behaviour of soil stabilised with nanoparticles: an extensive review of the present status and its applications,» *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 12, n° 436, 2019.
- [56] A. A. S. Correia, P. D. Casaleiro y M. G. B. Rasteiro, «Applying Multiwall Carbon Nanotubes for Soil Stabilization,» *Procedia Engineering*, vol. 102, pp. 1766-1775, 2015.
- [57] H. Niroumand, L. Balachowski y R. Parviz, «Nano soil improvement technique using cement,» *Scientific Reports*, vol. 13, n° 10724, 2023.
- [58] R. J, A. F, M. JR, D.-L. JL, C.-M. GM, C. Á y C. M, «Use of Nanomaterials in the Stabilization of Expansive Soils into a Road Real-Scale Application,» *Materials*, vol. 13, n° 14, 2020.
- [59] A. Tabarsa, N. Latifi, C. L. Meehan y K. N. Manahiloh, «Laboratory investigation and field evaluation of loess improvement using nanoclay – A sustainable material for construction,» *Construction and Building Materials*, vol. 158, pp. 454-463, 2018.
- [60] G. y. M. N. M, «Propuesta de mejora de la permeabilidad del concreto expuesto a sulfatos mediante el uso de los nanotubos de carbono para obras portuarias, en la provincia constitucional del Callao, Perú,» Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, 2021.
- [61] V. J, «Preparación de Probetas de Concreto con Nanotubos de Carbono para el Mejoramiento de sus Propiedades,» Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ciencias, Lima, 2019.
- [62] A. y. K. Q. V, «Mejoramiento De Propiedades Mecánicas Del Concreto Con Adición De Nanotubos De Carbono,» Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, 2018.
- [63] C. L, «Análisis Comparativo De Estabilización Para El Mejoramiento De Subrasante Entre El Uso Del Cloruro De Sodio Y El Sistema Consolid En Zonas Urbanas No

- Pavimentadas De La Urbanización El Parral Del Distrito De La Victoria, 2020,» Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, 2021.
- [64] A. R. P. Ricalde y R, «Análisis técnico-económico del uso de concreto premezclado de $f'c = 21$ MPa y $f'c = 28$ MPa en un edificio multifamiliar de 4 pisos, un semisótano y un sótano,» Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2021.
- [65] B. y. V. G. V. C, «Estudio Exploratorio En Diseño De Mezclas Del Concreto Cemento-Arena Liviano Empleando Perlitas De Poliestireno, Arcilla Expandida Y Agregado Fino De La Cantera Irina Gabriela, Distrito San Juan Bautista,» Universidad Científica del Perú, Iquitos, 2018.
- [66] P. J. J, «Efecto de la adición de cal en la resistencia a la compresión de un concreto,» Universidad Nacional del Altiplano, Puno, 2016.
- [67] A. F, Tecnología del Concreto, Lima: 3° Edición: Perú, 2009.
- [68] M. Céspedes, «Resistencia a la compresión del concreto a partir de la velocidad de pulsos de ultrasonido,» Universidad de Piura, Piura, 2013.
- [69] C. y. V. C. V. D, «Análisis Comparativo De Las Propiedades Físico - Mecánicas De La Mezcla Asfáltica Modificada Con Ntc (Nanotubos De Carbono) Con Respecto A Una Mezcla Asfáltica Convencional, Según El Método Marshall,» Universidad Andina del Cusco, Cusco, 2019.
- [70] O. G. A., Apuntes del curso: Concreto armado 1, Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2016.
- [71] R. E, Diseño de Mezclas, Lima: HOZLO S.CR.L., 1992.
- [72] R. y. J. H. A, «Diseño de mezcla de hormigón por el método A.C.I y efectos de la adición de cenizas volantes de termotasajero en la resistencia a la compresión,» Universidad César Vallejo, Lima, 2019.
- [73] E. K. P. G. T. M. O. y. Y. H. G, «Nanotubos De Carbono,» Universidad Nacional Del Centro Del Perú, Huancayo, 2015.
- [74] C. y. J. F. J. O, «Comportamiento físico-mecánico de unidades de albañilería de tierra cruda fabricadas con suelo de los sectores Tambillo – Cusco y PetroPerú – San Jerónimo, estabilizadas con sistema CONSOLID,» Universidad Andinde del Cusco, Cusco, 2018.
- [75] CONSOLID, «Productos Viales,» Lima, 2016.

- [76] H. y. C. M. R, «Metodología de la investigación.,» de *Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*, México, Mc Graw Hill Education, 2018.
- [77] C. D. Alan y L, «Procesos y fundamentos de la investigación científica,» Machala, UTMACH, 2018.
- [78] Y. Gao, J. Luo, Z. Li, F. Teng, J. Zhang, S. Gao, M. Ma, X. Zhou y X. Tao, «Dispersion of carbon nanotubes in aqueous cementitious materials: A review,» *Nanotechnology Reviews*, vol. 12, n° 1, p. 20220560, 2023.
- [79] Z. S. Metaxa, S. Boutsoukou, M. Amenta, E. P. Favvas, S. K. Kourkoulis y N. D. Alexopoulos, «Dispersion of Multi-Walled Carbon Nanotubes into White Cement Mortars: The Effect of Concentration and Surfactants,» *Nanomaterials*, vol. 12, n° 6, p. 1031, 2022.
- [80] Y. Gao, H. W. Jing, S. J. Chen, M. R. Du, W. Q. Chen y W. H. Duan, «Influence of ultrasonication on the dispersion and enhancing effect of graphene oxide–carbon nanotube hybrid nanoreinforcement in cementitious composite,» *Composites Part B: Engineering*, vol. 164, pp. 45-53, 2019.
- [81] M.-E. Stogia, A.-E. Dimou, G. Maistros y N. D. Alexopoulos, «Investigation of multi-walled carbon nanotubes aqueous dispersions via electrical impedance spectroscopy,» *Materials Today: Proceedings*, 2023.
- [82] T. Peng y I. Chang, «Uniformly dispersion of carbon nanotube in aluminum powders by wet shake-mixing approach,» *Powder Technology*, vol. 284, pp. 32-39, 2015.
- [83] P. Li, L. Chen, H. Ma, G. Pan y Z. Sun, «Spatial distribution characteristics and microscopic mechanisms for enhancing mechanical properties of MWCNTs in recycled coarse aggregate shotcrete,» *Construction and Building Materials*, vol. 364, p. 129927, 2023.
- [84] K. Kishore, A. Pandey, N. K. Wagri, A. Saxena, J. Patel y A. Al-Fakih, «Technological challenges in nanoparticle-modified geopolymer concrete: A comprehensive review on nanomaterial dispersion, characterization techniques and its mechanical properties,» *Case Studies in Construction Materials*, vol. 19, p. e02265, 2023.
- [85] L. Assi, A. Alsalman, D. Bianco, P. Ziehl, J. El-Khatib, M. Bayat y F. H. Hussein, «Multiwall carbon nanotubes (MWCNTs) dispersion & mechanical effects in OPC mortar & paste: A review,» *Journal of Building Engineering*, vol. 43, p. 102512, 2021.

- [86] J. Abraham, S. Thomas y N. Kalarikkal, «Dispersion and alignment of carbon nanotubes in polymer matrix,» de *Handbook of Carbon Nanotubes*, India, Springer Nature, 2022, pp. 743-759.
- [87] J. Hilding, E. A. Grulke, Z. G. Zhang y F. Lockwood, «Dispersion of Carbon Nanotubes in Liquids,» *Journal of Dispersion Science and Technology*, vol. 24, n° 1, pp. 1-41, 2007.
- [88] S. Hongyu, C. Binmeng, L. Bo, T. Shengwen y L. Zongjin, «Influence of dispersants on the properties of CNTs reinforced cement-based materials,» *Construction and Building Materials*, vol. 131, pp. 186-194, 2017.
- [89] M. Yaghobian y G. Whittleston, «A critical review of carbon nanomaterials applied in cementitious composites – A focus on mechanical properties and dispersion techniques,» *Alexandria Engineering Journal*, vol. 61, n° 5, pp. 3417-3433, 2022.
- [90] M. R. Du, H. W. Jing, W. H. Duan, G. S. Han y S. J. Chen, «Methylcellulose stabilized multi-walled carbon nanotubes dispersion for sustainable cement composites,» *Construction and Building Materials*, vol. 146, pp. 76-85, 2017.
- [91] B. Zou, S. J. Chen, A. H. Korayem, F. Collins, C. Wang y W. H. Duan, «Effect of ultrasonication energy on engineering properties of carbon nanotube reinforced cement pastes,» *Carbon*, vol. 85, pp. 212-220, 2015.
- [92] S. J. Chen, C. Y. Qiu, A. H. Korayem, M. R. Barati y W. H. Duan, «Agglomeration process of surfactant-dispersed carbon nanotubes in unstable dispersion: A two-stage agglomeration model and experimental evidence,» *Powder Technology*, vol. 301, pp. 412-420, 2016.
- [93] A. H. Korayem, M. R. Barati, S. J. Chen, G. P. Simon, X. L. Zhao y W. H. Duan, «Optimizing the degree of carbon nanotube dispersion in a solvent for producing reinforced epoxy matrices,» *Powder Technology*, vol. 284, pp. 541-550, 2015.
- [94] T. Takahashi, S. Tsubo, K. Inoue, R. Suzuki, H. Murata y M. Tachibana, «Effect of dispersibility of carbon nanotubes on the hardness and thermal properties of polyphenylene sulphide/carbon nanotube composites obtained using solution mixing and melt blending methods,» *Materials Science and Engineering: B*, vol. 295, p. 116579, 2023.
- [95] NTP 339.046, «Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto),» El Peruano, Lima, 2008.

