

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

---

**“ANÁLISIS DE LA ABSORCIÓN FOTOCATALÍTICA Y LA RESISTENCIA  
DEL CONCRETO ADICIONANDO DIÓXIDO DE TITANIO Y ESCORIA DE  
HORNOS ELÉCTRICOS, CUSCO – 2020”**

---

**Presentado por:**

**BACH. CAPARO CHALLCO, Carlos Alberto**

**BACH. PILARES MAMANI, Aldo Yimi**

**Para optar al Título profesional de:**

**Ingeniero Civil**

**CUSCO - PERÚ**

**2023**

## INFORME DE ORIGINALIDAD

Aprobado por Resolución Nro. CU-303-2020-UNSAAC

El que suscribe, **Integrante de Jurado** del traba de investigación titulado: "ANÁLISIS DE LA ABSORCIÓN FOTOCATALÍTICA Y LA RESISTENCIA DEL CONCRETO ADICIONANDO DIÓXIDO DE TITANIO Y ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS, CUSCO - 2020"; presentado por: CARLOS ALBERTO CAPARO CHALLCO con DNI N° 71722002 y ALDO YIMI PILARES MAMANI con DNI N° 47211257 para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO CIVIL.

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por **dos** veces, mediante el software antiplagio, conforme al Artículo 6° del reglamento para el uso del sistema antiplagio de la UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje del **nueve** por ciento (09%).

**Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación, tesis, textos, libros, revistas, artículos científicos, material de enseñanza y otros (Art. 7, inc 2 y 3)**

Porcentaje	Evaluación y acciones	Marque con una X
Del 1 al 10%	No se considera plagio	X
Del 11 al 30%	Devolver al usuario para las correcciones	
Mayores a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Jurado revisor de tesis, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera hoja del reporte del software antiplagio.

Cusco, 25 de Julio del 2023



FIRMA

Mgt. Ing. Carlos Fernández Baca Vidal

DNI N°: 71722002

ORCID del integrante: 0000-0002-5228-9080

Se adjunta:

1. Reporte Generado por el sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte por el Sistema Antiplagio: oid:27259:246691312

NOMBRE DEL TRABAJO

**Borrador de Fotocatalisis y escoria de hornos electricos.pdf**

AUTOR

**Carlos Caparo**

RECUENTO DE PALABRAS

**27092 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**153537 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**178 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**11.7MB**

FECHA DE ENTREGA

**Jul 14, 2023 8:47 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Jul 14, 2023 8:50 PM GMT-5****● 9% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 8% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

**● Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 14 palabras)

## RESUMEN

En la presente investigación, se analizan las propiedades físicas y mecánicas del concreto, además de propiedades fotocatalíticas (absorción de contaminantes). Para obtener un concreto no solo resistente y que sirva de descontaminante de gases nocivos. La contaminación que se observa en la ciudad del Cusco y en todo el Perú, la cual es mayor a la del promedio, por lo cual se optó por un concreto descontaminante y amigable al medio ambiente.

Se usó materiales como Escoria de Hornos Eléctricos de la Siderúrgica Aceros Arequipa, ubicado en la ciudad de Pisco, además de Dióxido de Titanio ( $\text{TiO}_2$ ). Se elaboraron especímenes cilíndricos de 4" x 8" para ensayos de compresión, elaborados en el laboratorio de la Empresa Concretera Supermix, basadas en las normas ASTM, AASHTO, NTP, además de prismas de concreto de 1.5cm x 1.5cm x 10cm, para el análisis de absorción de  $\text{NO}_x$ . La prueba de análisis fotocatalítica se realizó en el laboratorio de Química "MC QUIMICALAB" basadas en las normas italiana UNI 11259:2008 y ISO 22197-1. Se hicieron combinaciones de mezcla en reemplazo del agregado por EHE (25 % - 75%) y cemento por  $\text{TiO}_2$  (5% - 10%).

Se concluye indicando que el diseño de EHE 75% -  $\text{TiO}_2$  5% obtuvo una resistencia del 313kg/cm<sup>2</sup> aunque su absorción fotocatalítica fue del 19% por lo cual no se considera como el óptimo. Se determinó el diseño EHE 50% -  $\text{TiO}_2$  5% alcanzó una resistencia de 305 kg/cm<sup>2</sup> y obteniendo una absorción de  $\text{NO}_x$  igual al de 43%, el cual cumple de manera óptima la propiedad de resistencia y de absorción fotocatalítica.

Se recomienda el uso de este concreto en aplicación de islas fotocatalíticas, en aplicación de adoquines de concreto para pavimentación y sean amigables al medio ambiente.

**PALABRAS CLAVE: Fotocatálisis, descontaminante, Dióxido de Titanio, Óxidos Nitroso, escoria de hornos eléctricos, concreto.**

## ABSTRACT

In this research, the physical and mechanical properties of concrete are analyzed, as well as photocatalytic properties (contaminant absorption). To obtain a concrete that is not only resistant and that serves as a decontaminant of harmful gases. The contamination that is observed in the city of Cusco and throughout Peru, which is higher than the average, for which a decontaminating and environmentally friendly concrete was chosen.

Materials such as Slag from the Electric Furnaces of the Aceros Arequipa Steel Company, located in the city of Pisco, as well as Titanium Dioxide (TiO<sub>2</sub>) were used. 4" x 8" cylindrical specimens were prepared for compression tests, prepared in the laboratory of the Concrete Supermix Company, based on ASTM, AASHTO, NTP standards, as well as 1.5cm x 1.5cm x 10cm concrete prisms, for NO<sub>x</sub> absorption analysis. The photocatalytic analysis test was carried out in the "MC QUIMICALAB" Chemistry laboratory based on the Italian standards UNI 11259:2008 and ISO 22197-1. Mixture combinations were made in replacement of the aggregate by EHE (25% - 75%) and cement by TiO<sub>2</sub> (5% - 10%).

It is concluded by indicating that the EHE 75% - TiO<sub>2</sub> 5% design obtained a resistance of 313kg/cm<sup>2</sup>, although its photocatalytic absorption was 19%, which is why it is not considered optimal. The EHE 50% - TiO<sub>2</sub> 5% design was determined, reaching a resistance of 305 kg/cm<sup>2</sup> and obtaining a NO<sub>x</sub> absorption equal to 43%, which optimally fulfills the property of resistance and photocatalytic absorption.

The use of this concrete is recommended in the application of photocatalytic islands, in the application of concrete pavers for paving and that are friendly to the environment.

**KEY WORDS: Photocatalysis, decontamination, Titanium Dioxide, Nitrous Oxides, slag from electric furnaces, concrete.**

## DEDICATORIA

*En memoria de mi hermano mayor, su recuerdo siempre estará presente conmigo y siempre le dedicare todos mis objetivos y sueños al cielo.*

*A mis padres y a mis hermanos por su apoyo incondicional en todo el proceso y brindarles todo mi cariño y dedicación a ellos.*

*CAPARO CHALLCO CARLOS ALBERTO.*

*A mi familia: A mi madre que siempre me apoyo en mis proyectos con su ayuda y consejos pude culminar mi carrera en bien, mi madre era la que más me alentaba a seguir adelante y siempre será un ejemplo para mí y espero que se sienta orgulloso de mi como yo me siento de ella.*

*A mis hermanos que siempre estuvieron apoyándome en todo.*

*PILARES MAMANI ALDO YIMI.*

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi alma mater, a los docentes por sus enseñanzas y experiencias en todo el proceso de crecimiento aprendizaje en nuestra queridísima facultad. Además de los ingenieros y docentes que nos apoyaron a concluir con esta investigación en tiempos de pandemia.

Quiero agradecer a mis padres por su permanente apoyo comprensión para lograr cumplir este objetivo. CAPARO CHALLCO CARLOS ALBERTO.

Agradezco a todos los ingenieros de la escuela profesional de Ingeniería Civil por sus enseñanzas y valores que nos inculcan para llegar a ser unos buenos profesionales de ética y moral.

A la empresa Supermix por su apoyo incondicional que nos brindaron en todo el proceso que duro esta tesis de investigación. PILARES MAMANI ALDO YIMI.



## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	II
<b>ABSTRACT</b> .....	III
<b>DEDICATORIA</b> .....	IV
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	V
<b>CONTENIDO</b> .....	VIII
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	XIV
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	XVII
<b>CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	20
<b>1.1. Formulación del problema</b> .....	20
<b>1.2. Definición del problema</b> .....	21
<b>1.2.1. Problema general</b> .....	21
<b>1.2.2. Problemas específicos</b> .....	21
<b>1.3. Justificación e importancia de la investigación</b> .....	21
<b>1.4. Objetivos de la investigación</b> .....	22
<b>1.4.1. Objetivo general</b> .....	22
<b>1.4.2. Objetivos específicos</b> .....	22
<b>CAPÍTULO II. FUNDAMENTO TEORICO</b> .....	24
<b>2.1. Marco teórico conceptual</b> .....	24
<b>2.1.1. Antecedentes de investigación</b> .....	24
<b>2.2. Marco conceptual</b> .....	25



2.2.1. Concreto .....	25
2.2.2. Cemento .....	26
2.2.3. Agregados .....	26
2.2.4. El agua .....	27
2.2.5. Aditivo.....	28
2.2.6. Propiedades del Concreto.....	29
2.2.7. Diseño de mezcla .....	31
2.3. La Contaminación .....	31
2.3.1. En el mundo. ....	31
2.3.2. En el Perú .....	31
2.3.3. En la ciudad del Cusco. ....	32
2.4. Fotocatálisis .....	33
2.4.1. Proceso Fotocatalítico.....	33
2.4.2. Fotocatálisis heterogénea .....	34
2.4.3. Dióxido de titanio (TiO <sub>2</sub> ).....	35
2.4.4. Propiedades de TiO <sub>2</sub> .....	37
2.4.5. Efectos Fotocatalíticos del TiO <sub>2</sub> .....	37
2.4.6. Dióxido de Titanio (TiO <sub>2</sub> ) a Infraestructuras Urbanas.....	41
2.5. Material adiconante.....	41
2.5.1. Siderúrgica en el Perú .....	41
2.5.2. Proceso de Producción del Acero .....	43



2.5.3. Hornos de Arco Eléctrico .....	46
2.5.4. Residuos de la siderúrgica: escorias metalúrgicas .....	47
2.5.5. Escoria de Altos Hornos.....	48
2.5.6. Escoria de Hornos Eléctricos (EHE) .....	48
2.5.7. Propiedades Físicas de Escoria de Horno Eléctrico .....	49
2.5.8. Propiedades Químicas de Escoria de Horno Eléctrico .....	50
<b>CAPÍTULO III. HIPOTESIS Y VARIABLES .....</b>	<b>51</b>
3.1. Hipótesis y Variables .....	51
3.1.1. Formulación de Hipótesis .....	51
3.1.2. Hipótesis General.....	51
3.1.3. Hipótesis Específicas .....	51
3.2. Identificación de las variables.....	51
3.2.1. Variables Independientes .....	52
3.2.2. Variables Dependientes.....	52
3.3. Indicadores .....	52
3.4. Matriz de Consistencia.....	53
3.5. Operacionalización de Variables.....	54
<b>CAPÍTULO IV. DELIMITACIÓN Y METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>55</b>
4.1. Delimitación de la Investigación .....	55
4.2. Tipo y Diseño de Investigación.....	55
4.2.1. Tipo de la Investigación.....	55



4.2.2. Nivel de la Investigación.....	55
4.2.3. Diseño de Investigación .....	56
4.3. Unidad de Análisis .....	56
4.4. Población de Estudio.....	56
4.5. Selección de Muestra.....	57
4.6. Tamaño de Muestra.....	57
4.7. Técnicas de Recolección de Datos e Información.....	58
4.8. Procedimiento para Recolectar e interpretación de Datos .....	59
4.9. Equipos Utilizados .....	60
4.9.1. Equipos utilizados para la Preparación de Materiales .....	60
4.9.2. Equipos utilizados Elaboración y rotura de Especímenes Concreto ...	61
4.9.3. Equipos utilizados para Prueba de Absorción Fotocatalítica.....	64
4.10. Materiales Utilizados para Fabricación .....	67
4.10.1. Cemento IP .....	67
4.10.2. Agregado Grueso y Fino .....	68
4.10.3. Escoria de Hornos Eléctricos.....	69
4.10.4. Dióxido de Titanio (TiO <sub>2</sub> ).....	70
4.10.5. Agua.....	71
4.11. Procedimientos para ensayos de los Agregados.....	71
4.11.1. Ensayos de los agregados Gruesos.....	71
4.12. Diseño de Mezclas del Concreto control (CC) F'C=245 kg/cm <sup>2</sup> .....	80



4.12.1. Procedimiento para elaboración del diseño de mezclas.....	80
4.13. Diseño de Mezclas del Concreto con EHE y TiO <sub>2</sub> .....	88
4.14. Elaboración del Concreto.....	88
4.14.1. Procedimiento de fabricación .....	89
4.14.2. Fabricación de probetas de concreto.....	91
4.14.3. Fabricación de Prismas de concreto .....	93
4.14.4. Curado de concreto .....	94
4.15. Ensayos en concreto Fresco .....	94
4.15.1. Ensayos de Asentamiento del Concreto (SLUMP) .....	94
4.15.2. Contenido de Aire en Concreto Fresco .....	96
4.16. Ensayos en concreto en estado Endurecido.....	97
4.16.1. Resistencia a la Compresión.....	97
4.16.2. Ensayo de Prueba fotocatalítica (Absorción de NO <sub>x</sub> ).....	97
<b>CAPÍTULO V. RESULTADOS .....</b>	<b>104</b>
5.1. Presentación de los Resultados .....	104
5.1.1. Diseño de Mezcla .....	104
5.1.2. Determinación de la Resistencia a Compresión.....	106
5.1.3. Determinación de Porcentaje de Absorción de Óxidos Nitrosos .....	117
<b>CAPÍTULO VI. ANÁLISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>122</b>
6.1. Análisis e Interpretación de la Información.....	122
6.1.1. Análisis de la compresión .....	122



<b>6.1.2. Análisis de la absorción Fotocatálisis</b> .....	123
<b>6.2. Contratación de Hipótesis Principal</b> .....	124
<b>6.3. Contratación de Hipótesis Especifica</b> .....	124
<b>6.4. Discusión de Resultados</b> .....	125
<b>CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	126
<b>7.7. Conclusiones</b> .....	126
<b>7.8. Recomendaciones</b> .....	126
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....	128
<b>ANEXOS A: RESULTADOS DE PRUEBAS DE PROPIEDADES DE LOS MATERIALES</b> .....	132
<b>ANEXOS B: FICHAS TÉCNICAS DEL CEMENTO IP</b> .....	136
<b>ANEXOS C: FICHA TÉCNICA DEL DIÓXIDO DE TITANIO TIO<sub>2</sub></b> .....	140
<b>ANEXOS D: DOCUMENTO DE ENTREGA DE ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS</b> .....	141
<b>ANEXOS E: COMPOSICIÓN QUÍMICA ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS</b> ....	142
<b>ANEXOS F: CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	143
<b>ANEXOS G: DISEÑO DE MEZCLAS</b> .....	144
<b>PANEL FOTOGRAFICO</b> .....	154



## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Esquema de Proceso Fococatalítico.....	33
<b>Figura 2</b>	Esquema de Fococatálisis Heterogénea en una Partícula de Semiconductor .	34
<b>Figura 3</b>	Estructura de las formas del Dióxido de Titanio TiO <sub>2</sub> ) .....	36
<b>Figura 4</b>	Estructura Anatasa y Rutilo Expuesto a Luz .....	36
<b>Figura 5</b>	Visualización Prueba de Rodamina .....	38
<b>Figura 6</b>	Esquema de Descomposición y Fijación del NO <sub>x</sub> .....	39
<b>Figura 7</b>	Ecuaciones de Degradación del NO <sub>x</sub> .....	39
<b>Figura 8</b>	Efecto de Superhidrofilia.....	40
<b>Figura 9</b>	Tipos de Productos de Acero.....	42
<b>Figura 10</b>	Composición de las Ventas de Corporación Aceros Arequipa. ....	43
<b>Figura 11</b>	Proceso Productivo del Acero.....	44
<b>Figura 12</b>	Planta de Fragmentación.....	44
<b>Figura 13</b>	Acería, Horno Eléctrico .....	45
<b>Figura 14</b>	Trenes de Alimentación .....	46
<b>Figura 15</b>	Horno de Arco Eléctrico .....	47
<b>Figura 16</b>	Subproductos de la Industria de la Siderúrgica.....	47
<b>Figura 17</b>	Clasificación Simplificada de las Escorias Según la Procedencia .....	48
<b>Figura 18</b>	Escoria de Hornos Eléctricos .....	49
<b>Figura 19</b>	Proceso de Elaboración de Investigación .....	59
<b>Figura 20</b>	Balanza Usada Para el Proceso de Peso Especifico .....	60
<b>Figura 21</b>	Juego de Tamices Usados para Análisis Granulométrico .....	60
<b>Figura 22</b>	Secado de Muestras en Horno Eléctrico .....	61
<b>Figura 23</b>	Balanza Electrónica para Elaboración de Concreto .....	61
<b>Figura 24</b>	Mezcladora para Uso de Preparación de Concreto.....	62



