

**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

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

## Índice

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

Concreto Masivo .....	31
<b>Nanotubos de Grafeno .....</b>	<b>33</b>
<b>Propiedades .....</b>	<b>33</b>
<b>Sistema SNS 360 (Soil Nano Stabilisation) .....</b>	<b>34</b>
Componentes del Sistema SNS 360 .....	34
Propiedades del Sistema SNS 360.....	35
<b>Materiales y métodos.....</b>	<b>35</b>
<b>Hipótesis .....</b>	<b>35</b>
<b>Tipo y nivel de Investigación .....</b>	<b>36</b>
Tipo de Investigación .....	36
Nivel de Investigación.....	36
<b>Población, muestra y muestreo .....</b>	<b>36</b>
Población.....	36
Muestra.....	37
Muestreo.....	37
Criterios de Selección.....	40
<b>Operacionalización de Variables.....</b>	<b>41</b>
Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	43
Estrategia para demostrar la hipótesis .....	45
<b>Procedimientos .....</b>	<b>46</b>
<b>Método de dispersión .....</b>	<b>46</b>
<b>Caracterización de los Agregados .....</b>	<b>48</b>
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
<b>Caracterización física del concreto en estado fresco .....</b>	<b>56</b>
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
<b>Caracterización mecánica del concreto endurecido .....</b>	<b>62</b>
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
<b>Resultados y discusión.....</b>	<b>68</b>
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
<b>Análisis de Costos Unitarios.....</b>	<b>92</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>94</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>97</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>98</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>108</b>

## 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 <math>f'c</math></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/cm<sup>3</sup>, contenido de aire del 1.8%, y tiempo de fraguado de 125 min. A los 28 días, el  $f'c$  alcanzó 330 kg/cm<sup>2</sup>, la tracción fue de 27 kg/cm<sup>2</sup>, y la flexión llegó a 64 kg/cm<sup>2</sup>. 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 m<sup>3</sup> 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/cm<sup>3</sup>, an air content of 1.8%, and a setting time of 125 min. At 28 days, the compression strength reached 330 kg/cm<sup>2</sup>, tension stood at 27 kg/cm<sup>2</sup>, and bending achieved 64 kg/cm<sup>2</sup>. Regarding wear, it exceeded the standard design by 0.078%, and permeability showed a maximum penetration of 19.29 mm. The cost per m<sup>3</sup> 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