- [96] M. A. T. M. J. R. A. A.-M. A. I. J. L. N. y. H. C. Y. H. M. Allujami, « Mechanical properties of concrete containing recycle concrete aggregates and multi-walled carbon nanotubes under static and dynamic stresses,» *Case Studies in Construction Materials*, vol. 17, p. e01651, 2022.
- [97] P. M. y. J. Naqash, « The effect of water cement ratio on the characteristics of multi-walled carbon nanotube reinforced concrete,» *Materials Today*, vol. 43, n° 6, pp. 3852-3855, 2021.
- [98] I. S. M. V. A. M. M. L. P. S. L. S. R. S. A. D. y. F. U. E. Mesquita, «Investigation of the electrical sensing properties of cementitious composites produced with multi-wall carbon nanotubes dispersed in NaOH,» *Journal of Building Engineering*, vol. 77, p. 107496, 2023.
- [99] A. T. I. B. y. Z. M. R. J. Sldozian, «Improve the mechanical properties of lightweight foamed concrete by using nanomodified sand,» *Journal of Building Engineering*, vol. 34, p. 101923, 2021.
- [100] E. L. S. V. V. G. R. S. F. y. N. A. S. A. P. Svintsov, « Effect of nano-modified additives on properties of concrete mixtures during winter season,» *Construction and Building Materials*, vol. 237, p. 117527, 2020.
- [101] V. S. y. D. R. Y. Pukharenko, «Nanomodified concrete mixes for form-free moulding,» *Materials Today*, vol. 237, n° 5, pp. 2189-2192, 2019.
- [102] T. Manzur, N. Yazdani y M. A. B. Emon, «Potential of Carbon Nanotube Reinforced Cement Composites as Concrete Repair Material,» *Journal of Materials*, vol. 2016, n° 1421959, pp. 1-10, 2016.
- [103] S. Mehran, B. Patrick y M. S. Jalali, «An experimental study on mechanical and thermal properties of structural lightweight concrete using carbon nanotubes (CNTs) and LECA aggregates after exposure to elevated temperature,» *Construction and Building Materials*, vol. 346, n° 128376, 2022.

Anexos

En las páginas siguientes, se presentan los anexos que complementan y respaldan la información expuesta a lo largo de esta tesis. Estos anexos incluyen datos adicionales, gráficos, tablas, y documentos relevantes que proporcionan un contexto más amplio y detallado de los aspectos tratados en el cuerpo principal del trabajo.

Están organizados de manera que faciliten la consulta y comprensión de la información adicional, ofreciendo una visión más profunda de los métodos, resultados y análisis desarrollados durante la investigación. Cada anexo está claramente identificado y referenciado en el texto principal para asegurar una fácil correlación con los capítulos y secciones correspondientes.

Es nuestro objetivo que estos anexos sirvan como un recurso valioso para aquellos lectores que deseen explorar con mayor detalle los elementos específicos de esta investigación, así como para aquellos interesados en replicar o ampliar el estudio en futuras investigaciones.

INFORME N° LEM USAT 012-2023-II

FECHA: 27 de octubre 2023

VALIDACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ESTUDIANTE: SOL ESTRELLA ESPINAL BONILLA

TITULO DE LA TESIS: ESTUDIO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL DE RESISTENCIA 21 MPA FABRICADO CON ADICIÓN DE NANOTUBOS DE GRAFENO Y SISTEMA SNS 360

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:

Caracterización microestructural del concreto:

- Difracción Rayos X
- Espectroscopia Rayos X
- Análisis por microscopio de barrido y lámina delgada

Ensayos de agregados:

- Contenido de humedad
- Granulometría
- Peso unitario suelto y compactado
- Peso específico y absorción
- Abrasión por máquina de los ángeles

Ensayos concreto fresco:

- Asentamiento
- Peso unitario
- Aire atrapado
- Tiempo de fraguado

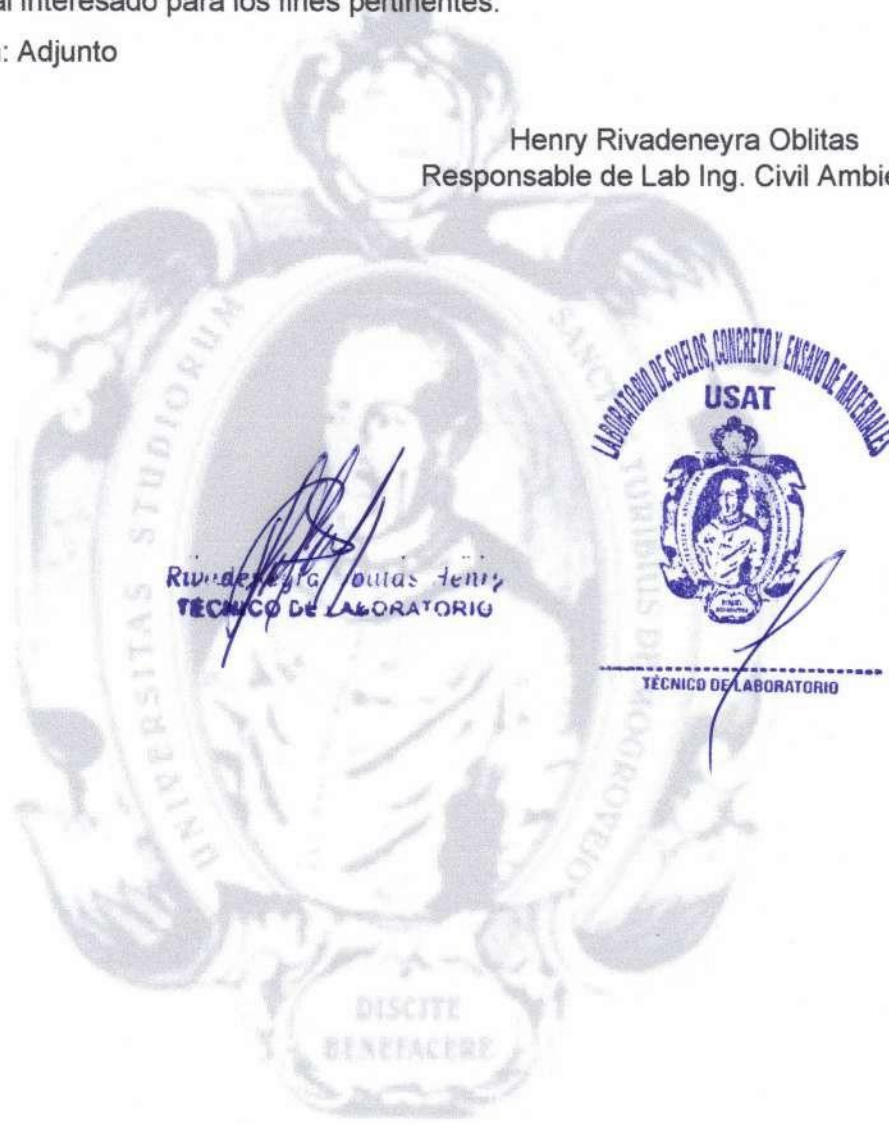
Ensayos del concreto endurecido:

- Resistencia a compresión
- Tracción indirecta
- Resistencia a flexión
- Resistencia a la abrasión
- Ensayo de Permeabilidad del concreto

Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.

Observación: Adjunto

Henry Rivadeneyra Oblitas
Responsable de Lab Ing. Civil Ambiental



Rivadeneyra Oblitas Henry
TÉCNICO DE LABORATORIO

TÉCNICO DE LABORATORIO



Tesista : Espinal Bonilla Sol Estrella
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Estudio del concreto estructural de resistencia 21Mpa fabricado con adición de nanotubos de grafeno y sistema SNS 360
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 07 de Agosto del 2023
Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso
Referencia : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

Cantera : Piedra de 1/2" - Pacherras Tres Tomas **P. Inicial H.** 0 **% de Humedad =** 0.41
P. Inicial S. 6950

Malla		Peso Ret.	(%) Ret.	(%) Acum. Ret.	(%) Acum. Que Pasa	Especificaciones USO 56	
Pulg.	(mm.)						
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	25.00	7.0	0.1	0.1	99.9	90.0	100.0
3/4"	19.00	997.0	14.3	14.4	85.6	40.0	85.0
1/2"	12.70	4250.0	61.2	75.6	24.4	10.0	40.0
3/8"	9.52	1360.0	19.6	95.2	4.8	0.0	15.0
Nº 04	4.75	330.0	4.7	99.9	0.1	0.0	5.0
Nº 08	2.36	0.0	0.0	99.9	0.1	0.0	0.0
Nº 16	1.19	0.5	0.0	99.9	0.1	0.0	0.0
Fondo		5.6	0.1	100.0	0.0		
Tamaño Maximo			1"	38.00			
Tamaño Maximo Nominal			3/4"	25.00			



Rivenderic Solís Henry
TÉCNICO DE LABORATORIO

Tesista : Espinal Bonilla Sol Estrella
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Estudio del concreto estructural de resistencia 21Mpa fabricado con adición de nanotubos de grafeno y sistema SNS 360
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 07 de Agosto del 2023
Ensayo : Contenido de humedad del agregado fino
Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Cantera : Cantera Granda - Ferreñafe

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	500	500
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	495.49	495.49
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.91	0.91
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.91	

Ensayo : Contenido de humedad del agregado grueso

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

Cantera : Piedra de 1/2" - Pacherras Tres Tomas

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	5000	5000
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	4982	4982
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.4	0.4
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.36	

Observaciones :



[Handwritten Signature]
 RIVERA REYES, JOLITAS JENNY
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Tesista : Sol Estrella Espinal Bonilla
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Estudio del concreto estructural de resistencia 21Mpa fabricado con adición de nanotubos de grafeno y sistema SNS 360
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 07 de Agosto del 2023

Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado fino
Referencia : Norma ASTM C-128 ó N.T.P. 400.022

Cantera : Cantera Granda - Ferreñafe

I.- Datos.

1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	973.7	973.7
2.- Pesc Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Fr.	(g)	709.5	709.5
3.- Peso del Agua	(g)	264.15	264.15
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del l	(g)	705.17	705.17
5.- Peso del Frasco	(g)	209.5	209.5
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	496	496
7.- Volumen del frasco	(g)	500	500

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.102
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.120
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.141
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.87

Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado grueso

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

Cantera : Piedra de 1/2" - Pacherez Tres Tomas

I.- Datos.