<b>Figura 25</b> Cono de Abrams para Asentamiento de Concreto Fresco .....	62
<b>Figura 26</b> Olla Washington, Medición Cantidad de Aire .....	62
<b>Figura 27</b> Moldes Cilíndricos .....	63
<b>Figura 28</b> Pozo de Curado con Especímenes Elaborados .....	63
<b>Figura 29</b> Rotura de Especímenes de CEHE – TiO <sub>2</sub> .....	64
<b>Figura 30</b> Balanza Digital.....	64
<b>Figura 31</b> Materiales de Vidrio. ....	65
<b>Figura 32</b> Electrofotómetro Visible .....	65
<b>Figura 33</b> Esquema Reactor Fotocatalítico .....	66
<b>Figura 34</b> Esquema Prueba de Fotocatálisis.....	66
<b>Figura 35</b> Prueba Absorción Fotocatalítica. ....	66
<b>Figura 36</b> Recolección Agregado Grueso .....	68
<b>Figura 37</b> Recolección Agregado Fino .....	68
<b>Figura 38</b> Ubicación de Planta Siderúrgica .....	69
<b>Figura 39</b> Recolección de Escoria de Hornos Eléctricos.....	69
<b>Figura 40</b> Ensayo de Malla N° 200 .....	72
<b>Figura 41</b> Análisis Granulométrico de Agregado Grueso .....	74
<b>Figura 42</b> Análisis Granulométrico de Agregado Fino .....	74
<b>Figura 43</b> Peso Unitario de Agregado Fino .....	76
<b>Figura 44</b> Peso Específico de Agregado Grueso .....	76
<b>Figura 45</b> El Agregado es Sumergido con la Canastilla .....	77
<b>Figura 46</b> Procedimiento para Peso Específico de Agregado Fino .....	79
<b>Figura 47</b> Procedimiento para Peso Específico de Agregado Fino .....	79
<b>Figura 48</b> Pesado de Materiales para Elaboración de Concreto .....	90
<b>Figura 49</b> Recepción de Mezcla de Concreto .....	90
<b>Figura 50</b> Procedimiento de golpes con comba de goma en los especímenes .....	91



<b>Figura 51</b>	Colocado de etiquetas y especímenes en caja hermética.....	92
<b>Figura 52</b>	Desmoldado y codificación de probetas de concreto .....	92
<b>Figura 53</b>	Elaboración de prisas de concreto .....	93
<b>Figura 54</b>	Desmoldado y codificado de prismas de concreto .....	93
<b>Figura 55</b>	Colocación de probetas en pozo de curación .....	94
<b>Figura 56</b>	Medidas del Cono de Abrams.....	95
<b>Figura 57</b>	Etapas de elaboración de la prueba de Cono de Abrams .....	95
<b>Figura 58</b>	Determinación de Asentamiento del concreto.....	96
<b>Figura 59</b>	Prueba de contenidos de Aire de Vacíos .....	96
<b>Figura 60</b>	Prueba de Compresión en probetas de concreto.....	97
<b>Figura 61</b>	Cantidades medidas en concentración de NOx .....	98
<b>Figura 62</b>	Esquema principal para flujo de proceso fotocatalítico.....	99
<b>Figura 63</b>	Colocación de prismas de concreto dentro de la fiola .....	100
<b>Figura 64</b>	Inicio de flujo para el proceso fotocatalítico.....	100
<b>Figura 65</b>	Colocación de prismas reactor con rayos UV .....	101
<b>Figura 66</b>	Se toma las muestras dentro de tubos de ensayos.....	102
<b>Figura 67</b>	Se realiza las mediciones de las muestras en el electrofótometro .....	102
<b>Figura 68</b>	Resistencia a la compresión promedio CC .....	107
<b>Figura 69</b>	Resistencia a la compresión promedio EHE 25% – TiO2 5%.....	108
<b>Figura 70</b>	Evolución de la Resistencia EHE 25% - TiO2 7.5% .....	109
<b>Figura 71</b>	Evolución de la Resistencia EHE 25% - TiO2 10% .....	110
<b>Figura 72</b>	Evolución de la Resistencia EHE 50% - TiO2 5% .....	111
<b>Figura 73</b>	Evolución de la Resistencia EHE 50% - TiO2 7.5% .....	112
<b>Figura 74</b>	Evolución de la Resistencia EHE 50% - TiO2 10% .....	113
<b>Figura 75</b>	Evolución de la Resistencia EHE75% - TiO2 5%.....	114
<b>Figura 76</b>	Evolución de la Resistencia EHE75% - TiO2 5%.....	115



<b>Figura 77</b> Evolución de la Resistencia EHE75% - TiO <sub>2</sub> 10% .....	116
<b>Figura 78</b> Curva ideal de Concentración de NO <sub>2</sub> .....	117
<b>Figura 79</b> Gráfica de dispersión reducción de NO <sub>2</sub> para EHE 25% .....	118
<b>Figura 80</b> Gráfica barras de absorción de NO <sub>2</sub> .....	119
<b>Figura 81</b> Gráfica de dispersión reducción de NO <sub>2</sub> para EHE 50% .....	119
<b>Figura 82</b> Gráfica barras de absorción de NO <sub>2</sub> para EHE 50% .....	120
<b>Figura 83</b> Gráfica de dispersión reducción de NO <sub>2</sub> para EHE 75% .....	121
<b>Figura 84</b> Gráfica barras de absorción de NO <sub>2</sub> para EHE 75% .....	121
<b>Figura 85</b> Resistencia a la compresión 28 días en comparación a CC.....	122
<b>Figura 86</b> Grafica de barras Reducción NO <sub>2</sub> .....	123

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Granulometría Agregado Fino .....	27
<b>Tabla 2</b> Límites permisibles para agua de mezcla.....	28
<b>Tabla 3</b> Reporte Mundial de Calidad de Aire 2021.....	32
<b>Tabla 4</b> Ventajas e Inconvenientes de la fotocatalisis Heterogénea .....	35
<b>Tabla 5</b> Propiedades Físicas del TiO <sub>2</sub> .....	37
<b>Tabla 6</b> Condiciones Físicas para Llevar a Cabo Prueba de Absorción de NOx .....	40
<b>Tabla 7</b> Porcentaje de Demanda Doméstica de Productos Largos.....	42
<b>Tabla 8</b> Tabla. Características Físicas de la Escoria de Hornos Eléctricas .....	50
<b>Tabla 9</b> Propiedades Químicas de la Escoria de Hornos Eléctricos .....	50
<b>Tabla 10</b> Cuadro de Distribución de Roturas en Intervalos de Tiempo .....	58
<b>Tabla 11</b> Tabla Propiedades Físicas Cemento Tipo IP Yura .....	67
<b>Tabla 12</b> Tabla Datos Técnicos del Dióxido de Titanio (TiO <sub>2</sub> ).....	70
<b>Tabla 13</b> Cantidad Mínima de Muestra.....	71



<b>Tabla 14</b>	Cantidad Mínima de Muestra de Agregado Grueso.....	72
<b>Tabla 15</b>	Requisitos Granulométricos del Agregado Grueso .....	73
<b>Tabla 16</b>	Resistencia a la Compresión Promedio .....	80
<b>Tabla 17</b>	Etapas de Elaboración de la Prueba de Cono de Abrams .....	81
<b>Tabla 18</b>	Estimación del Agua de Mezclado y Contenido de Aire.....	81
<b>Tabla 19</b>	Estimación del Agua de Mezclado y Contenido de Aire.....	82
<b>Tabla 20</b>	Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados.....	84
<b>Tabla 21</b>	Valores Obtenidos para Diseño.....	86
<b>Tabla 22</b>	Comparación de Cantidades del diseño de CC con EHE 25% .....	104
<b>Tabla 23</b>	Comparación de Cantidades del diseño de CC con EHE 50% .....	105
<b>Tabla 24</b>	Comparación de Cantidades del diseño de CC con EHE 75% .....	106
<b>Tabla 25</b>	Resistencia a la compresión promedio CC .....	107
<b>Tabla 26</b>	Resistencia a la compresión promedio EHE 25% – TiO <sub>2</sub> 5% .....	108
<b>Tabla 27</b>	Resistencia a la compresión promedio EHE 25% – TiO <sub>2</sub> 7.5% .....	109
<b>Tabla 28</b>	Resistencia a la compresión promedio EHE 25% – TiO <sub>2</sub> 10% .....	110
<b>Tabla 29</b>	Resistencia a la compresión promedio EHE 50% – TiO <sub>2</sub> 5% .....	111
<b>Tabla 30</b>	Resistencia a la compresión promedio EHE 50% – TiO <sub>2</sub> 7.5% .....	112
<b>Tabla 31</b>	Resistencia a la compresión promedio EHE 50% – TiO <sub>2</sub> 10% .....	113
<b>Tabla 32</b>	Resistencia a la compresión promedio EHE 75% – TiO <sub>2</sub> 5% .....	114
<b>Tabla 33</b>	Resistencia a la compresión promedio EHE 75% – TiO <sub>2</sub> 7.5% .....	115
<b>Tabla 34</b>	Resistencia a la compresión promedio EHE 75% – TiO <sub>2</sub> 10% .....	116
<b>Tabla 35</b>	Valores patrón de concentración del NO <sub>2</sub> .....	117
<b>Tabla 36</b>	Salidas de concentración de las reacciones en rayos UV para EHE 25% ....	118
<b>Tabla 37</b>	Salidas de concentración de las reacciones en rayos UV para EHE 50% ....	119
<b>Tabla 38</b>	Salidas de concentración de las reacciones en rayos UV para EHE 75% ....	120
<b>Tabla 39</b>	Resumen de Resistencia a la compresión.....	122



<b>Tabla 40</b> Resumen de Reducción de NO <sub>2</sub> .....	123
<b>Tabla 41</b> Propiedades del Agregado Grueso San Salvador .....	132
<b>Tabla 42</b> Propiedades del Agregado Grueso EHE .....	133
<b>Tabla 43</b> Propiedades del Arena gruesa de San Salvador .....	134
<b>Tabla 44</b> Propiedades del agregado fino de EHE.....	135
<b>Tabla 45</b> Composición Química EHE .....	142
<b>Tabla 46</b> Tabla Diseño de mezcla de Concreto Control (CC).....	144
<b>Tabla 47</b> Diseño de mezcla de CEHE 25 – TiO <sub>2</sub> 5.....	145
<b>Tabla 48</b> Diseño de mezcla de CEHE 25 – TiO <sub>2</sub> 7.5.....	146
<b>Tabla 49</b> Diseño de mezcla de CEHE 25 – TiO <sub>2</sub> 10.....	147
<b>Tabla 50</b> Diseño de mezcla de CEHE 50 – TiO <sub>2</sub> 5.....	148
<b>Tabla 51</b> Diseño de mezcla de CEHE 50 – TiO <sub>2</sub> 7.5.....	149
<b>Tabla 52</b> Diseño de mezcla de CEHE 50 – TiO <sub>2</sub> 10.....	150
<b>Tabla 53</b> Diseño de mezcla de CEHE 75 – TiO <sub>2</sub> 5.....	151
<b>Tabla 54</b> Diseño de mezcla de CEHE 75 – TiO <sub>2</sub> 7.5.....	152
<b>Tabla 55</b> Diseño de mezcla de CEHE 75 – TiO <sub>2</sub> 10.....	153

## CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Formulación del problema

Según la OMS (Global Urban Ambient Air Pollution Database 2016); con conformación de 3000 ciudades en 103 países, 8 de cada 10 personas que viven en zonas urbanas respiran aire contaminado por encima de los límites recomendados.

La OCDE estima que la contaminación del aire se convertirá en la principal causa de mortalidad en el mundo. La contaminación o también llamada polución están presente en todas partes. La contaminación del aire trae consigo enfermedades del aparato respiratorio, enfermedades cardiovasculares, enfermedades degenerativas.

Las contaminaciones exteriores: Tráfico e industria ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  { $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ }), PM (Partículas de suspensión)  $\text{SO}_x$  (Óxidos de azufre).

Las contaminaciones interiores: Mala ventilación o escasa, mantenimiento defectuoso de la ventilación, bacterias, hongos, virus y malos olores)

Por otro lado, la explotación de canteras de minerales específicamente de agregados de rocas grandes, rocas pequeñas y arenas son utilizados como materia prima para las carreteras como la Base y Subbase para el pavimento ya sea rígido y flexible. También para la elaboración del concreto en la construcción.

Los efectos de la explotación masiva de canteras producen efectos ambientales que si no tienen un buen estudio de impacto ambiental podrían ser muy graves. Algunas de los efectos serian: Alteración del suelo, destrucción de flora y fauna, alteración en las aguas superficiales y subterráneas, Aumento del riesgo de desprendimiento o deslizamiento, Cambio geomorfológico del paisaje, alteración de la atmosfera (emisión de polvo, ruido y vibraciones).

Respecto al concreto ya mencionamos que es uno de los materiales más usados en la industria de la construcción. Para la producción del cemento se libera el 5% de los  $\text{CO}_2$  a nivel



mundial. Todo lo mencionado anteriormente es necesario buscar un concreto que pudiera ser capaz de descontaminar el ambiente de los gases nocivos.

## **1.2. Definición del problema**

### **1.2.1. Problema general**

P.G: ¿En qué medida cumplirá las propiedades de absorción fotocatalítica de Óxidos Nitrosos ( $\text{NO}_x$ ) y la resistencia a la compresión el concreto adicionado con escoria de hornos eléctricos y dióxido de titanio?

### **1.2.2. Problemas específicos**

P. E1: ¿Cuál de los diseños trabajados tendrá mayor resistencia, en el concreto adicionado con dióxido de titanio y escoria de hornos eléctricos respecto al diseño patrón?

P. E2: ¿Cuál de los diseños trabajados tendrá mayor porcentaje de descontaminación de óxidos nitrosos ( $\text{NO}_x$ ), en el concreto adicionado con dióxido de titanio y escoria de hornos eléctricos?

P. E3: ¿Cuál será la dosificación más eficiente respecto a la absorción de óxidos nitrosos ( $\text{NO}_x$ ) y a la resistencia, del concreto adicionado con dióxido de titanio y escoria de hornos eléctricos?

## **1.3. Justificación e importancia de la investigación**

La presente investigación ayudara e incentivara a la creación de nuevas tecnologías en la construcción. Estudiaremos el comportamiento del dióxido de titanio como adicinante del cemento y escoria de hornos eléctricos como reemplazo parcial de agregados convencionales siendo este un concreto Ecológico que cumplan con los estándares de calidad y sea utilizado en obras civiles.

El  $\text{TiO}_2$  es un material fotocatalítico el cual al reaccionar con  $\text{NO}_x$  lo convierte en nitritos los cuales son inofensivos y no son perjudiciales, también el dióxido de titanio tiene propiedades de purificación del aire y de malos olores.



La escoria de hornos eléctricos son los desechos que se produce en las plantas siderúrgicas, las cuales pueden ser usados como agregado fino y grueso siendo materiales metálicos cumplen igual función que los agregados explotados de cantera o hasta mejores propiedades.

Otros aspectos que tendría el concreto en estudio serían:

- El concreto sería muy útil en obras viales en las diferentes ciudades, utilizado en pavimentos rígidos de vías urbanas, parques, como adoquines para veredas, por su propiedad fotocatalítica sirve como un descontaminante de los gases expulsados por automóviles.
- Ayudaría a reducir la contaminación del aire en ambientes cerrados como también en el exterior reduciendo el óxido nitroso que es el más perjudicial en el efecto invernadero y también para la salud de las personas.
- Usando la escoria de hornos eléctricos como parcial reemplazo del agregado se reduciría el efecto que tiene con el ambiente y las personas la explotación de canteras.

#### **1.4. Objetivos de la investigación**

##### **1.4.1. Objetivo general**

O.G: Analizar la absorción fotocatalítica de Óxidos Nitrosos (NOx) y la resistencia del concreto adicionado con dióxido de titanio y escoria de hornos eléctricos.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

O. E1: Determinar la variación de la resistencia en los diferentes diseños trabajados del concreto adicionado con dióxido de titanio y escoria de hornos eléctricos respecto al diseño patrón.

O. E2: Determinar el porcentaje de descontaminación de óxidos nitrosos (NOx) en los diferentes diseños trabajados del concreto adicionado con dióxido de titanio y escoria de hornos eléctricos.



- O. E3: Obtener la dosificación más eficiente respecto a la absorción de óxidos nitrosos (NOx) y a la resistencia, del concreto adicionado con dióxido de titanio y escoria de hornos eléctricos.



## CAPÍTULO II. FUNDAMENTO TEORICO

### 2.1. Marco teórico conceptual

#### 2.1.1. Antecedentes de investigación

(Cárdenas Ramírez, 2012) En su tesis “Evaluación de las propiedades físicas y fotocatalíticas de cemento adicionado con nanopartículas de dióxido de titanio”. Tuvo como objetivo general: Evaluar el efecto Fotocatalítico sobre pastas de cemento, al agregarles nanopartículas de dióxido de titanio, en fase anatasa y rutilo, con el fin de lograr materiales amigables con el medio ambiente, autolimpiantes y bactericidas. Concluye: Mediante la degradación del colorante orgánico Rodamina B y la degradación de los óxidos de nitrógeno (NOx) se demostró que todas las pastas de cemento que contenían nanopartículas de dióxido de titanio exhibían propiedades fotocatalíticas, sin importar el tipo de fase cristalina presente o el porcentaje total adicionado. Los cementos modificados con fotocatalizadores pueden ser empleados para diseñar materiales para la construcción amigables con el medio ambiente ya que degradan contaminantes y compuestos orgánicos que pueden deteriorar la parte estética de las estructuras.

(Medina Salazar, 2017) En su tesis “Influencia del fotocatalizador dióxido de titanio de las propiedades autolimpiables y mecánicas del mortero de cemento – arena 1:4 - Cajamarca”. Tuvo como objetivo general: Determinar la influencia del fotocatalizador Dióxido de Titanio en las propiedades autolimpiables y mecánicas del mortero de cemento – arena 1:4 de la ciudad de Cajamarca y en la variación de los costos de su elaboración. La incorporación de 5%, 10% y 15% de dióxido de titanio disminuyó el porcentaje de absorción en 2.40%, 5.33% y 5.56% respectivamente, en relación al tratamiento sin dióxido de titanio. El tratamiento sin TiO<sub>2</sub> presentó el mayor porcentaje de absorción con 13.31% y el tratamiento con 15% de TiO<sub>2</sub> presentó el menor con 12.57%. Además, se observa que todos los tratamientos pertenecieron a diferentes grupos estadísticos; a excepción de los tratamientos con 10% y 15% de TiO<sub>2</sub>.