1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	2560	2560
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	2580	2580
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso de	(g)	2420	2420
4.- Peso de la canastilla	(g)	880	880
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	1540	1540

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.462
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.481
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.510
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.78

Rivindendra Rojas Henz
 TÉCNICO DE LABORATORIO



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



Tesista : Sol Estrella Espinal Bonilla
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Estudio del concreto estructural de resistencia 21Mpa fabricado con adición de nanotubos de grafeno y sistema SNS 360
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 07 de Agosto del 2023
Ensayo : Peso unitario del agregado fino
Referencia : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017
Canetra : Cantera Granda - Ferreñafe

1.- PESO UNITARIO SUELTO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	7675	7687
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		7675	7687
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00548	0.00548
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m ³)	1401	1403
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m ³)	1396	

2.- PESO UNITARIO COMPACTADO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	9153	9257
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		9153	9257
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00548	0.00548
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m ³)	1670	1689
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m ³)	1673	



[Firma manuscrita]
 RUISEÑOR SOLÍS
 TÉCNICO DE LABORATORIO



Tesista : Sol Estrella Espinal Bonilla
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Estudio del concreto estructural de resistencia 21Mpa fabricado con adición de nanotubos de grafeno y sistema SNS 360
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 07 de Agosto del 2023

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

Cantera : Piedra de 1/2" - Pacherez Tres Tomas

A.- PESO UNITARIO SUELTO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	7529	7501
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		7529	7501
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00544	0.00544
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m ³)	1383	1378
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m ³)	1375	

B.- PESO UNITARIO COMPACTADO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	8340	8339
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		8340.0	8339.0
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00544	0.00544
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m ³)	1532	1532
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m ³)	1526	




 RIVERA JOLITAS DENIS
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Tesista : Sol Estrella Espinal Bonilla
 Peticionario : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
 Proyecto : Estudio del concreto estructural de resistencia 21Mpa fabricado con adición de nanotubos de grafeno y sistema SNS 360
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 07 de Agosto del 2023

DISEÑO DE MEZCLA PARA CONCRETO ESTRUCTURAL F'c = 210 kg/cm²

Resultados del diseño de mezcla :

Asentamiento obtenido : 4 Pulgadas
 Peso unitario del concreto fresco : 2362 Kg/m³
 Resistencia promedio a los 3 días : 109 Kg/cm²
 Porcentaje promedio a los 3 días : 52 %
 Resistencia promedio a los 7 días : 162 Kg/cm²
 Porcentaje promedio a los 7 días : 77 %
 Factor cemento por M³ de concreto : 10.8 bolsas/m³
 Relación agua cemento de diseño : 0.558

Cantidad de materiales por metro cúbico :

Cemento	460 Kg/m ³	: Cemento Pórtland Tipo I
Agua	257 L	: Agua Potable de la Zona.
Agregado fino	713 Kg/m ³	: Cantera Granda - Ferreñafe
Agregado grueso	932 Kg/m ³	: Piedra de 1/2" - Pacherez Tres Tomas

	Cemento	Arena	Piedra	Agua	
Proporción en peso :	1.00	1.55	2.02	23.7	Lts/pie ³
Proporción en volumen :	1.00	1.66	2.21	23.7	Lts/pie ³



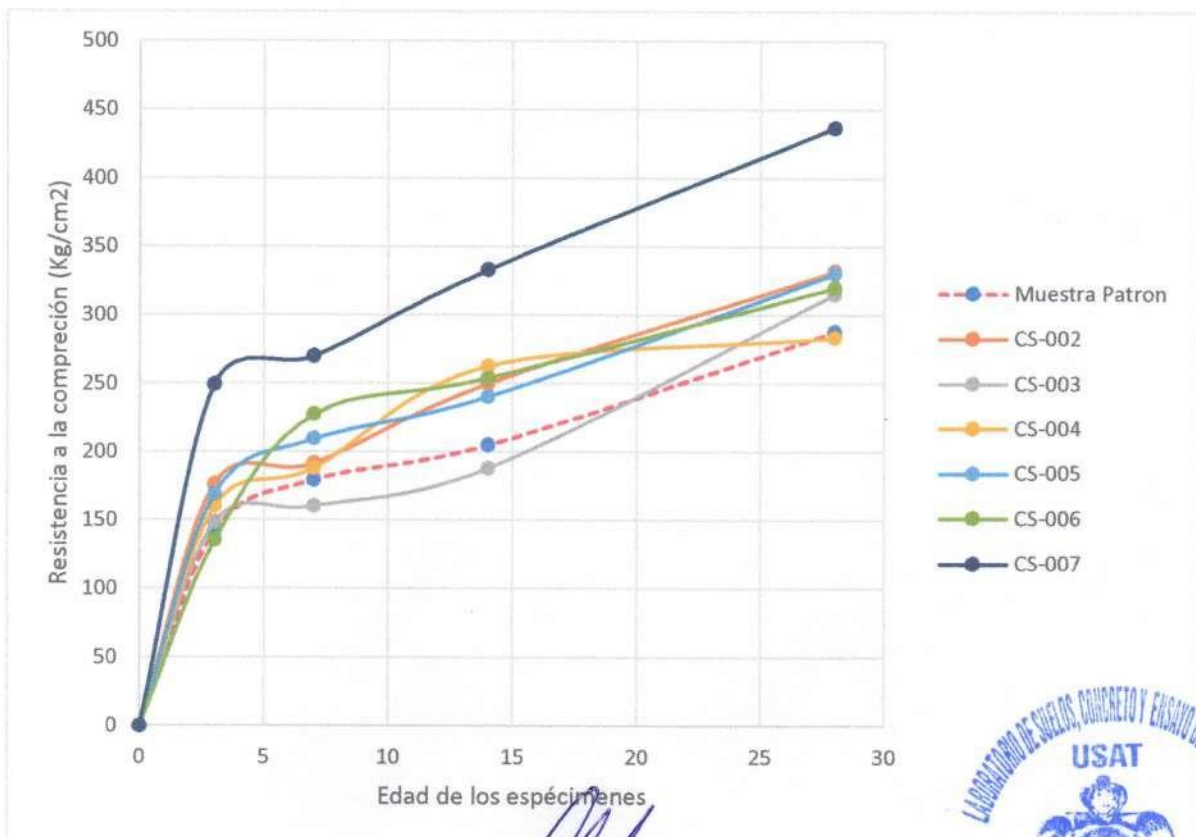
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO

[Signature]
 RIVERA BLITAS JENY
 TÉCNICO DE LABORATORIO



Tesista : Sol Estrella Espinal Bonilla
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Estudio del concreto estructural de resistencia 21Mpa fabricado con adición de nanotubos de grafeno y sistema SNS 360
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 27 de Octubre del 2022

Cod.	Tipo de concreto	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)			
		3 días	7 días	14 días	28 días
CS-001	Control	142	179	205	288
CS-002	0.05% MWCNT + 1% SNS 360	160	188	263	284
CS-003	0.10% MWCNT + 1% SNS 360	176	192	250	332
CS-004	0.25% MWCNT + 1% SNS 360	148	160	188	315
CS-005	0.05% MWCNT + 2% SNS 360	169	209	241	330
CS-006	0.10% MWCNT + 2% SNS 360	135	228	254	320
CS-007	0.25% MWCNT + 2% SNS 360	250	270	333	437

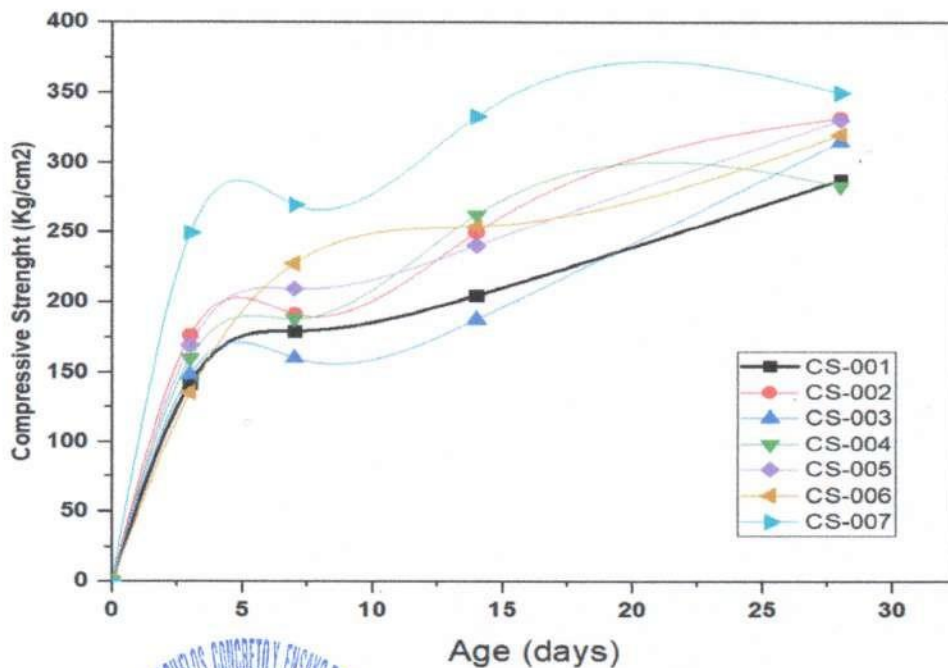


Rivindeneira Jolitas Henry
TÉCNICO DE LABORATORIO



Tesista : Sol Estrella Espinal Bonilla
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Estudio del concreto estructural de resistencia 21Mpa fabricado con adición de nanotubos de grafeno y sistema SNS 360
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 27 de Octubre del 2022

Cod.	Tipo de concreto	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)			
		3 días	7 días	14 días	28 días
CS-001	Control	18	17	22	32
CS-002	0.05% MWCNT + 1% SNS 360	21	22	26	30
CS-003	0.10% MWCNT + 1% SNS 360	17	25	29	31
CS-004	0.25% MWCNT + 1% SNS 360	17	23	26	31
CS-005	0.05% MWCNT + 2% SNS 360	20	25	24	27
CS-006	0.10% MWCNT + 2% SNS 360	20	23	24	31
CS-007	0.25% MWCNT + 2% SNS 360	22	23	28	30



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT

 TÉCNICO DE LABORATORIO

Rivindereya Jhonatas Jelli
 TÉCNICO DE LABORATORIO

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA EL RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Chiclayo, 27 de octubre del 2023

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.**

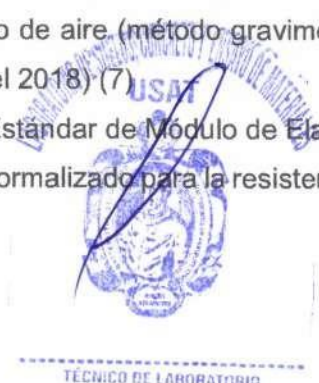
AUTORIZA: Permiso para recojo de información pertinente en función del proyecto de investigación, denominado “Estudio del concreto estructural de resistencia de 21 mpa fabricado con adición de nanotubos de grafeno y sistema SNS 360”.



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** a la estudiante Sol Estrella Espinal Bonilla identificado con DNI N° 70874949 estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil Ambiental de la UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO y autor del trabajo de investigación denominado “Estudio del concreto estructural de resistencia de 21 mpa fabricado con adición de nanotubos de grafeno y sistema SNS 360” 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:

- HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado de mezclas por medio de su resistencia a la penetración. 3a. ed. NTP 339.082:2021 (7)
- HORMIGON (CONCRETO). Método por presión para la determinación del contenido de aire en mezclas frescas. NTP 339.080 (7)
- CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto. 2ª Edición. N.T.P. 339.046: 2008 (revisada el 2018) (7)
- Método Estándar de Módulo de Elasticidad Estático - ASTM C-469 (14)
- Método normalizado para la resistencia a la abrasión del concreto o superficies de mortero



Rivendeneys Oblitas Henry
TÉCNICO DE LABORATORIO

TÉCNICO DE LABORATORIO

mediante el ensayo del rodillo giratorio. ASTM C944-12 (14)

- ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO: - Parte 8: Profundidad de penetración de agua bajo presión. UNE-EN12390-8 (8)

Atentamente.



LEMS W&C EIRL.
WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR
GERENTE GENERAL



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



Rivaldo Henry Obitas Henry
TÉCNICO DE LABORATORIO

Solicitud de Ensayo : 2009A_23/ LEMS W&C

Solicitante : Espinal Bonilla Sol Estrella

Proyecto / Obra : Estudio del concreto estructural de 21Mpa fabricado con adición de nanotubos de grafeno y sistema SNS 360

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

Fecha de Ensayo : Martes, 06 de diciembre del 2022

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

NORMA : ASTM C944 / C944M - 12

Muestra	Descripción o nombre de la muestra	Fecha Vaciado	Fecha Ensayo	Edad (días)	Tiempo Abrasión (Minutos)	ciclo	Carga (N)	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Desgaste (g)	Desgaste (%)
M-1	PATRÓN - F'c =210 KG/CM2	14/09/2023	12/10/2023	28	2	3	98	845.2	844.1	1.15	0.14
M-2		14/09/2023	12/10/2023	28	2	3	98	844.2	843.1	1.10	0.13
M-1	AB-002	14/09/2023	12/10/2023	28	2	3	98	785.8	785.1	0.67	0.09
M-2		14/09/2023	12/10/2023	28	2	3	98	676.9	676.3	0.62	0.09
M-1	AB-003	14/09/2023	12/10/2023	28	2	3	98	683.5	683.1	0.40	0.06
M-2		14/09/2023	12/10/2023	28	2	3	98	810.0	809.6	0.39	0.05
M-1	AB-004	14/09/2023	12/10/2023	28	2	3	98	841.4	840.8	0.54	0.06
M-2		14/09/2023	12/10/2023	28	2	3	98	825.4	824.9	0.47	0.06
M-1	AB-005	14/09/2023	12/10/2023	28	2	3	98	856.3	855.3	0.93	0.11
M-2		14/09/2023	12/10/2023	28	2	3	98	823.3	822.9	0.39	0.05
M-1	AB-006	14/09/2023	12/10/2023	28	2	3	98	843.1	842.7	0.44	0.05
M-2		14/09/2023	12/10/2023	28	2	3	98	882.9	882.4	0.55	0.06
M-1	AB-007	14/09/2023	12/10/2023	28	2	3	98	843.4	843.0	0.46	0.05
M-2		14/09/2023	12/10/2023	28	2	3	98	1003.9	1003.4	0.51	

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificación y ensayos realizados por el solicitante.

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

Rivadeneiro Jblitas Henry
TECNICO DE LABORATORIO

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



Solicitud de ensayo : **2009A_23/LEMS W&C**
 Solicitante : **Sol Estrella Espinal Bonilla**
 Proyecto / Obra : **ESTUDIO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL DE RESISTENCIA DE 21 Mpa
 FABRICADO CON ADICIÓN DE NANOTUBOS DE GRAFENO Y SISTEMA SNS
 360**

Ubicación : **Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque**
 Fecha de apertura : **Miércoles, 20 de setiembre del 2023**
 Inicio de ensayo : **Sábado, 30 de setiembre del 2023**
 Fin de ensayo : **Sábado, 30 de setiembre del 2023**

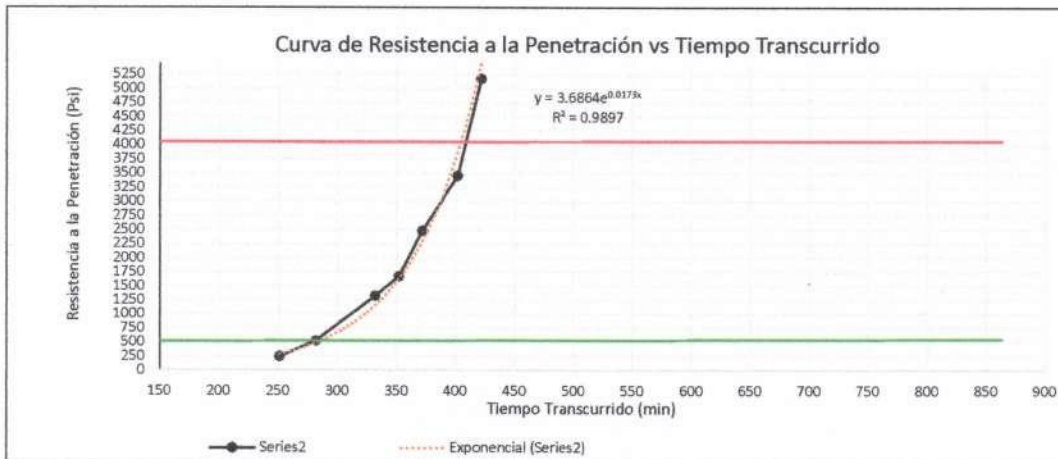
ENSAYO : **HORMIGON (CONCRETO), Método de ensayo para determinar el tiempo de
 fraguado de mezclas por medio de su resistencia a la penetración. 3a. ed.**
 NORMA : **NTP 339.082:2021**

Mezcla de concreto : **Patrón, f'c = 210kg/cm² + 0.25%NNTG + 2%NPF- Cemento PACASMAYO TIPC**
 Muestras : **Mortero tamizado en Baldes de volumen de 4 Lt**

Instrumentos : **Juego de agujas de A= 645; 323; 161; 65; 32 Y 16 mm2
 Tamiz N°4 (4.76mm); Pipeta; Termómetro
 Aparato de carga; Varilla Normalizada de punta semiesférica**

Temperatura : **23 ± 2°C**
 Hora de inicio : **1:13:00 p. m.**

Hora de ensayo	Tiempo transcurrido		Diámetro (Pulg)	Área (mm ²)	Área (Pulg ²)	Fuerza (Libras)	Resistencia a la penetración (PSI)
	Horas	Minutos					
17:24	04:11	251	1 1/8	645	1	242.178	242
17:55	04:42	282	1/6	16	1/40	12.963	523
18:45	05:32	332	1/6	16	1/40	32.805	1323
19:05	05:52	352	1/6	16	1/40	41.557	1676
19:25	06:12	372	1/6	16	1/40	61.465	2478
19:55	06:42	402	1/6	16	1/40	85.716	3456
20:15	07:02	422	1/6	16	1/40	128.419	5178



Tiempo Fraguado Inicial 500 PSI: **04:43** Horas

Tiempo Fraguado Final 4000 PSI: **06:44** Horas

OBSERVACIONES:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.

LEMS W&C EIRL.

WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR
TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

LEMS W&C EIRL.

MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES
INGENIERO CIVIL
CIP: 246984

USAT
LABORATORIO DE ENSAYOS DE CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



TÉCNICO DE LABORATORIO

Rivero Jovita Ferris
TÉCNICO DE LABORATORIO

Solicitud de ensayo : **2009A_23/LEMS W&C**
 Solicitante : **Sol Estrella Espinal Bonilla**
 Proyecto / Obra : **ESTUDIO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL DE RESISTENCIA DE 21 Mpa
 FABRICADO CON ADICIÓN DE NANOTUBOS DE GRAFENO Y SISTEMA SNS
 360**

Ubicación : **Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque**
 Fecha de apertura : **Miércoles, 20 de setiembre del 2023**
 Inicio de ensayo : **Viernes, 29 de setiembre del 2023**
 Fin de ensayo : **Viernes, 29 de setiembre del 2023**

ENSAYO : **HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo para determinar el tiempo de
 fraguado de mezclas por medio de su resistencia ala penetración. 3a. ed.**
 NORMA : **NTP 339.082:2021**

Mezcla de concreto : **Patrón, f'c = 210kg/cm2 + 0.10%NNTG + 2%NPF- Cemento PACASMAYO TIPO**
 Muestras : **Mortero tamizado en Baldes de volumen de 4 Lt**

Instrumentos : **Juego de agujas de A= 645; 323; 161; 65; 32 Y 16 mm2
 Tamiz N°4 (4.76mm); Pipeta; Termómetro
 Aparato de carga; Varilla Normalizada de punta semiesférica**

Temperatura : **23 ± 2°C**
 Hora de Inicio : **3:39:00 p. m.**

Hora de ensayo	Tiempo transcurrido		Diámetro (Pulg)	Área (mm ²)	Área (Pulg ²)	Fuerza (Libras)	Resistencia a la penetración (PSI)
	Horas	Minutos					
20:03	04:24	264	1 1/8	645	1	195.947	196
20:35	04:56	296	1/6	16	1/40	10.913	440
21:15	05:36	336	1/6	16	1/40	27.007	1089
21:45	06:06	366	1/6	16	1/40	44.048	1776
22:15	06:36	396	1/6	16	1/40	68.013	2742
22:43	07:04	424	1/6	16	1/40	116.404	4694



Tiempo Fraguado Inicial 500 PSI: **05:05** Horas
 Tiempo Fraguado Final 4000 PSI: **06:52** Horas

OBSERVACIONES:
 - Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.

LEMS W&C EIRL.

WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR
 TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

LEMS W&C EIRL.

MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES
 INGENIERO CIVIL
 CIP: 246994

Rivadeneiro Jblitas Henry
 TÉCNICO DE LABORATORIO



TÉCNICO DE LABORATORIO

Solicitud de ensayo : **2009A_23/LEMS W&C**
 Solicitante : Sol Estrella Espinal Bonilla
 Proyecto / Obra : ESTUDIO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL DE RESISTENCIA DE 21 Mpa
 FABRICADO CON ADICIÓN DE NANOTUBOS DE GRAFENO Y SISTEMA SNS 360

Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque
 Fecha de apertura : Miércoles, 20 de setiembre del 2023
 Inicio de ensayo : Viernes, 29 de setiembre del 2023
 Fin de ensayo : Viernes, 29 de setiembre del 2023

ENSAYO : HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado de mezclas por medio de su resistencia a la penetración. 3a. ed.
 NORMA : NTP 339.082:2021

Mezcla de concreto : Patrón, $f'c = 210\text{kg/cm}^2 + 0.05\%\text{NNTG} + 2\%\text{NPF}$ - Cemento PACASMAYO TIPO I
 Muestras : Mortero tamizado en Baldes de volumen de 4 Lt

Instrumentos : Juego de agujas de A= 645; 323; 161; 65; 32 Y 16 mm2
 Tamiz N°4 (4.76mm); Pipeta; Termómetro
 Aparato de carga; Varilla Normalizada de punta semiesférica

Temperatura : $23 \pm 2^\circ\text{C}$
 Hora de inicio : 12:16:00 p. m.