(Corcuera & Vela, 2018) En su tesis: “Impacto en la resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto a partir de la sustitución de la piedra por ecogravilla de escoria de acero, Trujillo - 2018”. Que tuvo como objetivo general: Determinar el impacto en la resistencia al esfuerzo de compresión y permeabilidad del concreto a partir de la sustitución de la piedra por Ecogravilla de escoria de acero. Concluye: El uso del árido siderúrgico de la Ecogravilla, obtenido de la empresa Aceros Arequipa, en la industria de la construcción trae consigo muchas bondades para la durabilidad del concreto siempre y cuando se sepa controlar la proporción de su granulometría.

(Jimenez Cortes & Moreno Burbano, 2016) En su tesis “Efecto del reemplazo de cemento Portland por el dióxido de titanio en las propiedades mecánicas del mortero”. Tuvo como objetivo general: Evaluar el efecto en las propiedades del mortero con reemplazo del cemento Portland por  $TiO_2$ . Concluye: En el ensayo realizado de compresión a los 28 días, el mortero con 5% de  $TiO_2$  reemplazado en el cemento obtuvo un incremento en la resistencia a la compresión de hasta 6%, por otra parte, los morteros con 7.5% y 8.5% mostraron una disminución de su resistencia, esto debido al aumento de la porosidad evidenciado en el ensayo de densidad y absorción.

## **2.2. Marco conceptual**

### **2.2.1. Concreto**

El concreto es un material que se obtiene mezclando cemento, agua, áridos y cualquier aditivo en proporciones precisas. (Pasquel, 1998).

En esencia tales elementos forman dos componentes principales del concreto: Elemento cementante (cemento + agua + aditivos) y agregados (agregado grueso o piedra + agregado fino), y el aire como un elemento pasivo.

La fase inicial del concreto se llama fraguado donde se evidencia que el concreto todavía está en estado plástico y al no tener una consistencia rígida en su composición. Posteriormente suceden reacciones de hidratación, lo que permite que llegue a una etapa de endurecimiento del concreto producido a escasos días de fabricado el concreto.



### 2.2.2. Cemento

El cemento es el ingrediente activo del hormigón y afecta a todas sus propiedades. Sin embargo, el cemento constituye solo alrededor del 10% al 20% del peso del concreto. (Porrero, Ramos, Grases, & Gilberto, 2003).

El cemento Portland es un aglutinante hidrofílico obtenido al calcinar piedra caliza, arenisca y arcilla en un polvo muy fino que se endurece en presencia de agua para obtener propiedades de resistencia y adherencia. (Pasquel, 1998).

Las materias primas usuales a partir de las cuales se fabrica son calizas que proporcionan el CaO y arcillas y esquistos que proveen el SiO<sub>2</sub> y el Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Estos materiales se muelen, mezclan y funden en un horno para formar lo que se conoce como clínker, luego se enfrían y se muelen nuevamente hasta alcanzar la finura requerida. (NILSON, 2001, pág. 28)

### 2.2.3. Agregados

Son los elementos que pertenecen al conglomerado junto a la pasta de concreto para darle la resistencia necesaria. (Pasquel, 1998, pág. 69)

Para concretos estructurales comunes, los agregados ocupan aproximadamente entre el 70 y el 75% del volumen de la masa endurecida. El resto conformado por la pasta de cemento endurecida, agua no combinada (es decir, agua no utilizada en la hidratación del cemento) y vacíos de aire. (NILSON, 2001, pág. 30)

Generalmente los agregados se pueden dividir en dos:

- AGREGADO FINO: es aquel que pasa por el Tamiz N°. 4. (Rivva Lopez, 2013). La granulometría del agregado fino debe estar en los límites siguientes según Tabla 1.

**Tabla 1***Granulometría Agregado Fino*

<b>MALLA</b>	<b>% QUE PASA</b>
3/8”	100
N° 4	95 – 100
N° 8	80 – 100
N° 16	50 – 85
N° 50	10 – 30
N° 100	2 - 10

Nota. Fuente (NTP 339.088)

- **AGREGADO GRUESO:** Es el material retenido en el tamiz N° 4 y cumple los límites establecidos en la Norma NTP 400.037. (Rivva Lopez, 2013). Puede consistir en grava natural o triturada.

#### **2.2.4. El agua**

Se necesita agua en todas las etapas de la producción de concreto (mezclado, endurecimiento y curado). El agua de mezcla generalmente representa del 15% al 20% del volumen de concreto premezclado y forma un producto homogéneo, pastoso y fácil de manejar con el cemento para lubricar y soportar el agregado durante la colocación en el encofrado. (Porrero, Ramos, Grases, & Gilberto, 2003)

El agua en la mezcla cumple las siguientes funciones:

- I. Realizar el proceso químico de hidratación con los demás componentes de la pasta (cemento y aditivos).
- II. Realiza función de lubricante para que la mezcla con los demás componentes (agregados) sea trabajable y plástica.

- III. Crea espacio en la pasta para los productos resultantes de la hidratación del cemento.

La proporción de agua que interviene en la mezcla de concreto debe estar correlacionada con la cantidad de cemento que intervendrá en la mezcla, llamado relación agua/cemento.

Se debe evitar usar agua contaminada con minerales dañinos además de agua ácidas o residuales de minería o industriales. (Rivva Lopez, 2013).

**Tabla 2**

*Límites permisibles para agua de mezcla.*

Sustancias y Ph	Límite máximo
Cloruros	300 ppm
Sulfatos	200 ppm
Sales de magnesio	125 ppm
Sales solubles	300 ppm
Sólidos en suspensión	10 ppm
Materia orgánica expresada en oxígeno consumido	0.001 ppm
Ph	6 < pH < 8

*Nota.* Fuente (NTP 339.088)

### **2.2.5. Aditivo**

Estas sustancias pueden ser de origen orgánico o inorgánico, las cuales, al ser incorporados en la pasta de concreto, tienen la función de alterar o modificar las características mecánicas o el tiempo de endurecimiento del concreto. (Pasquel, 1998)

El aditivo es un material diferente a los componentes normales del concreto puede ser adicionado antes o durante del mezclado. Existen en la actualidad diferentes tipos de aditivos que, para mejorar las diferentes propiedades del concreto, como los siguientes:



#### I. ADITIVOS ACELERANTES:

Son sustancias químicas que disminuyen el tiempo de endurecimiento de la pasta del concreto, así como acelera la resistencia del concreto, alcanzado su resistencia máxima en el menor tiempo estimado.

#### II. ADITIVOS INCORPORADORES DEL AIRE

Los aditivos incorporadores de aire introducen diminutas burbujas de aire que se distribuye uniformemente por toda la mezcla cementante. Esto es para evitar fisuras de congelamiento y deshielo del agua en el concreto.

#### III. ADITIVOS REDUCTORES DE AGUA – PLASTIFICANTES

Los aditivos plastificantes reducen la relación agua/cemento sin alterar su consistencia. Reducen en un 10% aproximadamente el componente del agua. Mejora las características de trabajabilidad en su estado de fragua además de aumentar su resistencia a la compresión ( $f'c$ ).

### 2.2.6. Propiedades del Concreto

Como ya se ha mencionado el concreto tiene dos estados que pueden ser identificados: estado fresco y estado endurecido, por tal motivo hay diferentes propiedades en el concreto dependiendo del estado en que se encuentran. Los cuales son los siguientes:

#### 2.2.6.1. PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO

Se considera estado fresco del concreto desde el momento en el cual este es fabricado, hasta que empieza a endurecer el concreto. (Porrero, Ramos, Grases, & Gilberto, 2003)

Los siguientes son las propiedades del concreto en estado fresco:

##### - Trabajabilidad

La trabajabilidad del concreto se determina en la forma que este puede ser manejado, transportado y ser colocado, con un mínimo trabajo y máxima homogeneidad para evitar segregación. (Rivva Lopez, 2013).



- Segregación

Si la viscosidad del mortero disminuye debido a una concentración de pasta insuficiente, ocasionado a una mala distribución de partículas, el agregado grueso se desprende del mortero lo que ocasiona que se produzca segregación. (Pasquel, 1998)

- Exudación

Es llamado exudación a la propiedad en la cual un porcentaje de agua se separa de la mezcla y esta sube a la cara externa superior del concreto. (Pasquel, 1998)

Es inevitable que suceda la exudación en el concreto, por lo cual se debe tomar en cuenta para reducir sus consecuencias que podrían afectar al concreto.

#### 2.2.6.2. PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO

El concreto después de ser elaborado, este cambia de estado fresco a estado endurecido, donde el concreto ha perdido plasticidad y ha ganado dureza. Esto por medio de un proceso físico – químico complejo de larga duración. (Construmatica, 2012)

Una característica importante en la estructura interna del concreto es la porosidad o sistema de vacíos, ya que cuando este proceso sucede el agua se evapora generando espacios dentro del mismo.

Tenemos las siguientes características del concreto endurecido:

- Resistencia

Es la propiedad del concreto endurecido en cual puede soportar cargas y esfuerzos, la resistencia a la compresión es mayor a la tracción. (Pasquel, 1998)

Un factor que es considerado importante para la mejora de resistencia de concreto es la cantidad de agua en la pasta el cual es definido por el factor Agua/Cemento. Además de otros factores importantes.



- Durabilidad

Se debe considerar a la propiedad de durabilidad a la capacidad del concreto de endurecer y conservar sus propiedades, a pesar de las condiciones y carga estructural que deba soportar en su tiempo de servicio. (Pasquel, 1998)

### **2.2.7. Diseño de mezcla**

El diseño de mezcla es el procedimiento por el cual se obtienen las cantidades óptimas de cada componente, para que el concreto tenga las características requeridas en estado plástico y endurecido. (Porrero, Ramos, Grases, & Gilberto, 2003).

#### **2.2.7.1. Diseño de Mezclas Método ACI – 211**

El ACI (American Concrete Institute) dentro del comité 211 desarrollo este método del diseño de mezclas de concreto, el cual está vigente desde del año 1944. Está basado en tablas para calcular los porcentajes de contenido por cada elemento, por metro cúbico.

## **2.3. La Contaminación**

### **2.3.1. En el mundo.**

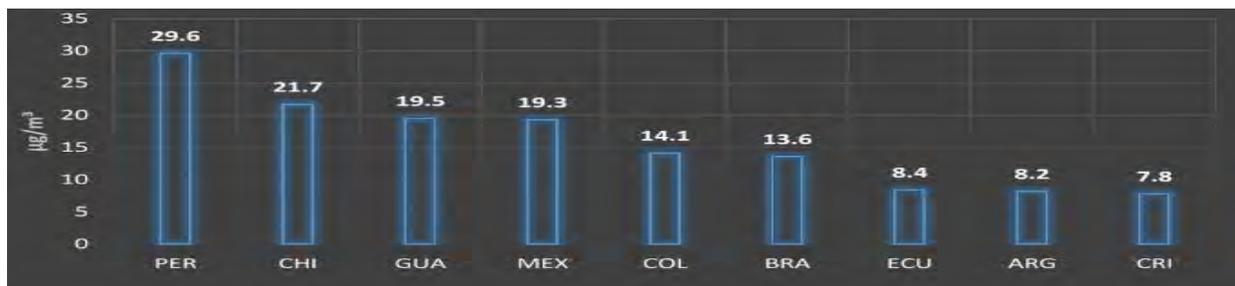
El 99% de la población mundial respira aire que supera los límites de calidad del aire establecidos por la Organización Mundial de la Salud. La mala calidad de aire nos lleva a padecer enfermedades cardiovasculares, problemas pulmonares. En total siete millones de muertos anuales provoca la contaminación del aire.

El dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) se asocia a enfermedades respiratorias, como el asma, lo que provoca síntomas respiratorios (tos, sibilancias o dificultad para respirar). (Noticias ONU, 2022)

### **2.3.2. En el Perú**

El Perú se encuentra en la posición 26 de 117 países con mayor contaminación del aire y primero en América Latina según el estudio World Air Quality Reporte 2021 (IQAir, 2021)

**Tabla 3**



*Reporte Mundial de Calidad de Aire 2021.*

*Nota. Fuente 2021 World Air Quality Report*

La población en zonas Urbanas crece lo que implica que la demanda de energía y transporte sea cada vez mayor, y por ello se incrementa las emisiones de PM2.5 (Partículas contaminantes de diámetro 2.5 micrómetros) por producción de energía mediante combustibles fósiles, los gases del parque automotor, con muchos vehículos obsoletos y otros aspectos más que contribuyen a la contaminación del aire.

También se debe recalcar que las contaminaciones del aire que se da en los ríos contaminados, precisamente ríos que están cerca de las zonas rurales o ciudades de gran población. Emiten gases nocivos para la salud y hacen que las personas que viven cerca a dichas fuentes sufran enfermedades respiratorias.

### **2.3.3. En la ciudad del Cusco.**

Se ha estimado los volúmenes de contaminación que se emiten; 84.65% de las emisiones corresponden a PM10 generadas por los vehículos existentes en la ciudad; otra fuente de contaminación es las fábricas de ladrillos y tejas. El CO representa el 9.92 % de las emisiones totales siendo la principal fuente el parque automotor, otros contaminantes de importancia son el COV, NOX, SOX, generados por los vehículos y ladrilleras, fábricas de tejas, pollerías, chicharronerías y viviendas. Se han estimado las emisiones totales para la ciudad del Cusco: PM10 151.553.2 Ton/año; CO 17,758.2 Ton/año; COV 6,308.2 Ton/año; NOx 2,684.5 Ton/año y Sox 699.6 Ton/año. Los métodos empleados para el cálculo son los desarrollados por la OMS,

IPIECA y el Banco Mundial y el modelo MODEM para determinar las concentraciones totales. (Mora, 2018)

## 2.4. Fotocatálisis

Se define a la fotocatálisis a la reacción química, llamada oxidación, el cual se produce al tener contacto luz artificial o luz natural, con un catalizador (dióxido de titanio) así mismo con presencia de oxígeno. (Asociacion Iberoamericana de Fotocatálisis, 2020)

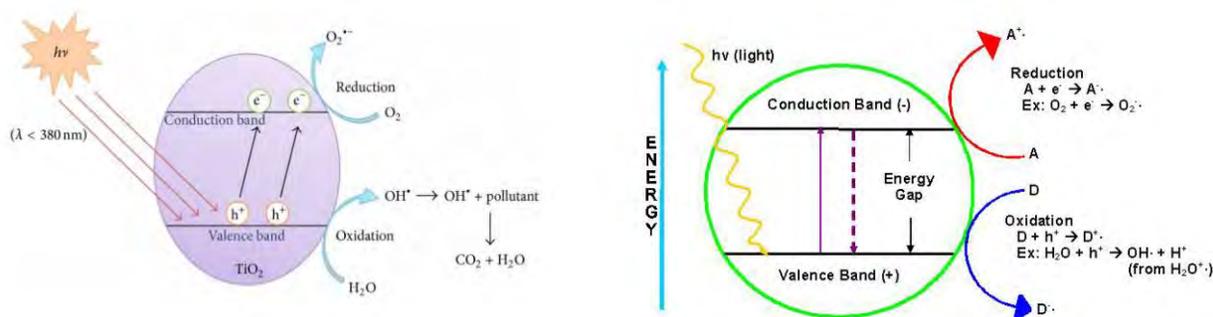
Este proceso químico se produce por la absorción directa o indirecta (radiación visible o ultravioleta) del fotocatalizador (en su superficie se desarrollan procesos de oxidación). Este proceso se utiliza para descontaminar el agua y el aire. Al igual que la fotosíntesis es capaz de eliminar CO<sub>2</sub>, además de eliminar otros contaminantes como NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, COVs.

### 2.4.1. Proceso Fotocatalítico

En el proceso de la fotocatálisis son necesarios la luz y el catalizador para obtener la reacción química. “La etapa inicial del proceso consiste en la generación de un par electrón – hueco en las partículas del semiconductor. Cuando un fotón con energía, que iguala o supera la energía del salto de banda del semiconductor, incide sobre este, se promueve un electrón e<sup>-</sup>, de la banda de valencia hacia la banda de conducción, generándose un hueco, h<sup>+</sup>, en la banda de valencia. La energía de banda prohibida se define como la diferencia energética de la banda de valencia y la banda de conducción de un fotocatalizador.” (Asociacion Iberoamericana de Fotocatálisis, 2020)

Figura 1

Esquema de Proceso Fotocatalítico



### 2.4.2. Fotocatálisis heterogénea

La fotocatálisis heterogénea es un proceso avanzado de oxidación basado, como todos sus similares, en el uso del poder oxidante del radical hidroxilo. En este caso los radicales hidroxilos son generados, principalmente, a través de la foto activación del dióxido de titanio por la luz ultravioleta. (Eliminacion de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea, 2004)

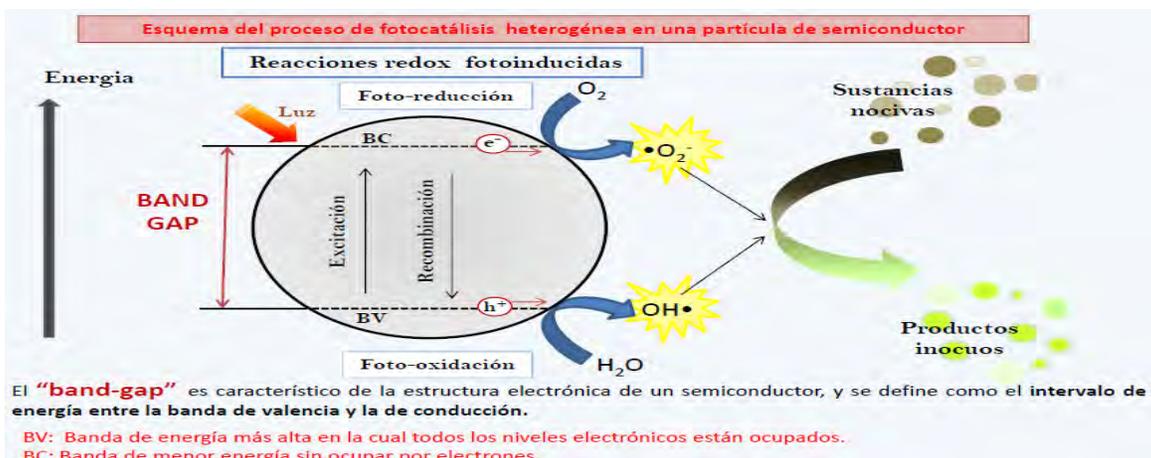
En este tipo de reacción sucede proceso de oxidación avanzada para el tratamiento y degradación de contaminantes. Hay diferentes tipos de catalizadores utilizados para la fotocatálisis se encuentran materiales como:  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{CdS}$ , óxidos de hierro,  $\text{WO}_3$ ,  $\text{ZnS}$ .