Hora de ensayo	Tiempo transcurrido		Diámetro (Pulg)	Área (mm ²)	Área (Pulg ²)	Fuerza (Libras)	Resistencia a la penetración (PSI)
	Horas	Minutos					
17:35	05:19	319	1 1/8	645	1	357.700	358
18:00	05:44	344	1/6	16	1/40	18.409	742
18:30	06:14	374	1/6	16	1/40	27.888	1125
19:00	06:44	404	1/6	16	1/40	44.864	1809
19:17	07:01	421	1/6	16	1/40	61.840	2494
19:47	07:31	451	1/6	16	1/40	90.125	3634
20:10	07:54	474	1/6	16	1/40	129.742	5232



Tiempo Fraguado Inicial 500 PSI: 05:27 Horas
 Tiempo Fraguado Final 4000 PSI: 07:32 Horas

OBSERVACIONES:
 - Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.



LEMS W&C EIRL.

WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR
 TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS



LEMS W&C EIRL.

MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES
 INGENIERO CIVIL
 CIP: 246884

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT



TÉCNICO DE LABORATORIO

Rivendeyra Abilitas Ferris
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Solicitud de ensayo : **2009A_23/LEMS W&C**
 Solicitante : Sol Estrella Espinal Bonilla
 Proyecto / Obra : ESTUDIO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL DE RESISTENCIA DE 21 Mpa
 FABRICADO CON ADICIÓN DE NANOTUBOS DE GRAFENO Y SISTEMA SNS 360
 Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque
 Fecha de apertura : Miércoles, 20 de setiembre del 2023
 Inicio de ensayo : Sábado, 23 de setiembre del 2023
 Fin de ensayo : Sábado, 23 de setiembre del 2023

ENSAYO : HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado de mezclas por medio de su resistencia a la penetración. 3a. ed.
 NORMA : NTP 339.082:2021

Mezcla de concreto : Patrón, f'c = 210kg/cm² + 0.05%NNTG + 1%NPF- Cemento PACASMAYO TIPO I
 Muestras : Mortero tamizado en Baldes de volumen de 4 Lt
 Instrumentos : Juego de agujas de A= 645; 323; 161; 65; 32 Y 16 mm2
 Tamiz N°4 (4.76mm); Pipeta; Termómetro
 Aparato de carga; Varilla Normalizada de punta semiesférica
 Temperatura : 23 ± 2°C
 Hora de inicio : 1:23:00 p. m.

Hora de ensayo	Tiempo transcurrido		Diámetro (Pulg)	Área (mm ²)	Área (Pulg ²)	Fuerza (Libras)	Resistencia a la penetración (PSI)
	Horas	Minutos					
17:24	04:01	241	1 1/8	645	1	154.059	154
18:04	04:41	281	1/6	16	1/40	10.913	440
19:06	05:43	343	1/6	16	1/40	23.479	947
19:38	06:15	375	1/6	16	1/40	43.651	1760
20:08	06:45	405	1/6	16	1/40	67.241	2711
20:26	07:03	423	1/6	16	1/40	94.027	3791
20:56	07:33	453	1/6	16	1/40	134.482	5423



Tiempo Fraguado Inicial 500 PSI: 05:01 Horas
 Tiempo Fraguado Final 4000 PSI: 07:08 Horas

OBSERVACIONES:
 - Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.



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



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



USAT
 LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
 TÉCNICO DE LABORATORIO

RIVERA JBLITAS HENRY
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Solicitud de ensayo : **2009A_23/LEMS W&C**
 Solicitante : **Sol Estrella Espinal Bonilla**
 Proyecto / Obra : **ESTUDIO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL DE RESISTENCIA DE 21 Mpa FABRICADO CON ADICIÓN DE NANOTUBOS DE GRAFENO Y SISTEMA SNS 360**

Ubicación : **Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque**
 Fecha de apertura : **Miércoles, 20 de setiembre del 2023**
 Inicio de ensayo : **Lunes, 28 de setiembre del 2023**
 Fin de ensayo : **Lunes, 28 de setiembre del 2023**

ENSAYO : **HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado de mezclas por medio de su resistencia a la penetración. 3a. ed.**
 NORMA : **NTP 339.082.2021**

Mezcla de concreto : **Patrón, f'c = 210kg/cm² + 0.1%NNTG + 1%NPF- Cemento PACASMAYO TIPO**
 Muestras : **Mortero tamizado en Baldes de volumen de 4 Lt**

Instrumentos : **Juego de agujas de A= 645; 323; 161; 65; 32 Y 16 mm2
 Tamiz N°4 (4.76mm); Pipeta; Termómetro
 Aparato de carga; Varilla Normalizada de punta semiesférica**

Temperatura : **23 ± 2°C**
 Hora de Inicio : **11:06:00 a. m.**

Hora de ensayo	Tiempo transcurrido		Diámetro (Pulg)	Área (mm ²)	Área (Pulg ²)	Fuerza (Libras)	Resistencia a la penetración (PSI)
	Horas	Minutos					
17:27	06:21	381	1 1/8	645	1	172.071	172
17:50	06:44	404	1/6	16	1/40	9.480	382
18:30	07:24	444	1/6	16	1/40	17.593	709
18:55	07:49	469	1/6	16	1/40	26.015	1049
19:30	08:24	504	1/6	16	1/40	37.809	1525
20:00	08:54	534	1/6	16	1/40	56.659	2285
20:30	09:24	564	1/6	16	1/40	90.830	3663
20:40	09:34	574	1/6	16	1/40	101.589	4096



Tiempo Fraguado Inicial 500 PSI: **07:11** Horas
 Tiempo Fraguado Final 4000 PSI: **09:28** Horas

OBSERVACIONES:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.

LEMS W&C EIRL.

WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR
 TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

LEMS W&C EIRL.

MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES
 INGENIERO CIVIL
 CIP: 246994

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT



TÉCNICO DE LABORATORIO

Rivadeneira Jolitas Henry
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Solicitud de ensayo : **2009A_23/LEMS W&C**
 Solicitante : **Sol Estrella Espinal Bonilla**
 Proyecto / Obra : **ESTUDIO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL DE RESISTENCIA DE 21 Mpa FABRICADO CON ADICIÓN DE NANOTUBOS DE GRAFENO Y SISTEMA SNS 360**
 Ubicación : **Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque**
 Fecha de apertura : **Miércoles, 20 de setiembre del 2023**
 Inicio de ensayo : **Lunes, 25 de setiembre del 2023**
 Fin de ensayo : **Lunes, 25 de setiembre del 2023**

ENSAYO : **HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado de mezclas por medio de su resistencia a la penetración. 3a. ed.**
 NORMA : **NTP 339.082:2021**

Mezcla de concreto : **Patrón, f'c = 210kg/cm² + 0.1%NNTG + 1%NPF- Cemento PACASMAYO TIPO I**
 Muestras : **Mortero tamizado en Baldes de volumen de 4 Lt**

Instrumentos : **Juego de agujas de A= 645; 323; 161; 65; 32 Y 16 mm2
 Tamiz N°4 (4.76mm); Pipeta; Termómetro
 Aparato de carga; Varilla Normalizada de punta semiesférica**

Temperatura : **23 ± 2°C**
 Hora de Inicio : **11:06:00 a. m.**

Hora de ensayo	Tiempo transcurrido		Diámetro (Pulg)	Área (mm ²)	Área (Pulg ²)	Fuerza (Libras)	Resistencia a la penetración (PSI)
	Horas	Minutos					
15:34	04:28	268	1 1/8	645	1	195.947	196
16:07	05:01	301	1/6	16	1/40	8.488	342
16:39	05:33	333	1/6	16	1/40	14.506	585
17:16	06:10	370	1/6	16	1/40	26.191	1056
18:08	07:02	422	1/6	16	1/40	50.706	2045
18:33	07:27	447	1/6	16	1/40	63.890	2576
19:05	07:59	479	1/6	16	1/40	94.755	3821
19:35	08:29	509	1/6	16	1/40	125.994	5080




Tiempo Fraguado Inicial 500 PSI: **05:25** Horas
 Tiempo Fraguado Final 4000 PSI: **07:59** Horas

OBSERVACIONES:
 - Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.

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

 **LEMS W&C EIRL.**
 MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES
 INGENIERO CIVIL
 CIP: 246994


 Rivandeyra Jolitas Henry
 TÉCNICO DE LABORATORIO



Solicitud de ensayo : **2009A_23/LEMS W&C**
 Solicitante : Sol Estrella Espinal Bonilla
 Proyecto / Obra : ESTUDIO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL DE RESISTENCIA DE 21 Mpa
 FABRICADO CON ADICIÓN DE NANOTUBOS DE GRAFENO Y SISTEMA SNS 360

Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque
 Fecha de apertura : Miércoles, 20 de setiembre del 2023
 Inicio de ensayo : Sábado, 23 de setiembre del 2023
 Fin de ensayo : Sábado, 23 de setiembre del 2023

ENSAYO : HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado de mezclas por medio de su resistencia a la penetración. 3a. ed.
 NORMA : NTP 339.082:2021

Mezcla de concreto : **Patrón, $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ - Cemento PACASMAYO TIPO I**
 Muestras : Mortero tamizado en Baldes de volumen de 4 Lt

Instrumentos : Juego de agujas de A= 645; 323; 161; 65; 32 Y 16 mm2
 Tamiz N°4 (4.76mm); Pipeta; Termómetro
 Aparato de carga; Varilla Normalizada de punta semiesférica

Temperatura : $23 \pm 2^\circ\text{C}$
 Hora de inicio : 11:56:00 a. m.

Hora de ensayo	Tiempo transcurrido		Diámetro (Pulg)	Área (mm ²)	Área (Pulg ²)	Fuerza (Libras)	Resistencia a la penetración (PSI)
	Horas	Minutos					
15:50	03:54	234	1 1/8	645	1	101.192	101
16:20	04:24	264	1/6	16	1/40	9.039	364
16:39	04:43	283	1/6	16	1/40	16.976	684
17:17	05:21	321	1/6	16	1/40	37.434	1509
17:45	05:49	349	1/6	16	1/40	69.137	2788
18:15	06:19	379	1/6	16	1/40	108.842	4389



Tiempo Fraguado Inicial 500 PSI: 04:37 Horas
 Tiempo Fraguado Final 4000 PSI: 06:12 Horas

OBSERVACIONES:

Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO

LEMS W&C EIRL.

WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR
 TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS



LEMS W&C EIRL.

MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES
 INGENIERO CIVIL
 CIP: 246904

Rivadeneiro Oblitas Henry
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Solicitud de Ensayo : 2009A-23/ LEMS W&C
Solicitante : Sol Estrella Espinal Bonilla
Proyecto / Obra : Estudio del concreto estructural de 21Mpa fabricado con adición de nanotubos de grafeno y sistema SNS 360
Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque
Fecha de Apertura : Miércoles, 20 de setiembre del 2023
Inicio de Ensayo : Sábado, 23 de septiembre del 2023
Fin de Ensayo : Sábado, 23 de septiembre del 2023

Ensayo : CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto. 2ª Edición

Referencia : N.T.P. 339.046 : 2008 (revisada el 2018)


Muestra Nº	IDENTIFICACIÓN	Diseño f'c (kg/cm ²)	Fecha de Ensayo (Días)	DENSIDAD (Kg/m ³)
PU-002	M.P - f'c= 210 kg/cm ² + 0.10% MWCNT + 1% NPF	210	25/09/2023	2336
PU-003	M.P - f'c= 210 kg/cm ² + 0.25% MWCNT + 1% NPF	210	28/09/2023	2330
PU-004	M.P - f'c= 210 kg/cm ² + 0.05% MWCNT + 1% NPF	210	23/09/2023	2339
PU-005	M.P - f'c= 210 kg/cm ² + 0.05% MWCNT + 2% NPF	210	29/09/2023	2321
PU-006	M.P - f'c= 210 kg/cm ² + 0.10% MWCNT + 2% NPF	210	29/09/2029	2331
PU-007	M.P - f'c= 210 kg/cm ² + 0.25% MWCNT + 2% NPF	210	30/09/2023	2338


OBSERVACIONES:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante,




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




LEMS W&C EIRL.
 MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES
 INGENIERO CIVIL
 CIP: 246904

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT

 TÉCNICO DE LABORATORIO



Rivas de Ayra Oblitas Denis
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Solicitud de Ensayo : 2009A-23/ LEMS W&C
Solicitante : Sol Estrella Espinal Bonilla
Proyecto / Obra : Estudio del concreto estructural de 21Mpa fabricado con adición de nanotubos de grafeno y sistema SNS 360
Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque
Fecha de Apertura : Miércoles, 20 de setiembre del 2023
Inicio de Ensayo : Sábado, 23 de septiembre del 2023
Fin de Ensayo : Sábado, 23 de septiembre del 2023

Ensayo : CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto. 2ª Edición

Referencia : N.T.P. 339.046 : 2008 (revisada el 2018)

Muestra N°	IDENTIFICACIÓN	Diseño f'c (kg/cm ²)	Fecha de Ensayo (Días)	DENSIDAD (Kg/m ³)
01	M.P- f'c= 210 kg/cm2	210	31/05/2023	2360

OBSERVACIONES:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante,




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




LEMS W&C EIRL.
 MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES
 INGENIERO CIVIL
 CIP: 246994




USAT
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 TÉCNICO DE LABORATORIO



Rivaldeyra Jblitas Henry
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Solicitud de Ensayo : **2009A_23/ LEMS W&C**
 Solicitante : Sol Estrella Espinal Bonilla
 Proyecto / Obra : Estudio del concreto estructural de 21Mpa fabricado con adición de nanotubos de grafeno y sistema SNS 360
 Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque
 Fecha de Apertura : Miércoles, 20 de setiembre del 2023
 Inicio de Ensayo : Sábado, 23 de septiembre del 2023
 Fin de Ensayo : Sábado, 23 de septiembre del 2023
 Ensayo : **HORMIGON (CONCRETO). Método por presión para la determinación del contenido de aire en mezclas frescas.**
 Referencia : NTP 339.080
 Tipo de Medidor : Medidor "B"

Diseño	IDENTIFICACIÓN	Diseño f'c (kg/cm ²)	Fecha de Ensayo (Días)	Contenido de aire (%)		
				Medido "B"	Medido "B"	Medido "B"
AI-002	M.P - f'c= 210 kg/cm ² + 0.10% MWCNT + 1% NPF	210	25/09/2023	13:49 am	Medido "B"	1.80
AI-003	M.P - f'c= 210 kg/cm ² + 0.25% MWCNT + 1% NPF	210	28/09/2023	13:18 p.m	Medido "B"	1.75
AI-004	M.P - f'c= 210 kg/cm ² + 0.05% MWCNT + 1% NPF	210	23/09/2023	13:49 p.m	Medido "B"	1.75
AI-005	M.P - f'c= 210 kg/cm ² + 0.05% MWCNT + 2% NPF	210	29/09/2023	12:32 p.m	Medido "B"	1.80
AI-006	M.P - f'c= 210 kg/cm ² + 0.10% MWCNT + 2% NPF	210	29/09/2029	15:23 p.m	Medido "B"	1.80
AI-007	M.P - f'c= 210 kg/cm ² + 0.25% MWCNT + 2% NPF	210	30/09/2023	13:39 p.m	Medido "B"	1.75

OBSERVACIONES:

- Muestreo, ensayo e identificación realizados por el solicitante.



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



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



USAT
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
TÉCNICO DE LABORATORIO



Rivas Henery Jolitas Henry
TÉCNICO DE LABORATORIO

Solicitud de Ensayo : 2009A_23/ LEMS W&C
 Solicitante : Sol Estrella Espinal Bonilla
 Proyecto / Obra : Estudio del concreto estructural de 21Mpa fabricado con adición de nanotubos de grafeno y sistema SNS 360
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque
 Fecha de Apertura : Miércoles, 20 de setiembre del 2023
 Inicio de Ensayo : Sábado, 23 de septiembre del 2023
 Fin de Ensayo : Sábado, 23 de septiembre del 2023

Ensayo : HORMIGON (CONCRETO). Método por presión para la determinación del contenido de aire en mezclas frescas.
 Referencia : NTP 339.080
 Tipo de Medidor : Medidor "B"

Diseño	IDENTIFICACIÓN	Diseño f'c (kg/cm ²)	Fecha de Ensayo (Días)	Contenido de aire (%)
AI-001	M.P- f'c= 210 kg/cm ²	210	23/09/2023	2.0

OBSERVACIONES:

- Muestreo, ensayo e identificación realizados por el solicitante.



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



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



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
TÉCNICO DE LABORATORIO



RUIZ PERALES MIGUEL ANGEL
TÉCNICO DE LABORATORIO

Solicitud de Ensayo : **2009A_23/LEMS W&C**
Solicitante : **Sol Estrella Espinal Bonilla**

Proyecto / Obra : **ESTUDIO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL DE RESISTENCIA DE 21 Mpa FABRICADO CON ADICIÓN DE NANOTUBOS DE GRAFENO Y SISTEMA SNS 360**

Ubicación : **Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque.**
Fecha de Apertura : **Miércoles, 20 de setiembre del 2023**
Inicio de Ensayo : **Sábado, 23 de setiembre del 2023**
Fin de Ensayo : **Sábado, 23 de setiembre del 2023**

Ensayo : **ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO: - Parte 8: Profundidad de penetración de agua bajo presión.**

Norma : **UNE-EN12390-8**
Mezcla de concreto : **f'c= 210 kg/m2**
R a/c diseño : **0.64**
Edad : **30 días**

Muestra N°	Descripción de la Muestra (kg/cm2)	Edad (Días)	Fecha		Hora		Tiempo (72 ± 2 Horas)	Cara	Penetración Máxima (mm)		
			Inicio	Final	Inicio	Final			Unidad	Promedio	Clase de exposición
M-01	CONCRETO PATRÓN 210	30	10/10/2023	13/10/2023	9:00 a. m.	9:00 a. m.	72	A	22.41	24.73	CUMPLE para elementos en masa o armados
							B	25.93			
M-02	CONCRETO PATRÓN 210	30	10/10/2023	13/10/2023	9:00 a. m.	9:00 a. m.	72	A	25.93	24.65	CUMPLE para elementos en masa o armados
							B	24.65			
M-03	PC - f'c= 210 kg/cm2 + 0.1%NNTG + 1%NPF	30	10/10/2023	13/10/2023	9:00 a. m.	9:00 a. m.	72	A	21.60	21.79	CUMPLE para elementos en masa o armados
							B	21.98			
M-04	PC - f'c= 210 kg/cm2 + 0.25%NNTG + 1%NPF	30	13/10/2023	16/10/2023	9:00 a. m.	9:00 a. m.	72	A	20.71	21.09	CUMPLE para elementos en masa o armados
							B	21.47			
M-05	PC - f'c= 210 kg/cm2 + 0.05%NNTG + 1%NPF	30	13/10/2023	16/10/2023	9:00 a. m.	9:00 a. m.	72	A	19.82	20.41	CUMPLE para elementos en masa o armados
							B	20.99			
M-06	PC - f'c= 210 kg/cm2 + 0.05%NNTG + 2%NPF	30	13/10/2023	16/10/2023	9:00 a. m.	9:00 a. m.	72	A	19.60	19.29	CUMPLE para elementos en masa o armados
							B	18.98			
M-07	PC - f'c= 210 kg/cm2 + 0.10%NNTG + 2%NPF	30	16/10/2023	19/10/2023	9:00 a. m.	9:00 a. m.	72	A	15.13	14.94	CUMPLE para elementos en masa o armados
							B	14.74			
M-08	PC - f'c= 210 kg/cm2 + 0.25%NNTG + 2%NPF	30	16/10/2023	19/10/2023	9:00 a. m.	9:00 a. m.	72	A	14.71	14.14	CUMPLE para elementos en masa o armados
							B	13.56			

NOTA:

- PRESIÓN APLICADA: 500 kPa aplicada desde la base de la probeta.

OBSERVACIONES:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.



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



LEMS W&C EIRL.
MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES
INGENIERO CIVIL
CIP: 246994



USAT
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
TÉCNICO DE LABORATORIO



Rivanderkyra Juntas Jenty
TÉCNICO DE LABORATORIO

Solicitud de Ensayo : 2009A_23/LEMS W&C
 Solicitante : Sol Estrella Espinal Bonilla
 Proyecto / Obra : ESTUDIO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL DE RESISTENCIA DE 21 Mpa FABRICADO CON ADICIÓN DE NANOTUBOS DE GRAFENO Y SISTEMA SNS 360
 Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque
 Fecha de Apertura : Miércoles, 20 de setiembre del 2023
 Inicio de Ensayo : Sábado, 23 de setiembre del 2023
 Fin de Ensayo : Sábado, 23 de setiembre del 2023
 Ensayo : COMPRESSION (Método estándar para la determinación del módulo de elasticidad estático y de la relación de Poisson del concreto sometido a compresión). Diseño de concreto (Patrón 210kg/cm²)DM1 - sustitución (P)0% al cemento ó (CM)0% al agregado fino (arena gruesa)
 Referencia : ASTM C-469

IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	σ_u (Kg/cm ²)	Esfuerzo S2 (40% σ_u) Kg/cm ²	Esfuerzo S1 (0.000050) Kg/cm ²	ϵ unitaria ϵ_2 (S ₂)	E _c Kg/cm ²	Promedio E _c Kg/cm ²
PC - f'c= 210 kg/cm ²	12/09/2023	10/10/2023	28	302.44	121	12.92149	0.000583	202595	208661.29
PC - f'c= 210 kg/cm ²	12/09/2023	10/10/2023	28	270.53	108	13.65806	0.000490	214727	
PC - f'c= 210 kg/cm ² + 0.1%NNTG + 1%NPF	12/09/2023	10/10/2023	28	335.48	134	20.70306	0.000419	307666	282698.04
PC - f'c= 210 kg/cm ² + 0.1%NNTG + 1%NPF	12/09/2023	10/10/2023	28	326.55	131	16.32443	0.000493	257730	
PC - f'c= 210 kg/cm ² + 0.25%NNTG + 1%NPF	12/09/2023	10/10/2023	28	279.37	112	13.96435	0.000502	216386	242677.63
PC - f'c= 210 kg/cm ² + 0.25%NNTG + 1%NPF	12/09/2023	10/10/2023	28	347.26	139	17.35961	0.000502	268969	
PC - f'c= 210 kg/cm ² + 0.05%NNTG + 1%NPF	12/09/2023	10/10/2023	28	269.71	108	14.82311	0.000464	224987	230984.63
PC - f'c= 210 kg/cm ² + 0.05%NNTG + 1%NPF	12/09/2023	10/10/2023	28	287.66	115	15.84825	0.000469	236982	
PC - f'c= 210 kg/cm ² + 0.05%NNTG + 2%NPF	12/09/2023	10/10/2023	28	330.27	132	16.50062	0.000479	269651	260617.65
PC - f'c= 210 kg/cm ² + 0.05%NNTG + 2%NPF	12/09/2023	10/10/2023	28	324.81	130	16.23691	0.000502	251585	
PC - f'c= 210 kg/cm ² + 0.10%NNTG + 2%NPF	12/09/2023	10/10/2023	28	319.88	128	15.98943	0.000502	247765	254032.44
PC - f'c= 210 kg/cm ² + 0.10%NNTG + 2%NPF	12/09/2023	10/10/2023	28	336.07	134	16.80128	0.000502	260300	
PC - f'c= 210 kg/cm ² + 0.25%NNTG + 2%NPF	12/09/2023	10/10/2023	28	336.07	134	16.80128	0.000502	260300	263227.44
PC - f'c= 210 kg/cm ² + 0.25%NNTG + 2%NPF	12/09/2023	10/10/2023	28	343.63	137	17.17853	0.000502	266155	

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.



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



LEMS W&C EIRL.
 MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES
 INGENIERO CIVIL
 CIP: 246904




Rigoberto Oblitas Henríquez
 TÉCNICO DE LABORATORIO



PERUTEST S.A.C.
EQUIPOS E INSTRUMENTOS

PERUTEST S.A.C.

VENTA Y FABRICACIÓN DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE LABORATORIO
SUELOS - MATERIALES - CONCRETOS - ASFALTOS - ROCAS - FÍSICA - QUÍMICA

RUC N° 20602182721

Área de Metrología
Laboratorio de Masas

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PT - LM - 0111 - 2023

Página 4 de 4

ENSAYO DE PESAJE

Temperatura	Inicial	Final
	26.4 °C	26.4 °C

Carga L (g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				e.m.p ** (± mg)
	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)	
0.10	0.10	6	-1						
0.20	0.20	5	0	1	0.20	5	0	1	100
10.00	10.00	6	-1	0	10.00	5	0	1	100
100.00	100.00	7	-2	-1	100.00	4	1	2	100
500.00	500.00	6	-1	0	500.00	5	0	1	200
800.00	800.00	5	0	1	800.00	6	-1	0	200
1000.00	1000.00	6	-1	0	1000.00	7	-2	-1	200
1200.00	1200.00	6	-1	0	1200.00	2	3	4	200
1500.00	1500.00	4	1	2	1500.00	3	2	3	200
1800.00	1800.01	8	7	8	1800.00	3	2	3	200
2000.00	2000.01	8	7	8	2000.01	8	7	8	300

** error máximo permisible

Leyenda: L: Carga aplicada a la balanza.
l: Indicación de la balanza.

ΔL: Carga adicional.
E: Error encontrado

E₀: Error en cero.
E_C: Error corregido.

Incertidumbre expandida de medición

$$U = 2 \times \sqrt{(0.000028 \text{ g}^2 + 0.0000000001 \text{ R}^2)}$$

Lectura corregida

$$R_{\text{CORREGIDA}} = R + 0.0000026 R$$

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

USAT



TECNICO DE LABORATORIO

Rodrigo J. Torres Henrí
TECNICO DE LABORATORIO

☎ 913 028 621 / 913 028 622
☎ 913 028 623 / 913 028 624
🌐 www.perutest.com.pe

📍 Av. Chillón Lote 50B - Comas - Lima - Lima
✉ ventas@perutest.com.pe
🏢 PERUTEST SAC

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PT - LM - 0111 - 2023

Área de Metrología
Laboratorio de Masas

Página 3 de 4

11. Resultados de Medición

INSPECCIÓN VISUAL

AJUSTE DE CERO	TIENE	PLATAFORMA	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	SISTEMA DE TRABA	TIENE	CURSOR	NO TIENE
		NIVELACIÓN	TIENE		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Temperatura	Inicial	Final
	26.4 °C	26.4 °C

Medición N°	Carga L1 = 1,000 g			Carga L2 = 2,000 g			
	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)	
1	1000.00	5	0	2000.00	5	0	
2	1000.00	4	1	2000.01	8	7	
3	1000.01	8	7	2000.00	3	2	
4	1000.00	5	0	2000.00	6	-1	
5	1000.00	6	-1	2000.00	2	3	
6	1000.01	9	6	2000.00	5	0	
7	1000.00	4	1	2000.00	4	1	
8	1000.00	5	0	2000.00	6	-1	
9	1000.00	6	-1	2000.01	8	7	
10	1000.00	4	1	2000.00	6	-1	
Diferencia Máxima			8	Diferencia Máxima			8
Error Máximo Permissible			200	Error Máximo Permissible			300



Rivadeneira Jofiles Henry
TÉCNICO DE LABORATORIO

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Posición de las cargas

Temperatura	Inicial	Final
	26.4 °C	26.4 °C

Posición de la Carga	Determinación del Error en Cero Eo				Determinación del Error Corregido Ec				
	Carga Mínima*	l (g)	ΔL (mg)	Eo (mg)	Carga L (g)	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)
1	0.10	0.10	5	0	1000.00	1000.00	5	0	0
2		0.11	8	7		1000.00	4	1	-6
3		0.10	6	-1		1000.00	6	-1	0
4		0.10	5	0		1000.00	5	0	0
5		0.10	6	-1		1000.01	8	7	8
Error máximo permisible									200

* Valor entre 0 y 10e



Área de Metrología
Laboratorio de Masas

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PT - LM - 0111 - 2023

Página 2 de 4

6. Método de Calibración

La calibración se realizó según el método descrito en el PC-001: "Procedimiento de Calibración de Balanzas de Funcionamiento No Automático Clase III y Clase IIII" del SNM- INACAL

7. Lugar de calibración

En las instalaciones del cliente.

CALLE LA FE NRO 0167 UPIS SEÑOR DE LOS MILAGROS - CHICLAYO - LAMBAYEQUE

8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	26.5 °C	26.5 °C
Humedad Relativa	53%	55%

9. Patrones de referencia

Los resultados de la calibración son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Masa de la Dirección de Metrología - INACAL en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
ELICROM	JUEGO DE PESAS 1 mg a 1 kg (Clase de Exactitud: F1)	CCP-0908-001-22

10. Observaciones

- Se adjunta una etiqueta autoadhesiva con la indicación de CALIBRADO.
- (**) Código indicada en una etiqueta adherido al equipo.



Área de Metrología
Laboratorio de Masas

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PT - LM - 0111 - 2023

Página 2 de 4

6. Método de Calibración

La calibración se realizó según el método descrito en el PC-001: "Procedimiento de Calibración de Balanzas de Funcionamiento No Automático Clase III y Clase IIII" del SNM- INACAL

7. Lugar de calibración

En las instalaciones del cliente.

CALLE LA FE NRO 0167 UPIS SEÑOR DE LOS MILAGROS - CHICLAYO - LAMBAYEQUE

8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	26.5 °C	26.5 °C
Humedad Relativa	53%	55%

9. Patrones de referencia

Los resultados de la calibración son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Masa de la Dirección de Metrología - INACAL en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
ELICROM	JUEGO DE PESAS 1 mg a 1 kg (Clase de Exactitud: F1)	CCP-0908-001-22

10. Observaciones

- Se adjunta una etiqueta autoadhesiva con la indicación de CALIBRADO.
- (**) Código indicada en una etiqueta adherido al equipo.



Área de Metrología
Laboratorio de Masas

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PT - LM - 0111 - 2023

Página 1 de 4

1. Expediente	1912-2023
2. Solicitante	LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS W&C E.I.R.L.
3. Dirección	CALLE LA FE NRO 0167 UPIS SEÑOR DE LOS MILAGROS - CHICLAYO - LAMBAYEQUE
4. Equipo de medición	BALANZA ELECTRÓNICA
Capacidad Máxima	2000 g
División de escala (d)	0.01 g
Div. de verificación (e)	0.1 g
Clase de exactitud	III
Marca	AMPUT
Modelo	457
Número de Serie	NO INDICA
Capacidad mínima	0.2 g
Procedencia	NO INDICA
Identificación	NO INDICA

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.