El mejor y más estudiado catalizador es el  $\text{TiO}_2$  (Dióxido de Titanio) es el que ha mostrado mayor actividad fotocatalítica.

La fotocatálisis heterogénea se genera a partir de la iluminación con un fotón de un catalizador semiconductor (óxidos o sulfuros). El fotón debe tener una energía  $h\nu$ , igual o superior al valor de la energía de banda prohibida o “bandgap”,  $E_g$  (que es la energía mínima necesaria para convertir el material en un conductor) del fotocatalizador para que un electrón de su banda de valencia se promueva hacia la banda de conducción. La energía de banda prohibida es la diferencia energética entre la banda de valencia y la banda de conducción del fotocatalizador. (Lisbona Garcia, 2016, pág. 29)

**Figura 2**

*Esquema de Fotocatálisis Heterogénea en una Partícula de Semiconductor*



La fotocatalisis heterogénea tiene las siguientes ventajas y desventajas como se puede apreciar en la Tabla N° 4.

**Tabla 4**

*Ventajas e Inconvenientes de la fotocatalisis Heterogénea*

<b>VENTAJAS</b>	<b>INCONVENIENTES</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Son capaces de transformar químicamente el contaminante.</li><li>- Se puede conseguir la oxidación completa del contaminante orgánico (a CO<sub>2</sub>).</li><li>- Es útil para tratar contaminantes de muy baja concentración.</li><li>- El consumo energético es bajo o nulo (si se emplea el sol como fuente de radiación).</li><li>- No tiene efectos nocivos para la salud</li><li>- Opera a temperatura ambiente y presión atmosférica.</li><li>- Tiene un alto poder oxidativo y baja selectividad, lo que permite degradar multitud de compuestos y mezclas.</li><li>- No requiere consumo de reactivos.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Se pueden formar productos intermedios más tóxicos.</li><li>- La cinética es lenta y el rendimiento fotónico bajo.</li><li>- Se puede producir la desactivación del fotocatalizador.</li><li>- Depende de gran variedad de factores (necesidad de estudiar cada caso en profundidad).</li></ul>

*Nota.* Fuente: (Hernandez Rodriguez, 2017, pág. 25)

### **2.4.3. Dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>)**

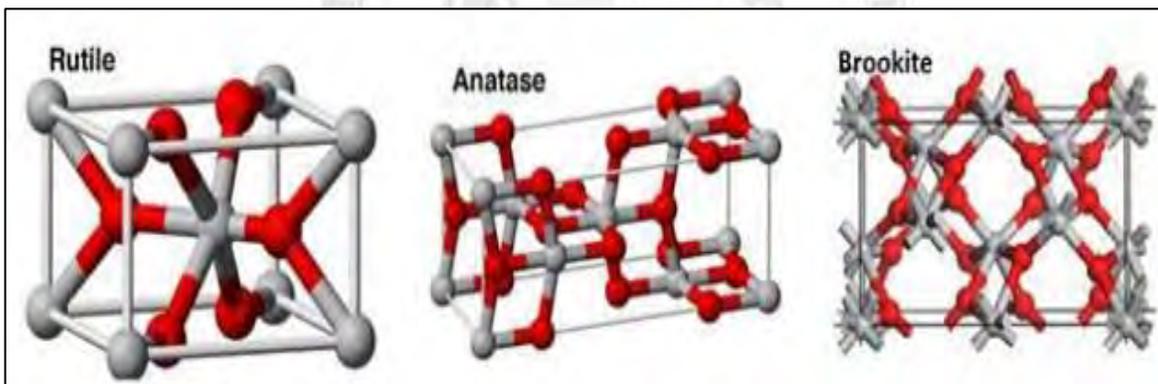
El Dióxido de Titanio es un mineral natural también conocido como Titania o TiO<sub>2</sub>. (Lisbona Garcia, 2016). El titanio es uno de los elementos más abundantes en capa terrestre, aunque normalmente no se le encuentra solo sino habiendo tenido reacciones con otros componentes, de estos el dióxido de titanio es común encontrarlo con el oxígeno formando el TiO<sub>2</sub>. El Dióxido de titanio no se encuentra en la naturaleza de forma pura, sino es posible

encontrarlo en 3 formas posibles: Rutilo (Estructura tetragonal), Anatasa (estructura tetragonal y Brookita (estructura ortorrómbica).

El Rutilo es la más estable, ya que las otras dos formas al ser sometidas a calor se transforman en Rutilo como se observa en la Figura 4, además el Rutilo es la estructura más común y densa, esta refleja muy bien la luz y utilizada como pigmento, mientras la brookita es rara e inestable la cual no es recomendable para uso comercial.

**Figura 3**

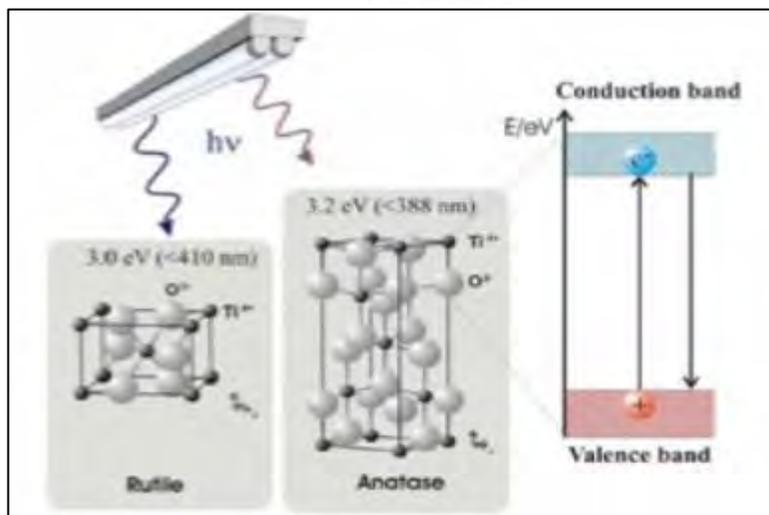
*Estructura de las formas del Dióxido de Titanio TiO<sub>2</sub>*



*Nota.* Fuente: Fotocatálisis Heterogénea

**Figura 4**

*Estructura Anatasa y Rutilo Expuesto a Luz*



*Nota.* Fuente: (Bernejo Fernandez, 2018)

#### 2.4.4. Propiedades de TiO<sub>2</sub>

El Dióxido de Titanio (TiO<sub>2</sub>) es un catalizador sólido de color blanco, es uno de los fotocatalizadores que se usan con mayor frecuencia actualmente y el que por sus características es el de mejor aplicación para los procesos de fotocatalisis.

Algunas características del TiO<sub>2</sub> son las siguientes:

- Clasificación: Oxido
- Masa molar: 79,866 g/mol
- Densidad: 4.23 g/cm<sup>3</sup>.
- Punto de fusión: 1.843 °C

**Tabla 5**

*Propiedades Físicas del TiO<sub>2</sub>*

PROPIEDAD	RUTILO	ANATASA	BROOKITA
Peso Molecular (g/mol)	79.89	79.89	79.89
Sistema Cristalino	Tetragonal	Tetragonal	Ortorrómico
Volumen	62.07	136.25	257.38
Volumen Molar (m <sup>3</sup> /mol)	18693	20156	19377
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	42743	3895	4123

*Nota.* Adaptado. Fuente: Rodríguez García 2012

#### 2.4.5. Efectos Fotocatalíticos del TiO<sub>2</sub>.

El Dióxido de Titanio tiene los siguientes efectos Fotocatalíticos:

- Efecto Autolimpiante

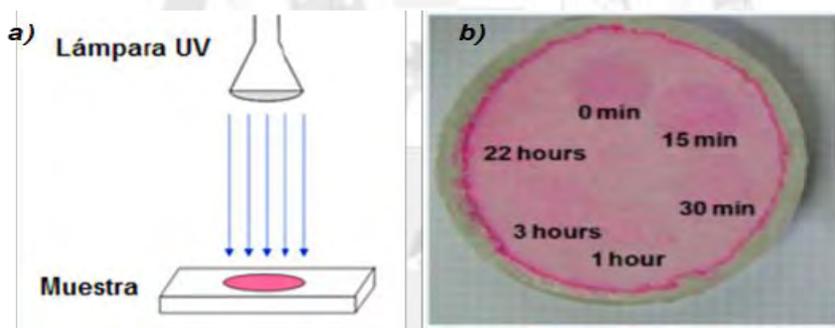
En efecto esta propiedad es aplicada en toda aquella superficie expuesta a la intemperie y afectada por compuestos orgánicos como pigmentos como los gases expulsados por los autos, además de moho. Con el proceso de fotocatalisis del TiO<sub>2</sub> es posible la eliminación de estos

compuestos inorgánicos descomponiéndolos en  $\text{CO}_2$  y agua, siendo destruidos parcialmente y removidos por agua de lluvia.

El ensayo o prueba que se puede usar para la evaluación de esta propiedad es la de Rodamina B la cual está regulada por la norma italiana UNI 11259:2008. Consiste en observar la evolución colorimétrica con el paso de tiempo de muestra de concreto colocado en su superficie algún compuesto orgánico y producirse el efecto de fotocatalisis gracias a rayos UV.

### Figura 5

Visualización Prueba de Rodamina



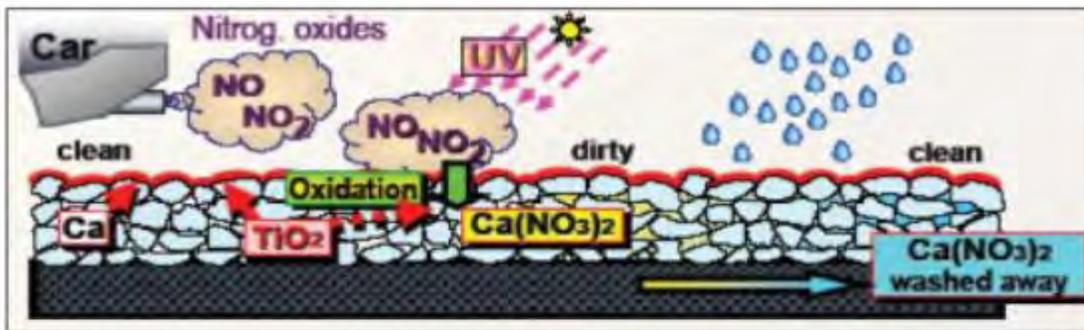
*Nota.* a) Prueba de Rodamina, b) Efecto Fotocatalítico de autolimpieza. Fuente: Fotocatalisis en la construcción. (Jimenes & Marta Castellote)

- Efecto Descontaminante

Otros de los efectos Fotocatalíticos importantes es la descontaminación o reducción del  $\text{NO}_x$  (Óxidos nitrosos) gases contaminantes dañinos para la salud. El proceso de absorción de  $\text{NO}_x$  se da en la superficie del material gracias a la acción de los rayos UV, sucede un proceso de reacción el cual permite convertir el  $\text{NO}_x$  en  $\text{NO}_3$  (nitratos) los cuales ya son componentes no contaminantes, mientras los compuestos orgánicos son desechados por efectos del agua Figura 6.

Figura 6

Esquema de Descomposición y Fijación del NOx

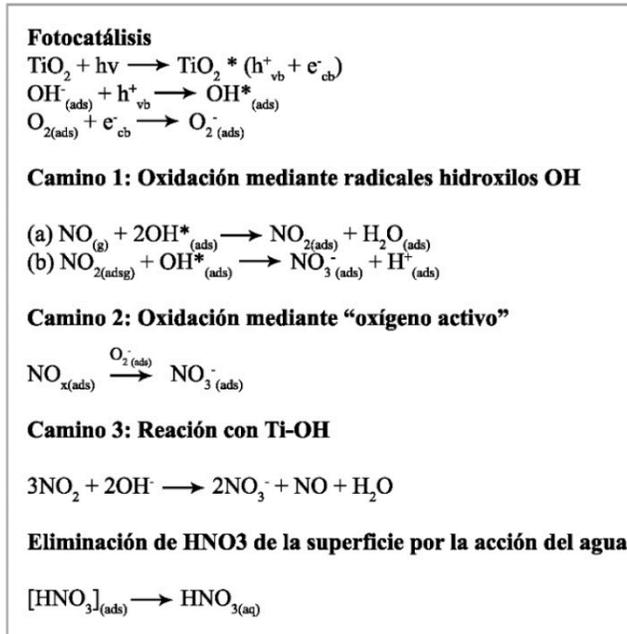


Nota. Fuente: Rodríguez García.

En los procesos de oxidación y reacciones del TiO<sub>2</sub> en la superficie se dan las siguientes ecuaciones como se observa en la Figura 7.

Figura 7

Ecuaciones de Degradación del NOx



Nota. Fuente: (Proyecto Fenix, 2009)

Para que sea posible la prueba de absorción de NO<sub>x</sub> la norma ISO 22197-1 y la norma UNI 11247:2010 presentan las siguientes condiciones como se observa en la tabla 6.

**Tabla 6**

*Condiciones Físicas para Llevar a Cabo Prueba de Absorción de NOx*

Standardization body/publication	ISO	UNI
Standard	22197-1	11247:2010
Irradiation source	Fluorescent light BL or BLB; Xenon with filter letting pass (300-400nm)	Hg vapour $\lambda < 400$ nm; $\lambda < 350$ less than 10%
Irradiance (W/m <sup>2</sup> )	10	20
Temperature (°C)	25	27
Relative humidity (%RH)	50	0
Gas flow (l/min)	3	1.5
Initial concentration NO (ppmv)	1	0.4
Initial concentration NO <sub>2</sub> (ppmv)	0	0.4
Flow regime	laminar	mixed
Size simple (cm <sup>2</sup> )	49	64
Pre-treatment	XXX	X

*Nota.* Adaptado. Fuente: Fotocatálisis en la construcción. (Jimenes & Marta Castellote)

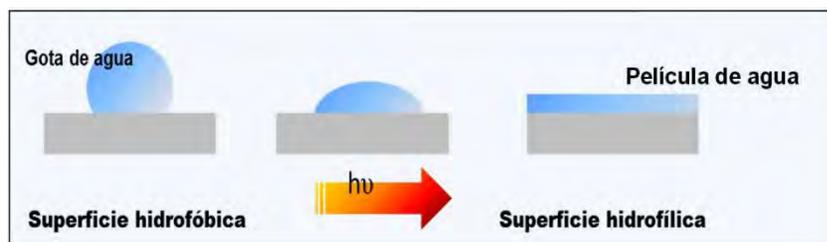
- Superhidrofilia en TiO<sub>2</sub>

Es el grado de repelencia de una sustancia por el agua se expresa en términos del ángulo de contacto de una gota de agua sobre una superficie. Cuanto menos es el ángulo más afinidad por el agua presenta esa sustancia. (Jimenes & Marta Castellote).

Al iluminar la superficie con rayos UV el ángulo generado en la superficie con el agua, comienza a reducirse hasta llegar a cero, creándose una capa plana de agua lo cual es llamado Superhidrofilia como se observa en la siguiente figura 8.

**Figura 8**

*Efecto de Superhidrofilia*



*Nota.* Fuente: Fotocatálisis en la construcción. (Jimenes & Marta Castellote)



#### **2.4.6. Dióxido de Titanio (TiO<sub>2</sub>) a Infraestructuras Urbanas**

El dióxido de Titanio tiene una amplia aplicación dentro de la construcción como material descontaminante, las cuales son en fachadas de edificios como acabados además de baldosas para el tránsito peatonal. Algunas de las aplicaciones para la infraestructura urbana es la siguiente:

- Pavimentos bituminosos drenantes percolados con lechada fotocatalítica
- Losas fotocatalíticas para pavimentación de aceras.
- Revestimiento de fachadas con materiales cerámicos fotocatalíticos.

### **2.5. Material adicinante**

#### **2.5.1. Siderúrgica en el Perú**

El mercado doméstico es abastecido por dos empresas locales, Siderperu y Corporación Aceros Arequipa, además de un importante y creciente componente importado. La producción de la industria local representa el 3% del PBI manufacturero, US\$240 millones en términos de valor bruto de producción (Banco Wiese Sudameris, 2002).

La industria siderúrgica en el Perú es uno de los más importantes en la economía del país, ya que satisface una gran necesidad de productos, insumos o materiales de suma importancia para seguir generando más valor agregado. La producción de esta industria genera el 3% del PBI del sector manufacturero, equivale al 14.8% del PBI global.

En el Perú hay dos empresas en la industria siderúrgica: Siderperú y Corporación Aceros Arequipa S.A.A. que son las mayores productoras de acero del país.

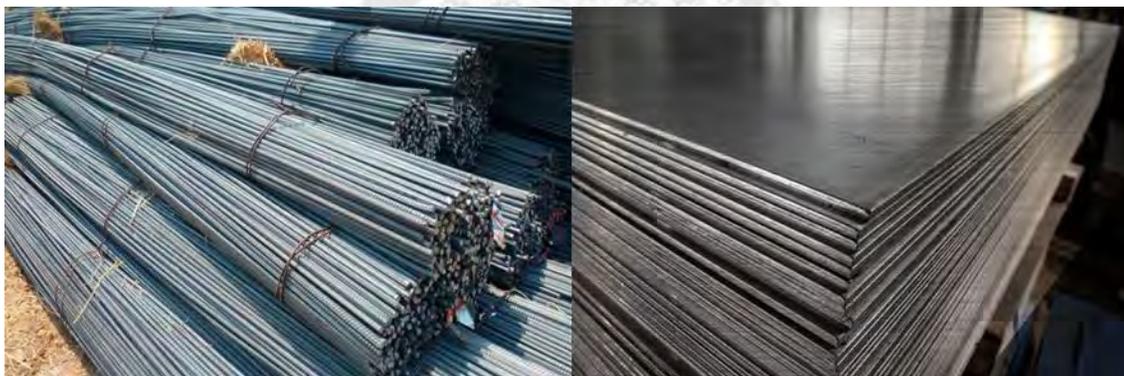
En el mercado siderúrgico en Perú son dos las líneas de producción:

- Productos largos: Usados con mayor medida en el sector de construcción y minero. Por ejemplo: barras de acero corrugado para elementos estructurales en la construcción y perfiles metálicos, ambos son el 65% de la demanda total.

- Productos planos o laminados: Esta línea de productos tiene uso en los sectores de manufactura, minería y construcciones metálicas. Por ejemplo, se tienen: planchas de acero, bobinas de aceros, planchas galvanizadas.

### Figura 9

*Tipos de Productos de Acero.*



*Nota.* Barras de acero corrugado (derecha), Planchas de acero (izquierda)

El porcentaje de demanda de productos largos está representado en la siguiente Tabla 7, así como su fabricante. El sector de la construcción y la autoconstrucción son los que generan una mayor demanda, pues representa 40% de las ventas totales del mercado de acero en el Perú. (Miranda Bordón, 2008, pág. 18).

### Tabla 7

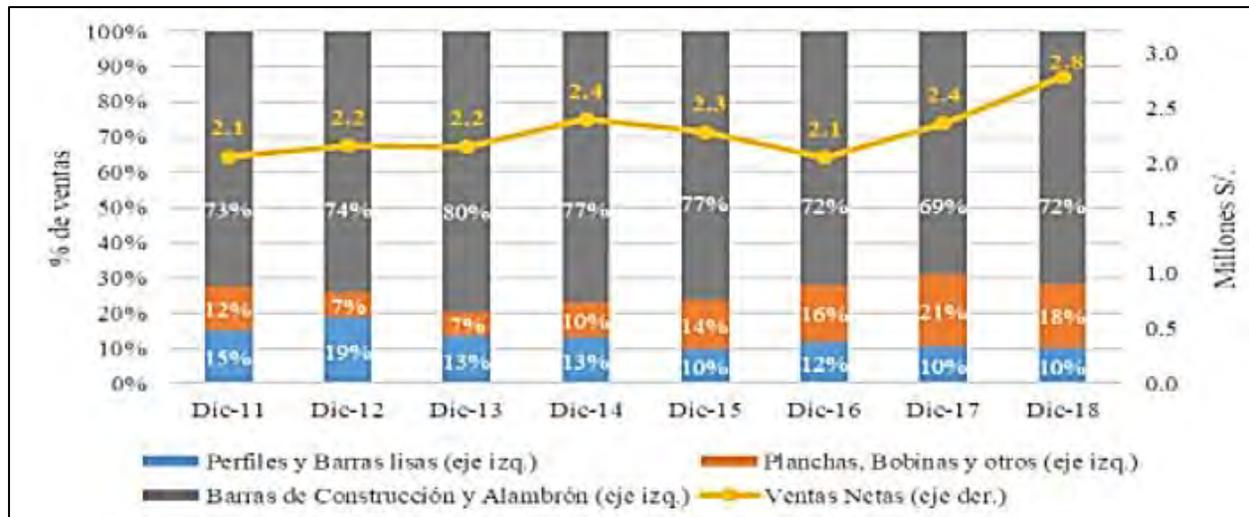
*Porcentaje de Demanda Doméstica de Productos Largos*

	<b>Barras</b>	<b>Alambrón</b>	<b>Perfiles</b>
Aceros Arequipa	62%	20%	85%
Siderperú	35%	10%	10%
Importaciones	3%	70%	5%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

*Nota.* Fuente: Industria siderúrgica. (Banco Wiese Sudameris, 2002)

**Figura 10**

*Composición de las Ventas de Corporación Aceros Arequipa.*



*Nota.* Fuente: Valorización de la Corporación Aceros Arequipa S.A. (Chávez Del Carpio & Mamani Malpica, 2019)

### 2.5.2. Proceso de Producción del Acero

El acero nace de la fusión de diferentes cargas metálicas con contenido de hierro, ferroaleaciones y carbono, las cuales determinan su estructura molecular pero este proceso no es tan simple como parece. (Aceros Arequipa, 2020)

El proceso de producción del acero está dividido en 3 fases: Fase de Fragmentación o Reducción, Fase de aceración y Fase de Laminación el proceso se observa en la Figura 11.

**Figura 11**

*Proceso Productivo del Acero*



*Nota.* Fuente: El Mercado de la Siderurgia (Miranda Bordón, 2008)

I. Fase de Fragmentación o reducción

En este proceso se acopia la chatarra la cual se va a reciclar para la realización del acero. La chatarra o acero reciclado pasa por proceso de corte y triturado en planta fragmentadora donde es seleccionado por rodillos metálicos y luego transportado a la producción de acero.

**Figura 12**

*Planta de Fragmentación*



*Nota.* Fuente: (Aceros Arequipa, 2020)

## II. Fase de Aceración

En la fase de aceración se lleva a cabo la fundición del acero, ya antes fragmentado, en hornos eléctricos alcanzando el estado líquido a altas temperaturas (por encima de los 3000°C a 5000°C). El carbono es un componente que es eliminado, ya que quita resistencia al acero, se insuflan pequeñas dosis de oxígeno dentro del horno eléctrico, esto genera reacciones exotérmicas logrando que la carga metálica o chatarra se funde a 1600°C.

El acero líquido se le agrega ferroaleaciones teniendo en cuenta aquellas propiedades químicas que se desea que tenga el acero, este es solidificado en el proceso de colado continua hasta que finalmente el acero pasa al estado sólido con formas definidas.

### Figura 13

*Acería, Horno Eléctrico*



*Nota.* Fuente: (Aceros Arequipa, 2020)

## III. Fase de Laminado

La tercera fase y última de producción se lleva el proceso de manufactura, aquí el acero sólido se transforma en los diferentes productos (largos o planos). El acero sólido debe ser maleable en caliente, se eleva la temperatura del acero sólido para que sea más flexible.

**Figura 14**

*Trenes de Alimentación*



*Nota.* Fuente: (Aceros Arequipa, 2020)

La calidad del acero depende de la fase de fragmentación y aceración además del tipo de horno que se usa (Alto horno y horno eléctrico).

### **2.5.3. Hornos de Arco Eléctrico**

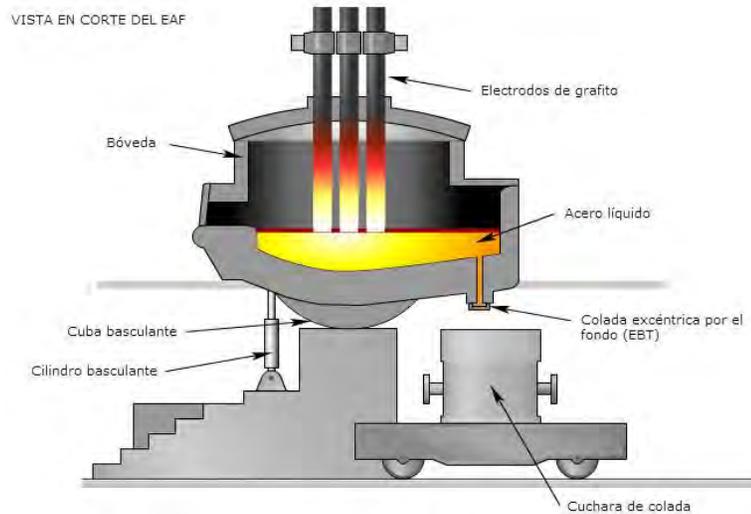
Un horno de arco eléctrico es un horno que se calienta por medio de un arco, su tamaño va desde 1 tonelada hasta 20 toneladas de capacidad. Los hornos de arco eléctrico funcionan con tres electrodos de grafito los que pueden llegar a tener 760mm de diámetro y longitud de hasta 12m. Este horno está cubierto por una bóveda también refractaria y a través de la cual uno o más electrodos de grafito están alojados dentro del horno.

El horno está compuesto por 3 partes:

- Armazón: consiste en paredes refractarias y la cimentación.
- El hogar: techo refractario que bordea la cimentación.
- La bóveda o cubierta: de aspecto esférico o sección cónica, cubre el horno con materia refractario.

**Figura 15**

*Horno de Arco Eléctrico*



#### 2.5.4. Residuos de la siderúrgica: escorias metalúrgicas

A altas temperaturas de fundición a partir de los fundentes e impurezas se forman las escorias metalúrgicas o mezclas no metálicas. (Suarez Hincapie, 2018)

La escoria se obtiene de la fusión del hierro o acero, siendo un subproducto del proceso de fundición de las siderúrgicas (Figura 16).

**Figura 16**

*Subproductos de la Industria de la Siderúrgica*



*Nota.* Fuente: Estudio de durabilidad del hormigón con áridos siderúrgicos de horno de arco eléctrico (Pérez Fernández, 2015)

La escoria se puede distinguir en dos tipos debido a la etapa que corresponden:

- Escorias de alto horno (hierro)
- Escoria de acería (acero)

Siendo la escoria de acero subproductos de hornos eléctricos. Los diferentes tipos de escoria se observa en la siguiente figura los tipos de escoria correspondiente a los diversos tipos de hornos. (Amaral, 1999).

**Figura 17**

*Clasificación Simplificada de las Escorias Según la Procedencia*



*Nota.* Fuente: Estudio de durabilidad del hormigón con áridos siderúrgicos de horno de arco eléctrico (Pérez Fernández, 2015)

### **2.5.5. Escoria de Altos Hornos**

Las escorias de alto horno provienen del proceso de reducción de minerales de hierro al producto metálico denominado arrabio. (Suarez Hincapie, 2018).

Son de rápido enfriamiento y forma vítrea; utilizada comúnmente en la fabricación de cemento, y no tiene aplicación directa en obras de viabilidad. (Tirado Chávez, 2018)

### **2.5.6. Escoria de Hornos Eléctricos (EHE)**

Como se menciona anteriormente la escoria de hornos eléctricos es un subproducto en la producción de acero en un horno de Arco Eléctrico en la fase de fusión o acería del acero. Formado en la fusión de chatarra y adiciones como cal cálcica, carbón y ferroaleaciones.

La composición química de la escoria de Hornos eléctricos depende de los elementos que fueron utilizados en la elaboración del acero.

### 2.5.7. Propiedades Físicas de Escoria de Horno Eléctrico

La escoria de acero tiene una estructura superficial rugosa y una forma cúbica y angular. En el interior, cada partícula es vesicular y tiene muchas células que no se comunican. La estructura de panal es creada por los gases atrapados en la escoria caliente a medida que se enfría y solidifica. (Choque Hinojosa, 2012, pág. 28)

#### Figura 18

*Escoria de Hornos Eléctricos*



*Nota.* Fuente: Estudio de Comportamiento de hormigones con Áridos Siderúrgicos en Horno Eléctrico (Cañas Gallart, 2012)

La estructura cristalizada de la escoria depende a la temperatura en la que es controlada, si es de rápido enfriamiento esta será más porosa y de tamaño pequeño. En cambio, si esta se deja enfriar más lento será menos porosa, más dura y cristalina.

En la Tabla 8 se observa las características físicas de la escoria.

**Tabla 8**

*Tabla. Características Físicas de la Escoria de Hornos Eléctricas*

Propiedad	Descripción
Aspecto	Sólido rocoso inorgánico de granulometría variable
Color	Gris
Olor	Inoloro
pH	10-12,5
Punto de fusión	>1000°C
Solubilidad	<100mg/l
Densidad	3-4g/cm <sup>3</sup> (20°C)

*Nota.* Adaptada. Fuente: Análisis de la Aplicación del FCR escorias de Fundición aplicadas y no aplicadas (Emgrisa, 2021)

### 2.5.8. Propiedades Químicas de Escoria de Horno Eléctrico

La propiedad de la escoria de hornos eléctricos es como esta en la siguiente tabla.

**Tabla 9**

*Propiedades Químicas de la Escoria de Hornos Eléctricos*

Pais	CaO (%)	MgO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	FeO (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>6</sub> (%)	S (%)
<b>Japón</b>	40	4	25	5	19	7	-	0.006
<b>Suecia</b>	46	5	11	5	28	4	0.7	-
<b>EEUU</b>	41	10	17	8	18	4	0.6	0.2
<b>Alemania</b>	32	10	15	4	31	4	1.4	0.1
<b>Brasil</b>	33	10	18	6	30	5	-	-
<b>Italia</b>	41	8	14	7	20	6	0.9	0.1

*Nota.* Adaptada. Fuente: Análisis de la Aplicación del FCR escorias de Fundición aplicadas y no aplicadas (Emgrisa, 2021)



## CAPÍTULO III. HIPOTESIS Y VARIABLES

### 3.1. Hipótesis y Variables

#### 3.1.1. Formulación de Hipótesis

#### 3.1.2. Hipótesis General

H.G: cumple la propiedad de absorción fotocatalítica de Óxidos Nitrosos (NOx) y la resistencia del concreto adicionado con dióxido de titanio y escoria de hornos eléctricos.

#### 3.1.3. Hipótesis Específicas

H. E. 1: Incrementa la resistencia en los diferentes diseños trabajados del concreto adicionado con dióxido de titanio y escoria de hornos eléctricos respecto al diseño patrón.

H. E. 2: Los porcentajes de descontaminación de óxidos nitrosos son mayores al 30% en los diferentes diseños trabajados del concreto adicionado con dióxido de titanio y escoria de hornos eléctricos respecto al diseño patrón.

H. E. 3: La dosificación más eficiente respecto a la absorción de óxidos nitrosos (NOx) y a la resistencia tiene como componente al dióxido de titanio menor al 10% y escoria de hornos eléctricos mayor al 25% en relación al agregado, en el concreto con escoria de hornos eléctricos y dióxido de titanio (CEHE - TiO<sub>2</sub>).

### 3.2. Identificación de las variables

En el desarrollo de la presente investigación en la elaboración de la mezcla del Concreto con Escoria de Hornos Eléctricos y Dióxido de Titanio (CEHE - TiO<sub>2</sub>), los resultados a analizar serán relacionados a los objetivos descritos anteriormente, de los cuales derivan las variables que analizaremos.

### 3.2.1. Variables Independientes

- Diseño de mezcla:

Para Concreto con Escoria de Hornos Eléctricos y Dióxido de Titanio (CEHE - TiO<sub>2</sub>), se determinará la proporción de cada uno de los componentes que se utilizarán para la elaboración del CEHE - TiO<sub>2</sub>.

### 3.2.2. Variables Dependientes

- Propiedades mecánicas:

Resistencia a la compresión ( $f'_c$ ) del Concreto con Escoria de Hornos Eléctricos y Dióxido de Titanio (CEHE - TiO<sub>2</sub>).

- Propiedades fotocatalíticas:

Absorción de gases contaminantes (NO<sub>x</sub>).