PERUTEST 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.

5. Fecha de Calibración 2023-03-01

Fecha de Emisión

2023-03-02

Jefe del Laboratorio de Metrología

JOSE ALEJANDRO FLORES MINAYA



Sello



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PT - LP - 062 - 2023

Área de Metrología
Laboratorio de Presión

Página 2 de 2

6. Método de Calibración

La calibración se realizó por la comparación directa según el ME-003 "Procedimiento para la calibración de manómetros, vacuómetros y manovacuumetros" Edición digital 1 - CEM de España.

7. Lugar de calibración

Laboratorio de Presión de PERUTEST S.A.C.
Avenida Chillón Lote 50B - Comas - Lima - Lima

8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	21.5 °C	21.5 °C
Humedad Relativa	53 % HR	53 % HR

9. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de Calibración
INACAL	Manómetro Digital con Incertidumbre 0.15	LFP-018-2023
METROIL	TERMOHIGROMETRO DIGITAL BOECO	1AT-1704-2022

10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación CALIBRADO.

11. Resultados de Medición

En la siguiente tabla se presentan la serie de los resultados obtenidos

Indicación A Calibrar (psi)	Indicación Manómetro Patrón		Error		
	Ascendente (psi)	Descendente (psi)	de Indicación		de Histeresis (psi)
			Ascendente (psi)	Descendente (psi)	
50	50.0	50.0	0.0	0.0	0.00
100	100.1	100.3	0.1	0.3	0.20
150	150.2	150.7	0.2	0.7	0.50
200	200.8	200.8	0.8	0.9	0.10
250	250.9	250.8	0.9	0.8	-0.10
300	301.3	301.3	1.3	1.3	0.00



TÉCNICO DE LABORATORIO

Rafael Mejía Oblitas Henrí
TÉCNICO DE LABORATORIO



Área de Metrología
Laboratorio de Presión

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PT - LP - 062 - 2023

Página 1 de 2

1. Expediente	2605-2023
2. Solicitante	LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS W & C E.I.R.L. - LEMS W & C E.I.R.L.
3. Dirección	CALLA FE NRO. 0167 UPIS SEÑOR DE LOS MILAGROS LAMBAYEQUE - CHICLAYO - CHICLAYO
4. Instrumento de Medición	MANOMETRO
Alcance de indicación	0 PSI a 150 PSI
División de Escala / Resolución	5 PSI
Marca	NO INDICA
Modelo	NO INDICA
Número de Serie	NO INDICA
Procedencia	NO INDICA
Identificación	LP-062
Tipo	ANALOGICO
5. Fecha de Calibración	2023-05-16

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.

PERUTEST 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

2023-05-16

Jefe del Laboratorio de Metrología

Sello




Ricardo J. Obitas Henry,
TÉCNICO DE LABORATORIO

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PT - LF - 0104 - 2023

Área de Metrología
Laboratorio de Fuerza

Página 3 de 3

11. Resultados de Medición

Indicación del Equipo		Indicación de Fuerza (Ascenso) Patrón de Referencia			
%	F_i (kN)	F_1 (kN)	F_2 (kN)	F_3 (kN)	$F_{Promedio}$ (kN)
10	100	100.8	101.1	100.9	101.0
20	200	201.0	201.4	201.1	201.3
30	300	301.6	301.6	301.5	301.5
40	400	400.8	400.8	400.7	400.8
50	500	501.7	500.7	501.6	501.2
60	600	600.5	600.0	600.4	600.2
70	700	700.7	700.7	700.5	700.7
80	800	799.6	790.9	799.3	795.2
90	900	899.8	900.5	899.6	900.1
100	1000	1001.6	1000.3	1001.3	1000.8
Retorno a Cero		0.0	0.0	0.0	

Indicación del Equipo F (kN)	Errores Encontrados en el Sistema de Medición				Incertidumbre U (k=2) (%)
	Exactitud q (%)	Repetibilidad b (%)	Reversibilidad v (%)	Resol. Relativa σ (%)	
100	-0.97	0.29	0.00	0.10	0.60
200	-0.62	0.19	0.00	0.05	0.58
300	-0.51	0.03	0.00	0.03	0.58
400	-0.20	0.04	0.00	0.03	0.58
500	-0.23	0.21	0.00	0.02	0.59
600	-0.04	0.07	0.00	0.02	0.58
700	-0.09	0.03	0.00	0.01	0.57
800	0.60	1.10	0.00	0.01	0.85
900	-0.01	0.11	0.00	0.01	0.58
1000	-0.08	0.13	0.00	0.01	0.58

MÁXIMO ERROR RELATIVO DE CERO (f_0)	0.00 %
-----------------------------------------	--------



12. Incertidumbre

La incertidumbre expandida de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura $k=2$, el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores que influyen en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a la hora de utilizar el equipo.



Rivero Cordero Jelitaz Henrry
TÉCNICO DE LABORATORIO

TÉCNICO DE LABORATORIO

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PT - LF - 0104 - 2023

Área de Metrología
Laboratorio de Fuerza

Página 2 de 3

6. Método de Calibración

La calibración se realiza por comparación directa entre el valor de fuerza indicada en el dispositivo indicador de la máquina a ser calibrada y la indicación de fuerza real tomada del instrumento de medición de fuerza patrón siguiendo la PC-032 "Procedimiento para la calibración de máquinas de ensayos uniaxiales" Edición 01 de INACAL - DM

7. Lugar de calibración

En el laboratorio del cliente
Laboratorio de Materiales de LEMS W & C E.I.R.L.

8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	26.0 °C	26.0 °C
Humedad Relativa	58 % HR	58 % HR

9. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Informe/Certificado de calibración
Celdas patrones calibradas en PUCP - Laboratorio de estructuras antisísmicas	Celda de Carga Capacidad: 150,000 kg.f	INF-LE N° 093-23 (B)
ELICROM	TERMOHIGROMETRO DIGITAL BOECO	CCP-0102-001-23

10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación CALIBRADO.
- Durante la realización de cada secuencia de calibración la temperatura del equipo de medida de fuerza permanece estable dentro de un intervalo de $\pm 2,0$ °C.
- El equipo no indica clase sin embargo cumple con el criterio para máquinas de ensayo uniaxiales de clase de 2.0 según la norma UNE-EN ISO 7500-1.



[Firma]
Ronald Ayta Oblitas Henry
TÉCNICO DE LABORATORIO



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PT - LF - 0104 - 2023

Área de Metrología
Laboratorio de Fuerza

Página 1 de 3

1. Expediente	4686-2023
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. Equipo	PRENSA DE CONCRETO
Capacidad	2000 kN
Marca	A Y A INSTRUMENT
Modelo	STYE-2000B
Número de Serie	131214
Procedencia	CHINA
Identificación	NO INDICA
Indicación	DIGITAL
Marca	MC
Modelo	STYLE-2000B
Número de Serie	131214
Resolución	0.01 / 0.1 kN (*)
Ubicación	NO INDICA

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.

PERUTEST 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.



Jefe del Laboratorio de Metrología

Jose Alejandro Flores Minaya
JOSE ALEJANDRO FLORES MINAYA

Rina de la Cruz Jblitas Henz
Rina de la Cruz Jblitas Henz
TÉCNICO DE LABORATORIO

Sello



PROYECTO DE TESIS: Estudio del concreto estructural de resistencia de 21 mpa fabricado con adición de nanotubos de grafeno y sistema SNS 360

TESISTA: Sol Estrella Espinal Bonilla

INSTITUCIÓN : UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FECHA DE PRESUPUESTO Chiclayo, 20 de setiembre del 2023

# DISEÑO								
Descripción	Patrón	Material reciclado				Sub Total	Precio Total	
		ceniza de yuca						
	0%	1.0%	3.5%	6.0%				
f'c 280 kg/cm2	1	1	1	1		4	7	
		ceniza de bagazo de caña						
		1.0%	3.5%	6.0%				
		1	1	1		3		

ENSAYOS DE CONCRETO									
Ensayos	Diseño	Cantidad de Ensayos				Total	Precio		Precio Total
f'c (kg/cm2)							Unitario	Parcial	
Edad (Días)	-	7	14	28					1645
Permeabilidad	8			1		8	70	560	
Tiempo de fraguado	7			1		7	50	350	
Abrasión	7			2		14	15	210	
Módulo de elasticidad estático	7			2		14	15	210	
Peso Unitario del concreto	7			1		7	10	70	
Contenido de aire atrapado	7			1		7	35	245	
TOTAL =						57			

OTROS SERVICIOS		
Elaboración de vigas	1	100
		TOTAL = S/1,745.0
		PRESUPUESTO_ENSAYOS = S/1,745.0

NOTA 1: EL LABORATORIO TRABAJA CON 50% DE PAGO ANTICIPADO
NOTA 2: Cuenta de Ahorros BCP 30515762659064, Wilson Arturo Olaya Aguilar



LEMS W&C EIRL.
Wilson Arturo Olaya Aguilar
WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR
GERENTE GENERAL



USAT
LABORATORIO DE ENSAYOS DE CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
[Signature]
TÉCNICO DE LABORATORIO

[Signature]
RIVERA DE VEGA JOLITAS HENRY
TÉCNICO DE LABORATORIO



PERÚ

Presidencia
del Consejo de Ministros

INDECOPI



Firmado digitalmente por:
CHUEZ SALAZAR Sergio Jean Piero
FAU: 20133840533 hard
Fecha: 28/03/2022 18:37:05-0500

Registro de la Propiedad Industrial

Dirección de Signos Distintivos

CERTIFICADO N° 00137704

La Dirección de Signos Distintivos del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual – INDECOPI, certifica que por mandato de la Resolución N° 008139-2022/DSD - INDECOPI de fecha 25 de marzo de 2022, ha quedado inscrito en el Registro de Marcas de Servicio, el siguiente signo:

Signo : La denominación LEMS W&C y logotipo, conforme al modelo

Distingue : Servicios de estudio de mecánica de suelos, estudio de evaluación de estructuras, ensayos y control de calidad del concreto, mezclas asfáltica, emulsiones asfálticas, suelos y materiales.

Clase : 42 de la Clasificación Internacional.

Solicitud : 0935718-2022

Titular : LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS W & C E.I.R.L. - LEMS W & C E.I.R.L.

País : Perú

Vigencia : 25 de marzo de 2032



Riviera Mejra Jolitas Jenny
TÉCNICO DE LABORATORIO



Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por Indecopi, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web.

<https://enlinea.indecopi.gob.pe/verificador>

Id Documento: wtenwa22bp

Pág. 1 de 1