### 3.3. Indicadores

**X111: Kilogramo (kg)**

**X121: Kilogramo (kg)**

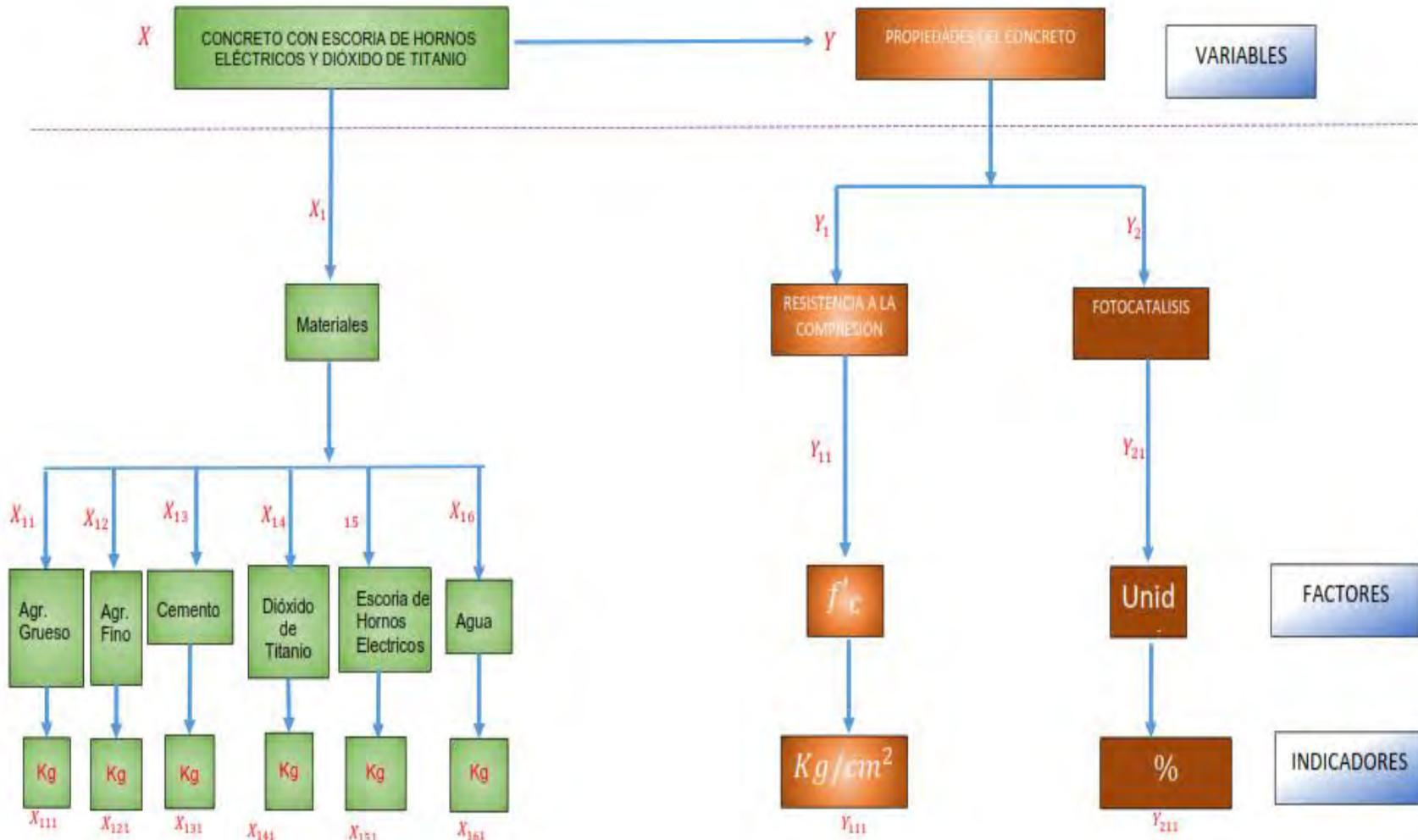
**Y111: Kg/cm<sup>2</sup>**

**Y211: Absorción de NO<sub>x</sub> (%)**

### 3.4. Matriz de Consistencia

PROBLEMAS	OBEJTIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	FACTORES	
P. G.: ¿En qué medida cumplirá las propiedades de absorción fotocatalítica de Óxidos Nitrosos (NOx) y la resistencia a la compresión el concreto adicionado con escoria de hornos eléctricos y dióxido de titanio?	O.G.: Analizar la absorción fotocatalítica de Óxidos Nitrosos (NOx) y la resistencia del concreto adicionado con dióxido de titanio y escoria de hornos eléctricos.	H.G: cumple la propiedad de absorción fotocatalítica de Óxidos Nitrosos (NOx) y la resistencia del concreto adicionado con dióxido de titanio y escoria de hornos eléctricos.	X: Concreto con Escoria de Hornos eléctricos y dióxido de Titanio (CEHE – TiO <sub>2</sub> )	X11: Agregado Grueso	X111: peso grueso (kg)
				X12: Agregado fino	X121: peso fino (kg)
				X13: Cemento	X131: peso cemento (kg)
				X14: Dióxido de titanio	X141: peso dióxido (kg)
				X15: Escoria de Hornos eléctricos	X151: peso escoria (kg)
				X16: Agua	X161: peso agua (kg)
Y: Propiedades del concreto	Y11: Resistencia	Y111: (kg/cm <sup>2</sup> )			
	Y21: Fotocatálisis	Y311: (%)			
P.E1: ¿Cuál de los diseños trabajados tendrá mayor resistencia, en el concreto adicionado con dióxido de titanio y escoria de hornos eléctricos respecto al diseño patrón?	O.E.1: Determinar la variación de la resistencia en los diferentes diseños trabajados del concreto adicionado con dióxido de titanio y escoria de hornos eléctricos respecto al diseño patrón.	H.E.1: Incrementa la resistencia en los diferentes diseños trabajados del concreto adicionado con dióxido de titanio y escoria de hornos eléctricos respecto al diseño patrón.			
P.E2: ¿Cuál de los diseños trabajados tendrá mayor porcentaje de descontaminación de óxidos nitrosos (NOx), en el concreto adicionado con dióxido de titanio y escoria de hornos eléctricos?	O.E.2: Determinar el porcentaje de descontaminación de óxidos nitrosos (NOx) en los diferentes diseños trabajados del concreto adicionado con dióxido de titanio y escoria de hornos eléctricos.	H.E.2: Los porcentajes de descontaminación de óxidos nitrosos son mayores al 30% en los diferentes diseños trabajados del concreto adicionado con dióxido de titanio y escoria de hornos eléctricos respecto al diseño patrón.			
P.E2: ¿Cuál será la dosificación más eficiente respecto a la absorción de óxidos nitrosos (NOx) y a la resistencia, del concreto adicionado con dióxido de titanio y escoria de hornos eléctricos?	O.E.2: Obtener la dosificación más eficiente respecto a la absorción de óxidos nitrosos (NOx) y a la resistencia, del concreto adicionado con dióxido de titanio y escoria de hornos eléctricos.	H.E.3: La dosificación más eficiente respecto a la absorción de óxidos nitrosos (NOx) y a la resistencia tiene como componente al dióxido de titanio menor al 10% y escoria de hornos eléctricos mayor al 25% en relación al agregado, en el concreto con escoria de hornos eléctricos y dióxido de titanio (CEHE - TiO <sub>2</sub> ).			

### 3.5. Operacionalización de Variables





## CAPÍTULO IV. DELIMITACIÓN Y METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 4.1. Delimitación de la Investigación

Para la realización de esta investigación se tomarán en cuenta los siguientes aspectos con respecto a materiales y aplicaciones del mismo:

- El Agregado grueso y fino para la elaboración de la mezcla será proveniente de las canteras de San Salvador que distribuye en toda la ciudad de Cusco y Escoria de Hornos Eléctricos de la empresa siderúrgica Aceros Arequipa de la ciudad de Pisco.
- Además del Dióxido de Titanio  $TiO_2$  conseguido de empresa Química Regasa.
- El análisis de resultados se realizará llevando a cabo pruebas y ensayos desarrollados en los laboratorios de la Empresa Concretera Supermix de la provincia de Cusco y en laboratorio de Química de la ciudad de Cusco.

### 4.2. Tipo y Diseño de Investigación

#### 4.2.1. Tipo de la Investigación

Según el énfasis de la naturaleza de nuestros datos y métodos de estudio de las variables el tipo de la investigación del proyecto actual será **CUANTITATIVA**, porque en nuestros datos nos basaremos en la cuantificación y cálculo de los mismos.

#### 4.2.2. Nivel de la Investigación

El nivel de proyecto de nuestra investigación será del nivel Exploratoria y Correlacional:

- Exploratoria porque no hay una gran información de concreto fotocatalítica con escoria de hornos eléctricos.
- Correlacional porque compararemos las proporciones de los materiales de nuestra mezcla (dióxido de titanio y la escoria de hornos eléctricos) y así mismo la medición de la resistencia a la compresión ( $f'c$ ) y absorción fotocatalítica.
-



#### 4.2.3. Diseño de Investigación

Según el diseño de investigación de nuestro proyecto será EXPERIMENTAL ya que realizaremos el estudio mediante observación, registro y análisis de nuestras variables.

#### 4.3. Unidad de Análisis

Para realizar el análisis de los resultados y se pueda realizar las pruebas de resistencia de compresión y análisis fotocatalítico la unidad de análisis serán probetas y prismas respectivamente de Concreto con Escoria de Hornos Eléctricos y Dióxido de Titanio (CEHE –  $TiO_2$ ). Con las diferentes proporciones de las variables para conseguir el más óptimo.

#### 4.4. Población de Estudio

Para la evaluación y análisis de resultados del concreto de escoria de Hornos Eléctricos y Dióxido de Titanio (CEHE –  $TiO_2$ ) se tomarán las siguientes consideraciones:

- Se desarrollarán probetas de Concreto Control (CC) ( $F'c=245$  kg/cm<sup>2</sup>) sin ningún adiconaste.
- Para en el caso de la Escoria de Hornos Eléctricos (EHE) se usarán las proporciones de 25%, 50% y 75%.
- Para el uso de Dióxido de Titanio ( $TiO_2$ ) se usarán las proporciones de 5%, 7.5% y 10%.
- La combinación de los diseños serán los siguientes:
  - Concreto Control (CC)
  - EHE 25% con  $TiO_2$  al 5%
  - EHE 25% con  $TiO_2$  al 7.5%
  - EHE 25% con  $TiO_2$  al 10%
  - EHE 50% con  $TiO_2$  al 5%
  - EHE 50% con  $TiO_2$  al 7.5%
  - EHE 50% con  $TiO_2$  al 10%
  - EHE 75% con  $TiO_2$  al 5%
  - EHE 75% con  $TiO_2$  al 7.5%



- EHE 75% con  $TiO_2$  al 10%
- Se evaluará la propiedad de resistencia a la compresión de las probetas de cada diseño a 7 días, 14 días (se ensayarán 3 especímenes por diseño) y 28 días (15 especímenes cuando se llegue al tiempo máximo de evolución del concreto)
- Los prismas de concreto serán de 1.5 cm x 1.5cm x 10cm serán evaluados en absorción fotocatalítica.
- La población de probetas por diseño será de 21 especímenes, teniendo una población de 210 probetas.

#### **4.5. Selección de Muestra**

La selección de la población será probabilística y por muestreo al azar simple, ya que cada uno de los miembros de la población tiene iguales posibilidades de pertenecer a la muestra en los días de rotura.

#### **4.6. Tamaño de Muestra**

En la realización de esta investigación se decidió que las 30 probetas de todos los diseños se fallaran a los 7 días, 14 días y completando se hará rotura de las 150 a los 28 días, la distribución de las muestras y cantidad de roturas por intervalo de tiempo se presentan en la tabla 10.

**Tabla 10**

*Cuadro de Distribución de Roturas en Intervalos de Tiempo*

TIPO DE DISEÑO	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS	TOTAL
1. Concreto Control (CC)	3	3	15	21
2. EHE al 25% con TiO <sub>2</sub> al 5%	3	3	15	21
3. EHE al 25% con TiO <sub>2</sub> al 7.5%	3	3	15	21
4. EHE al 25% con TiO <sub>2</sub> al 10%	3	3	15	21
5. EHE al 50% con TiO <sub>2</sub> al 5%	3	3	15	21
6. EHE al 50% con TiO <sub>2</sub> al 7.5%	3	3	15	21
7. EHE al 50% con TiO <sub>2</sub> al 10%	3	3	15	21
8. EHE al 75% con TiO <sub>2</sub> al 5%	3	3	15	21
9. EHE al 75% con TiO <sub>2</sub> al 7.5%	3	3	15	21
10. EHE al 75% con TiO <sub>2</sub> al 10%	3	3	15	21
<b>TOTAL</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>150</b>	<b>210</b>

Se elaboraron 6 prismas para cada diseño que serán utilizados para el análisis de absorción de Óxidos Nitrosos (NO<sub>x</sub>) a partir de que se cumplan los 28 días de elaboración para realizar el análisis de porcentaje de descontaminación.

#### 4.7. Técnicas de Recolección de Datos e Información

Para la recolección de datos se tomarán los siguientes aspectos para obtener la información necesaria:

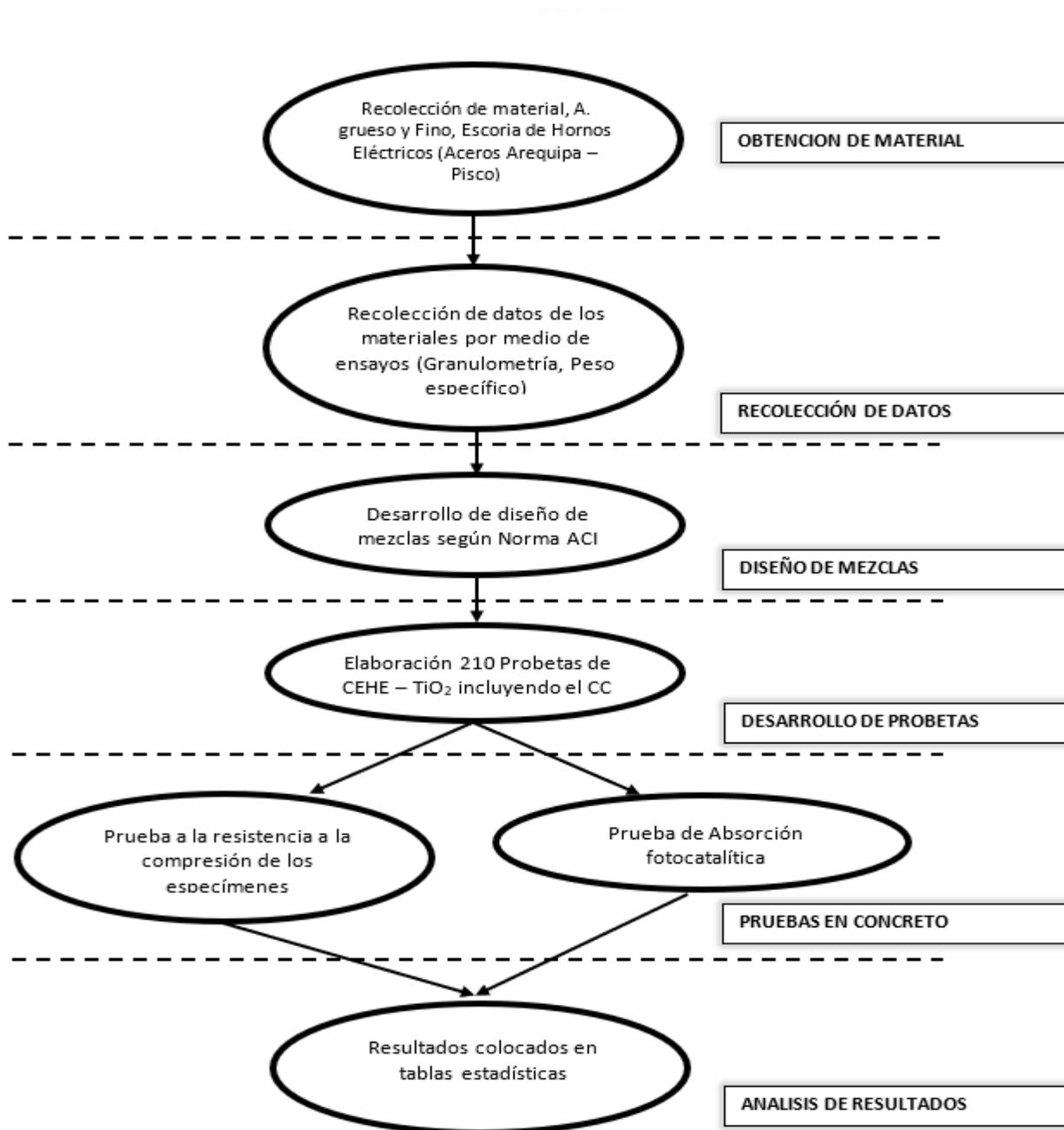
- Para obtención de los datos de los agregados que comprendan la mezcla del Concreto con Escoria de Hornos Eléctricos y Dióxido de Titanio (CEHE – TiO<sub>2</sub>)
  - Análisis granulométrico.
  - Contenido de humedad
  - Peso unitario
  - Peso Especifico
  - Absorción
- Para la obtención de resultados de variables dependientes:
  - Ensayos de Rotura de especímenes
  - Análisis de absorción Fotocatalítica.

#### 4.8. Procedimiento para Recolectar e interpretación de Datos

Para el proceso de recolección de datos se llevaron a cabo los ensayos antes mencionados, aplicando el siguiente proceso:

Figura 19

Proceso de Elaboración de Investigación



Nota. Fuente: Elaboración Propia

#### 4.9. Equipos Utilizados

##### 4.9.1. Equipos utilizados para la Preparación de Materiales

Para la realización y obtención de datos de los materiales utilizar serán los siguientes:

- Balanza Digital Electrónica: capacidad de 10kg con precisión de +/- 0.002 kg.

#### Figura 20

*Balanza Usada Para el Proceso de Peso Especifico*



- Juegos de tamices metálicos: para la realización de análisis granulométrico de los agregados grueso fino.

#### Figura 21

*Juego de Tamices Usados para Análisis Granulométrico*



- Horno eléctrico: para secado de muestras para humedad y absorción.

**Figura 22**

*Secado de Muestras en Horno Eléctrico*



#### 4.9.2. Equipos utilizados Elaboración y rotura de Especímenes Concreto

- Balanza electrónica capacidad 50kg para realizar el pesado de materiales para mezcla de CEHE –  $TiO_2$ .

**Figura 23**

*Balanza Electrónica para Elaboración de Concreto*



- Mezcladora de 7pie3 con una velocidad de 24/28RPM y 14.0 HP de potencia.

**Figura 24**

*Mezcladora para Uso de Preparación de Concreto*



- Cono de Abrams: Herramientas utilizadas para evaluación de consistencia de concreto en estado fresco.

**Figura 25**

*Cono de Abrams para Asentamiento de Concreto Fresco*



- Olla Washington: equipo para la medición de contenido de Aire en concreto fresco.

**Figura 26**

*Olla Washington, Medición Cantidad de Aire*



- Moldes de Plástico cilíndricos: para moldear y dar forma al concreto fresco.

**Figura 27**

*Moldes Cilíndricos*



- Pozo de curado: Se encuentra a temperatura constante de  $23^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{ C}$ .

**Figura 28**

*Pozo de Curado con Especímenes Elaborados*



- Equipo de Comprensión Axial

**Figura 29**

*Rotura de Especímenes de CEHE – TiO<sub>2</sub>*



#### 4.9.3. Equipos utilizados para Prueba de Absorción Fotocatalítica

- Balanza digital capacidad de 500gr.

**Figura 30**

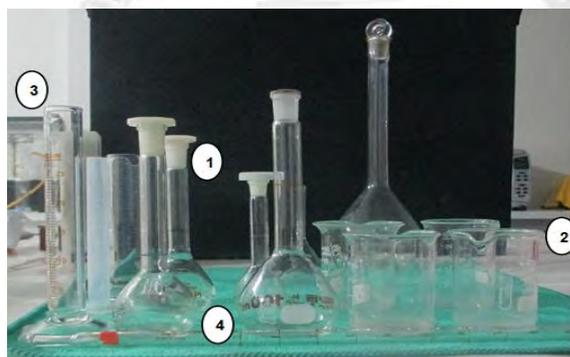
*Balanza Digital*



- Materiales de Vidrio: Para la realización de la prueba de absorción fotocatalítica se usaron los siguientes equipos de vidrio:
  - Fiola
  - Pipetas
  - Vasos Precipitados
  - Tubos de Ensayo

**Figura 31**

*Materiales de Vidrio.*



*Nota.* (1) Fiola, (2) Vasos de precipitación (3) Probeta, (4) Pipetas de Vidrio.

- Motor de aire: Para mantener un flujo constante en la proporción de los NOx por todo el esquema.
- Electrofotómetro visible: CAMSPEC M105 SPECTROPHOTOMETER

**Figura 32**

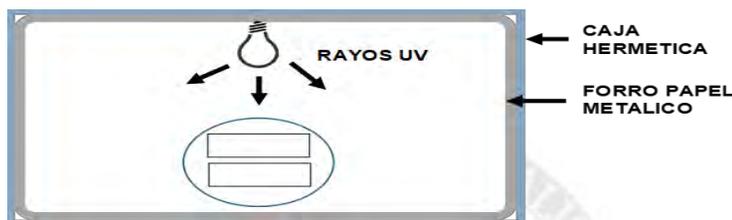
*Electrofotómetro Visible*



- Reactor Fotocatalítico: Caja hermética debidamente sellada donde se le proporcionara rayos UV a los prismas de concreto.

**Figura 33**

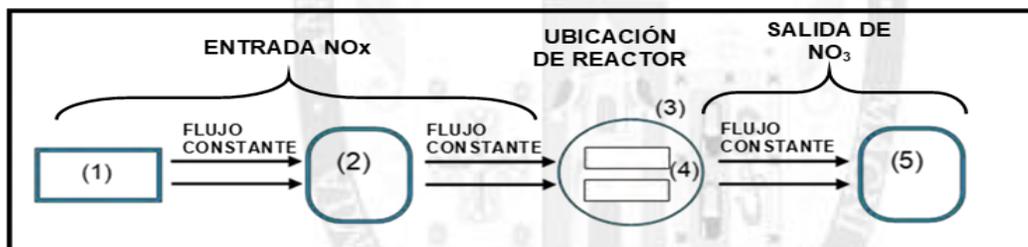
*Esquema Reactor Fotocatalítico*



- ESQUEMA UNIFICADO PRUEBA DE ABSORCIÓN FOTOCATALÍTICA: Todos los instrumentos antes mencionados son parte del siguiente esquema que representa el flujo y realización de la prueba de absorción Fotocatalítico.

**Figura 34**

*Esquema Prueba de Fotocatálisis*



*Nota.* (1) Motor eléctrico, (2) Vasos de precipitación con NOx, (3) Fiola, (4) Prismas de concreto, (5) Vasos de precipitación

**Figura 35**

*Prueba Absorción Fotocatalítica.*



#### 4.10. Materiales Utilizados para Fabricación

##### 4.10.1. Cemento IP

El cemento utilizado para la fabricación del CEHE –  $TiO_2$  será el cemento multipropósito IP Yura, el cual cumple con los requerimientos necesarios e indicados en la norma NTP 334.090 y la norma ASTM C595. Cuenta con las siguientes propiedades:

- Alta resistencia a la compresión
- Resistencia al ataque de sulfatos y cloruros.
- Mayor impermeabilidad
- Reduce la reacción nociva álcali – agregado.

Las características o propiedades técnicas del cemento se encuentran en la siguiente

Tabla 11:}

**Tabla 11**

*Tabla Propiedades Físicas Cemento Tipo IP Yura*

REQUISITOS	CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA TIPO IP		REQUISITOS NORMA NTP 334.090 ASTM C-595	
REQUISITOS QUÍMICOS				
MgO (%)			6.00 Máx.	
SO <sub>3</sub> (%)	1.5 a 3.0		4.00 Máx.	
Pérdida por ignición (%)	1.5 a 4.0		5.00 Máx.	
REQUISITOS FÍSICOS				
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.75 a 2.85		-	
Expansión en autódave (%)	0.07 a 0.03		-0.20 a 0.80	
Fraguado Vicat inicial (minutos)	170 a 270		45 a 420	
Contenido de aire	2.5 a 8.0		12 Máx	
Resistencia a la compresión	Kgf/cm <sup>2</sup>	MPa	Kgf/cm <sup>2</sup>	MPa
3 días	175 a 200	17.1 a 19.6	133 Mín	13
7 días	225 a 255	22 a 25	204 Mín	20
28 días	306 a 340	30 a 33.3	255 Mín	25
Resistencia a los sulfatos	%		%	
% Expansión a los 6 meses	< 0.04		0.05 Máx	
% Expansión a 1 año	< 0.05		0.10 Máx	

*Nota.* Ficha Técnica Cementos Yura IP. Fuente: (Cementos Yura)

#### 4.10.2. Agregado Grueso y Fino

El agregado grueso y fino que se utilizó para la elaboración de CEHE –  $TiO_2$  es de la cantera de San Salvador de la ciudad de Cusco con las siguientes características geográficas:

- Ubicación Geográfica: Se encuentra en el km 9 de la ruta de Cusco – San Salvador
- Distrito: San Salvador
- Provincia: Calca
- Región: Cusco
- Altitud Promedio: 2934 – 3020 msnm.

El agregado grueso es de tamaño máximo nominal de 1/2” fueron lavados ambos agregado fino y grueso como se puede observar en la figura 21 (A. Grueso) y Figura 22 (A. Fino).

#### Figura 36

*Recolección Agregado Grueso*



#### Figura 37

*Recolección Agregado Fino*

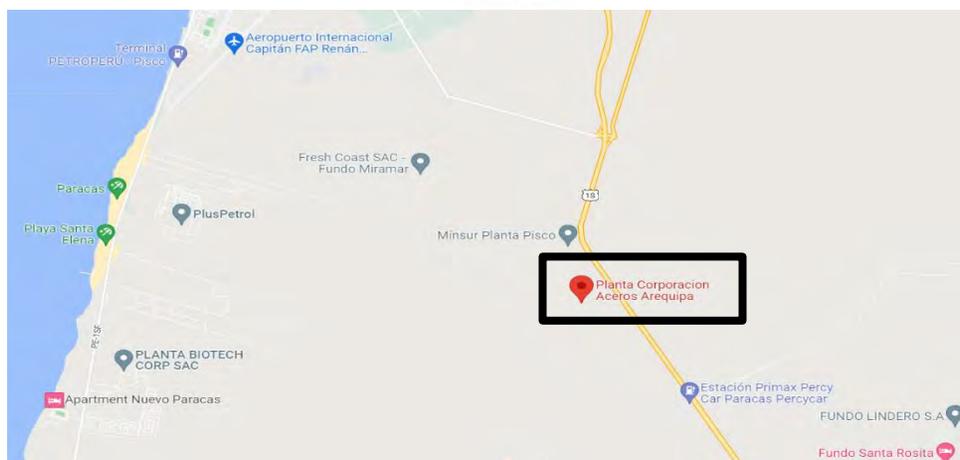


### 4.10.3. Escoria de Hornos Eléctricos

La escoria de hornos eléctricos fue obtenida de los desechos de la planta siderúrgica de Aceros Arequipa en la ciudad de Pisco ubicada geográficamente como se ve en la figura 38

**Figura 38**

*Ubicación de Planta Siderúrgica*



- Ubicación Geográfica: Se encuentra en el kilómetro 234 de la carretera Panamericana Sur
- Provincia: Pisco
- Departamento: Ica

**Figura 39**

*Recolección de Escoria de Hornos Eléctricos*



#### 4.10.4. Dióxido de Titanio (TiO<sub>2</sub>)

El dióxido de Titanio (TiO<sub>2</sub>) fue adquirido de la empresa distribuidora de productos químicos “QUIMICA REGASA”, la cantidad de material de TiO<sub>2</sub> fue de 5%, 7.5% y 10% del volumen del cemento.

**Tabla 12**

*Tabla Datos Técnicos del Dióxido de Titanio (TiO<sub>2</sub>)*

<b>Parámetros</b>	<b>Specs</b>
Indice de Color	77891, Pigmento Blanco 6
Apariencia	Polvo Blanco
Contenido de TIO2	99.0 % min
Materia Volatil a 105°C	0.5 % max
Pérdida por Ignición a 800°C	0.5 % max
Sales Solubles en agua	0.025 % max
Sales Solubles en ácido	0.5 % max
pH de suspensión acuosa	6.8 – 7.6
Brillo	98.7 % min
Absorción de aceite	23g/100g max
Fuerza de Tinturado (en comparación con el estándar)	110 % min
Bario	5 mg/kg max
Metales Pesados	20 mg/kg max
Zinc	50 mg/kg max
Estibio	50 mg/kg max
Cromo	20 mg/kg max
Plomo	10 mg/kg max
Arsenio	3 mg/kg max
Mercurio	1 mg/kg max
Cadmio	1 mg/kg max
Hierro	50 mg/kg max

#### 4.10.5. Agua

El agua que debe usarse debe NTP 339.088 (del 2014 revisada en el 2019). El agua es proporcionada en la planta de concreto SUPERMIX la cual debe cumplir en ser potable y sin distintas sustancias químicas.

#### 4.11. Procedimientos para ensayos de los Agregados

##### 4.11.1. Ensayos de los agregados Gruesos

- Cantidad de material que pasa por el tamiz N° 200 por lavado.

Este ensayo a través del lavado de material se separa el material fino que paso por las aberturas del tamiz 75µm (N° 200). Estos pueden ser arcillas, agregados muy finos y materiales solubles en agua.

En la tabla se describe el peso mínimo que debe pasar por el tamiz N° 200.

**Tabla 13**

*Cantidad Mínima de Muestra*

Tamaño máximo nominal del agregado	Peso mínimo de la muestra (g)
4,75 mm (N° 4) o menor	300
9,5 mm (3/8")	1000
19,0 mm (3/4")	2500
37,5 mm (1 1/2") o mayor	5000

*Nota.* Adaptado. Fuente: (Norma MTC E 202)

Según la norma MTC E 202 la forma de calcular la cantidad de material que pasa por el tamiz N° 200:

$$A = \frac{B - C}{B} \times 100$$

Donde:

A = Porcentaje del material fino que pasa el tamiz N° 200 por lavado

B = Peso seco de la muestra original, en gramos.

C = Peso seco de la muestra después de lavado, en gramos.

**Figura 40**

*Ensayo de Malla N° 200*



- Ensayo de Granulometría:

Se entiende por ensayo de granulometría al ensayo manual o mecánico en la cual se separan por medio de tamices, estandarizados de diferentes tamaños, las partículas del agregado en estudio. Los resultados se utilizan para determinar la distribución del tamaño de partículas según la NTP 400.012.

Según la MTC E 204 la siguiente Tabla es la cantidad mínima de agregado grueso para el desarrollo de este ensayo.

**Tabla 14**

*Cantidad Mínima de Muestra de Agregado Grueso*

Tamaño Máximo Nominal Abertura Cuadrada		Cantidad mínima de muestra de ensayos
mm	(pulg)	kg
9,5	(3/8)	1
12,5	(1/2)	2
19,0	(3/4)	5
25,0	(1)	10
37,5	(1 ½)	15
50,0	(2)	20
63,0	(2 ½)	35
75,0	(3)	60
90,0	(3 ½)	100
100,0	(4)	150
125,0	(5)	300

*Nota.* Adaptado. Fuente: (Norma MTC E 204)

Para los resultados de porcentaje de retención en cada abertura de tamices debe cumplir los límites de la siguiente Tabla para que pueda ser ubicada en la curva granulométrica.

**Tabla 15**

*Requisitos Granulométricos del Agregado Grueso*

Huso	Tamaño máximo nominal		% QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS														
			100 mm	90.00 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37.50 mm	25 mm	19 mm	12.50 mm	9.50 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	300 mm	
			4 pulg	3 1/2 pulg	3 pulg	2 1/2 pulg	2 pulg	1 1/2 pulg	1 pulg	3/4 pulg	1/2 pulg	3/8 pulg	N°4	N°8	N°16	N°50	
1	90mm a 37.5mm	3.5 pulg a 1.5pulg	100	90 a 100		25a60		0a15		0a15							
2	63mm a 37.5mm	2.5 pulg a 1.5pulg			100	90a100	35a70	0a15		0a5							
3	50mm a 25mm	2pulg a 1pulg				100	90a100	35a70	0a15		0a15						
357	50mm a 4.75mm	2pulg a N°4pulg				100	95a100		35a70		10a30		0a5				
4	37.5mm a 19mm	1.5pulg a 0.75pulg					100	90a100	20a55	0a5		0a5					
467	37.5mm a 4.75mm	1.5pulg a N°4pulg					100	95a100		35a70		10a30	0a5				
5	25mm a 9.5mm	1pulg a 0.375pulg						100	90a100	20a55	0a10	0a5					
56	25mm a 9.5mm	1pulg a 0.375pulg						100	90a100	40a85	10a40	0a15	0a5				
57	25mm a 4.75mm	1pulg a N°4						100	95a100		25a60		0a10	0a5			
6	19mm a 9.5mm	0.75pulg a 0.375mm							100	90a100	20a55	0a15	0a5	0a5			
67	19mm a 4.75mm	0.75pulg a N°4							100	90a100		20a55	0a10	0a5			
7	12.5mm a 4.75mm	0.5pulg a N°4								100	90a100	40a70	0a15	0a5			
8	9.5mm a 2.36mm	0.375pulg a N°8									100	85a100	10a30	0a10	0a5		
89	9.5mm a 1.18mm	0.375pulg a N°16										100	90a100	25a55	5a30	0a10	0a5
9	4.75mm a 1.18mm	N°4 a N°16											100	85a100	10a40	0a10	0a5

Nota. Adaptado. Tecnología del Concreto, (Abanto Castillo, 2009)

El procedimiento que se llevó a cabo para nuestro agregado está realizado según la norma Norma MTC E 204 usando los tamices de manera decreciente, haciendo sumatoria de cada una de las retenciones el cual debe dar como total el peso inicial no mayor de 0.3%.

Las normas utilizadas fueron:

- MTC E 205: Análisis granulométrico de agregados y finos

- NTP 400.01: Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.

Los resultados de nuestros agregados, así como la curva Granulométrica se encuentra en el Anexo A.

**Figura 41**

*Análisis Granulométrico de Agregado Grueso*



**Figura 42**

*Análisis Granulométrico de Agregado Fino*





- Peso Unitario y Vacíos de los Agregados.

Según el MTC E 203 este ensayo tiene como objetivo determinar el peso unitario y suelto o compactado de los vacíos de los agregados finos, grueso o una mezcla de ambos.

- **Peso Unitario:** La densidad total debe determinarse como la masa seca del agregado dividida por el volumen que ocupa. Se expresa en kg/m<sup>3</sup>.

El procedimiento es como se indica en la norma MTC E 203 donde se usan recipientes cilíndricos donde el agregado será colocado en 3 capas y cada uno varillado por 25 golpes de esta forma generando que se compacte dicho material.

Para el cálculo es la siguiente formula:

$$P_U = \frac{P_a}{V_P}$$

Donde:

P<sub>U</sub>= Peso unitario suelto o varillado

P<sub>a</sub>= Diferencia del peso de la muestra más el peso del Proctor

V<sub>P</sub>= Volumen del Proctor utilizado

Mientras de la misma forma se realiza el cálculo para el porcentaje de vacíos:

$$\% \text{vacios} = \frac{(A * W) - B}{A * W}$$

Donde:

A= Peso especificado aparente o peso específico

B= Peso unitario de los agregados determinado

W= Peso unitario del agua 1000 kg/cm<sup>3</sup>.

Los resultados de este ensayo de nuestro agregado están en el Anexo A.

**Figura 43**

*Peso Unitario de Agregado Fino*



- Peso Específico y Absorción de Agregados Gruesos.

El peso Específico del agregado será la relación del peso y el peso de un volumen igual de agua. Mientras la absorción es la capacidad de retención de agua del agregado en un intervalo de tiempo de 24h.

Según la norma MTC E 206 Una muestra de agregado será saturada o sumergida en agua por 24 horas, las cuales al ser retiradas del agua será secado con un paño grande de franela para secar la superficie del agregado Figura 44.

**Figura 44**

*Peso Específico de Agregado Grueso*



Luego el agregado es llevado a la canastilla donde será sumergido en agua y se obtendrá su peso por una balanza Figura 45.

**Figura 45**

*El Agregado es Sumergido con la Canastilla*



La fórmula para calcular el peso específico es la siguiente (MTC E 206)

- Peso específico de masa ( $P_m$ )

$$P_m = \frac{A}{(B - C)} \times 100$$

Donde:

- A = Peso de la muestra seca en el aire, gramos;
- B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire, gramos;
- C = Peso en el agua de la muestra saturada.

- Peso específico aparente ( $P_{ea}$ )

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

- Absorción ( $A_b$ )

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

Los resultados de nuestros agregados se encuentran en el Anexo.

- Peso Específico y Absorción de Agregados Finos.

Según la norma MTC E 205 la forma de calcular el peso específico del agregado fino es la siguiente:

- Peso específico de masa ( $Pe_m$ )

$$Pe_m = \frac{W_o}{(V - V_a)} \times 100$$

Donde:

$Pe_m$  = Peso específico de masa

$W_o$  = Peso en el aire de la muestra secada en el horno, g;

$V$  = Volumen del frasco en  $cm^3$ .

$V_a$  = Peso en gramos o volumen en  $cm^3$  de agua añadida al frasco.

- Peso específico de masa saturado con superficie seca ( $Pe_{sss}$ )

$$Pe_{sss} = \frac{500}{(V - V_a)} \times 100$$

- Peso específico aparente ( $Pe_a$ )

$$Pe_a = \frac{W_o}{(V - V_a) - (500 - W_o)} \times 100$$

- Absorción ( $Ab$ )

$$Ab = \frac{500 - W_o}{W_o} \times 100$$

**Figura 46**

*Procedimiento para Peso Específico de Agregado Fino*



**Figura 47**

*Procedimiento para Peso Específico de Agregado Fino*



#### 4.12. Diseño de Mezclas del Concreto control (CC) F'C=245 kg/cm<sup>2</sup>

El diseño patrón se elaboró como cualquier concreto convencional sin aditivos ni adionante del cemento, esto para poder analizar los resultados sin muchas variables que puedan errar las conclusiones respecto a la absorción fotocatalítica y la resistencia ya que añadiremos dos variables que es la EHE y TiO<sub>2</sub>. Sabemos también que con aditivos y adionante nuestro concreto podría tener mejores propiedades y trabajabilidad.

La estimación de los contenidos de agregado grueso y fino se realizó por el método del módulo de fineza de la combinación de agregados.

##### 4.12.1. Procedimiento para elaboración del diseño de mezclas

1) Determinamos la resistencia promedio requerida.

Se calculó se según la tabla del ACI 211.1.- 91 por que no conocemos el valor de la desviación estándar.

**Tabla 16**

*Resistencia a la Compresión Promedio*

$f'_c$	$f'_{cr}$
Menos de 210	$f'_c + 70$
210 a 350	$f'_c + 84$
Sobre 350	$f'_c + 98$

*Nota.* Adaptado. Fuente: (Comité 211 del ACI)

Nuestra resistencia el de  $f'_c = 245$  por ende trabajaremos con  $f'_{cr} = f'_c + 84 = 329$   
Kg/cm<sup>2</sup>

2) Elección del asentamiento (Slump)

Para el tema de trabajabilidad y uniformidad de nuestro diseño de mezcla de la tabla elegimos el asentamiento de 3" – 4" de consistencia plástica.

**Tabla 17**

*Etapas de Elaboración de la Prueba de Cono de Abrams*

Consistencia	Asentamiento
Seca	0" (0cm) a 2" (5cm)
Plástica	3" (7.5cm) a 4" (10cm)
Fluida	≥5" (12.5cm)

*Nota.* Adaptado. Fuente: Construyendo (Aceros Arequipa, 2016)

3) Selección de tamaño máximo del agregado

Nuestros agregados gruesos el para el diseño del Concreto Control (CC), así como el Concreto de escoria de Hornos Eléctricos y Dióxido de Titanio (CHE – TiO<sub>2</sub>) el tamaño máximo Nominal ½".

4) Estimación del agua de mezclado y Contenido del aire

Para realizar este paso según el Comité 211 del ACI en la tabla encontramos, de acuerdo con nuestro Slump y el tamaño máximo Nominal de nuestro agregado grueso ½", la cantidad de Agua es de 216 Lt/m<sup>3</sup> y cantidad aproximada de aire atrapada 2.5%.

**Tabla 18**

*Estimación del Agua de Mezclado y Contenido de Aire*

Requerimientos Aproximados De Agua De Mezclado Y De Contenido De Aire Para Diferentes Valores De Asentamiento Y Tamaños Máximos Nominales De Agregados.\* (Tabla 6.3.3 ACI 211 – 91 - Pag 14)

SLUMP	Agua en lt/m <sup>3</sup> de concreto para los <b>tamaños máximos nominales de agregados gruesos</b> y consistencia indicados							
	3/8" (9.5 mm.)	1/2" (12.5 mm.)	3/4" (19 mm)	1" (25 mm)	1 1/2" (37.5 mm)	2" (50 mm)	3" (75 mm)	6" (150 mm)
<b>CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO</b>								
1" a 2" (25 a 50 mm)	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4" (75 a 100 mm)	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7" (150 a 175 mm)	243	228	216	202	190	178	160	---
<b>Porcentaje (%) de Aire Atrapado</b>								
<b>% Aire Atrapado</b>	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
<b>CONCRETOS CON AIRE INCORPORADO</b>								
1" a 2" (25 a 50 mm)	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4" (75 a 100 mm)	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7" (150 a 175 mm)	216	205	197	184	174	166	154	---
<b>Porcentaje (%) de Aire Incorporado según el grado de exposición (Congelamiento) **</b>								
Exposición Leve	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición Moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición Severa	7.5	7.0	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

*Nota.* Adaptado. Fuente: (Comité 211 del ACI)

5) Elección de la relación agua/cemento

Existen dos criterios por resistencia y durabilidad en la tabla del Comité 211 del ACI de acuerdo con nuestra resistencia  $f'_{cr}$  a 28 días y concreto sin aire incorporado, tabulando entre los valores que se encuentra nuestra resistencia requerida ( $f'_{cr}$ ) tenemos  $A/C = 0.507$ . Por pruebas y ajustes de diseño se optó por trabajar con relación  $a/c=0.58$ .

**Tabla 19**

*Estimación del Agua de Mezclado y Contenido de Aire*

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS ( $f'_{cr}$ )(kg/cm <sup>2</sup> )	RELACION AGUA/CEMENTO DE DISEÑO EN PESO	
	CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO	CONCRETO CON AIRE INCORPORADO
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.7	0.61
150	0.8	0.71

*Nota.* Adaptado. Fuente: (Comité 211 del ACI)

6) Cálculo de contenido de cemento

Una vez verificado la cantidad de agua y la relación  $A/C$  la cantidad de cemento se halla despejando cemento de la siguiente fórmula:

$$\text{Contenido de cemento } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) = \frac{\text{Contenido de agua de mezclado (lts/m}^3\text{)}}{\text{Relación a/c (para } f'_{cr}\text{)}}$$

$$\text{Cemento} = \frac{216}{0.509} = 424 \text{ Kg}$$

$$F.\text{Cemento} = \frac{424}{42.5} = 9.97 \text{ sacos /m}^3$$

7) Cálculo de volúmenes absolutos de Cemento, agua y aire

Para esto usaremos las siguientes formulas:

$$\text{Volumen del Cemento (m}^3\text{)} = \frac{\text{Contenido de cemento (kg/m}^3\text{)}}{\text{Peso especifico del cemento}} \times 1000$$



$$\text{Volumen del cemento} = \frac{424}{2800} \times 1000 = 0.1514 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del agua} = \frac{\text{Contenido de agua (kg)}}{1000}$$

$$\text{Volumen del agua} = \frac{216}{1000} = 0.216 \text{ m}^3$$

El volumen del aire que hemos considerado anteriormente es de 2.5%.

Sumamos los volúmenes absolutos, la diferencia sería el volumen absoluto de agregado fino y grueso.

$$\text{Volumen del Cemento} = 0.1514 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del Cemento} = 0.216 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del aire} = 0.025 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de la pasta} = 0.3924 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Agregado Global} = 1 - 0.3924 \text{ m}^3 = 0.6076 \text{ m}^3$$

8) Estimación del módulo de fineza de la combinación de agregados

- Método del módulo de fineza de fineza de la combinación de agregados

Para realizarlo se hizo con la Tabla 20.

**Tabla 20**

*Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados*

<b>Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso</b>		<b>Módulo de fineza de la combinación de agregados que da las mejores condiciones de trabajabilidad para contenidos de cemento en sacos/metro cúbico indicados.</b>				
mm.	Pulg.	5	6	7	8	9
10	3/8	3.88	3.96	4.04	4.11	4.19
12.5	1/2	4.38	4.46	4.54	4.61	4.69
20	3/4	4.88	4.96	5.04	5.11	5.19
25	1	5.18	5.26	5.34	5.41	5.49
40	1 ½	5.48	5.56	5.64	5.71	5.79
50	2	5.78	5.86	5.94	6.01	6.09
70	3	6.08	6.16	6.24	6.31	6.39

*Nota.* \* Los valores de la Tabla están referidos a agregados grueso de perfil angular y adecuadamente graduado, con un contenido de vacíos del orden del 35%. Los valores indicados deben incrementarse o disminuirse en 0.1 por cada 5% de disminución o incremento en el porcentaje de vacíos. \*\* Los valores de la Tabla pueden dar mezclas ligeramente sobre arenosas para pavimentos o estructuras ciclópeas. Para condiciones de colocación favorables pueden ser incrementadas en 0.2. Adaptado. Fuente: (Norma ASTM C33)

Cálculo del módulo de fineza de la combinación de agregados.

Teniendo los datos de los agregados siguientes:

*Agregado fino:*

*Peso específico = 2660 kg/m<sup>3</sup>*

*Absorción = 1.52 %*

*Módulo de fineza = 3.28*

*Agregado grueso:*

*Peso específico = 2673 kg/m<sup>3</sup>*

*Absorción = 1.32 %*

*Módulo de fineza = 6.27*

Se hará con la tabla que esta respecto al tamaño máximo nominal del agregado grueso y la cantidad de bolsas de cemento por metro cubico.

Factor cemento 9.97 y tamaño máximo nominal de ½"

9.97      x

9      4.69

8      4.61

$m_c = 4.77$

- Estimación del volumen del agregado fino

Conociendo el valor de módulo de fineza de la combinación de agregados podemos determinar el porcentaje del agregado fino en relación al volumen absoluto total del agregado con la siguiente ecuación.

$$r_f = \frac{m_g - m_c}{m_g - m_f} \times 100$$

$r_s$  : Porcentaje del agregado fino respecto al volumen del total de agregados

$$r_f = \frac{6.27 - 4.77}{6.27 - 3.28} \times 100$$

$$r_f = 50.16 \%$$

- Cálculo de volúmenes absolutos del agregado

$$\text{Vol. total de agregados} = 1 - (\text{Vol. agua} + \text{Vol. aire} + \text{Vol. cemento})$$

$$\text{Vol. agregado fino (m}^3\text{)} = \frac{r_f}{100} \times (\text{Vol. total de agregados})$$

$$\text{Vol. agregado grueso (m}^3\text{)} = \text{Vol. total de agregados} - \text{Vol. agregado fino}$$

$$\text{Volumen total de Agregados} = 1 - 0.3924 \text{ m}^3 = 0.6076 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Agregado fino (m}^3\text{)} = \frac{50.16}{100} \times 0.6076 \text{ m}^3 = 0.3048 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Agregado grueso (m}^3\text{)} = 0.6076 - 0.3048 \text{ m}^3 = 0.3028 \text{ m}^3$$

- 9) Determinación de los pesos secos de los agregados

$$\text{Peso agregado fino (kg / m}^3\text{)} = (\text{Vol. agregado fino}) (\text{Peso específico del agregado fino})$$

$$\text{Peso agregado grueso (kg / m}^3\text{)} = (\text{Vol. agregado grueso}) (\text{Peso específico del ag. grueso})$$

$$\text{Peso de agregado fino (kg/m}^3\text{)} = (0.3048) (2660 \text{ kg/m}^3) = 810.8 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso de agregado grueso (kg/m}^3\text{)} = (0.3028) (2673 \text{ kg/m}^3) = 809.4 \text{ kg/m}^3$$

- 10) Valores del diseño

**Tabla 21**

Valores Obtenidos para Diseño

<b>Materiales</b>	<b>Pesos (Kg)</b>	<b>Volúmenes (m<sup>3</sup>)</b>
Cemento	424	0.1514
Agua de diseño	216	0.216
Agregado fino seco	810.8	0.3048
Agregado grueso seco	809.4	0.3028
Aire	-	0.025

Cabe señalar que dichos pesos son del diseño teórico que aplicamos, se hicieron pruebas con el diseño teórico los cuales tuvieron una resistencia muy elevada para la resistencia que buscábamos como control, también se pudo apreciar que la mezcla salió seca y hacia falta de poco más de agregado fino por su textura de la mezcla.

Se realizó la variación de la relación de a/c los cuales fueron 0.53, 0.55, 0.58 y subiendo el porcentaje de agregado fino a 55%.

De estos tres diseños el que mejor se comportaba y llegaba a la resistencia requerida era la 0.58 variando la cantidad de agua a 246 Litros, la cual tomamos como diseño patrón.

Todos los diseños se hicieron la corrección de peso por humedad del agregado con los pasos 11 y 12 que detallamos a continuación.

11) Corrección por humedad del agregado

$$\begin{array}{l} \text{Agregado Grueso} \\ \text{Agregado Fino} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} \text{Humedad} = \%W_g \\ \% \text{ absorcion} = \%a_g \\ \text{Humedad} = \%W_f \\ \% \text{ absorcion} = \%a_f \end{array} \right.$$

Pesos de agregado húmedos:

$$\text{Peso A. grueso humedo (kg)} = (\text{Peso A. grueso seco}) \cdot \left(1 + \frac{\%W_g}{100}\right)$$

$$\text{Peso A. fino humedo (kg)} = (\text{Peso A. fino seco}) \cdot \left(1 + \frac{\%W_f}{100}\right)$$

12) Cálculos de agua efectiva:

$$\text{Agua en agregado grueso} = (\text{Peso A. grueso seco}) \cdot \left(\frac{\%W_g - \%a_g}{100}\right) = X$$

$$\text{Agua en agregado fino} = (\text{Peso A. fino seco}) \cdot \left(\frac{\%W_f - \%a_f}{100}\right) = Y$$

$$\text{Agua efectiva (Lts)} = \text{Agua de diseño} - (X + Y)$$



Los diseños finales y sus proporciones se encuentran en el capítulo V de la presente tesis con las correcciones de acuerdo con la humedad y los volúmenes variados en reemplazo de agregado fino y grueso también adicionando  $TiO_2$  como material cementante.

#### **4.13. Diseño de Mezclas del Concreto con EHE y $TiO_2$**

Para realizar el diseño de mezcla del concreto EHE –  $TiO_2$  se usa el mismo procedimiento antes descrito con el adicionante de la escoria de hornos eléctricos (fino y grueso) y además del  $TiO_2$ .

Los códigos de los diseños son los siguientes y las proporciones de cada diseño esta descrito en Anexos.

- EHE 25% con  $TiO_2$  al 5%
- EHE 25% con  $TiO_2$  al 7.5%
- EHE 25% con  $TiO_2$  al 10%
- EHE 50% con  $TiO_2$  al 5%
- EHE 50% con  $TiO_2$  al 7.5%
- EHE 50% con  $TiO_2$  al 10%
- EHE 75% con  $TiO_2$  al 5%
- EHE 75% con  $TiO_2$  al 7.5%
- EHE 75% con  $TiO_2$  al 10%

#### **4.14. Elaboración del Concreto**

Para la elaboración de la mezcla de nuestro concreto se llevaron a cabo pruebas para determinar la mejor manera de mezcla de los componentes en el tambor de la mezcladora. La cantidad de proporciones que corresponde a cada material fue especificada anteriormente en el apartado 4.13.



#### 4.14.1. Procedimiento de fabricación

Para el procedimiento de elaboración de la mezcla del concreto, una vez ya pesados todas las proporciones determinadas de nuestros materiales, como se ve en la figura, determino un procedimiento el cual fue el más óptimo para poder conseguir una mejor consistencia del concreto, así como una mejor resistencia. Al momento del pesado se unificaron los agregados finos de San Salvador y el agregado fino de EHE que fue preparado en un mismo recipiente mismo procedimiento se realizó con el agregado grueso de San Salvador y el agregado grueso de EHE.

El procedimiento de fabricación de la mezcla de concreto en el trompo es el siguiente:

- 1) En el trompo comenzamos a mezclar la pasta (el cemento con una cantidad del total del agua).
- 2) Una vez se vea que estén reaccionando esos componentes comenzamos a colocar los áridos (agregado fino de San Salvador y EHE) en la pasta en el trompo. De acuerdo como el agregado fino va absorbiendo el agua se va secando la mezcla, es necesario aumentar una cantidad de agua.
- 3) Teniendo 7min la mezcla se agrega todo el agregado grueso además de la cantidad faltante de agua.
- 4) Al final en la mezcla colocamos el Dióxido de Titanio ( $TiO_2$ ) esperando 3 min en el trompo para finalizar con la mezcla y hacemos recepción del concreto en una carretilla para comenzar con los ensayos en concreto en estado fresco que corresponde.

**Figura 48**

*Pesado de Materiales para Elaboración de Concreto*



**Figura 49**

*Recepción de Mezcla de Concreto*



#### 4.14.2. Fabricación de probetas de concreto

La fabricación de las probetas de concreto el procedimiento será realizado según la norma MTC E 702 en moldes cilíndricos de plástico de 4 pulgadas de diámetro y 8 pulgadas de altura.

Una vez recepcionado el concreto en la carretilla se procede a hacer la medición de temperatura del mismo y ambiental, además de las otras pruebas de concreto en estado fresco. Posteriormente el concreto será colocado en los moldes de plástico debidamente engrasados, el concreto es colocado en 2 capas de la misma altura aproximadamente proporcionadas a la altura total. En cada capa se compactará con una varilla e 3/8” de diámetro y 600mm (24”) de longitud y se realizarán 12 golpes por capa.

Finalmente se realizará un acabado en las caras de todas las probetas y se colocará una etiqueta con papel encima de ellas (figura 50). Las probetas ya terminadas son colocadas en cajas herméticamente cerradas, para evitar inconvenientes externos como clima y temperatura.

Después de 24 horas los especímenes serán desmoldados y debidamente codificados con un plumón indeleble con las iniciales del tipo de concreto (CC o %CEHE-%TiO<sub>2</sub>) y la fecha de vaciado (Figura 52).

#### Figura 50

*Procedimiento de golpes con comba de goma en los especímenes*



**Figura 51**

*Colocado de etiquetas y especímenes en caja hermética.*



**Figura 52**

*Desmoldado y codificación de probetas de concreto*



#### 4.14.3. Fabricación de Prismas de concreto

Para la elaboración de los prismas de concreto se realizó de la misma forma que en las probetas de concreto, usando moldes hechos de madera con medidas 1.5 cm x 1.5cm x 10cm, en la elaboración de estos prismas se tuvo el debido cuidado por el tamaño de estos (figura 53). El desmoldado y codificado igualmente se llevó a cabo a las 24 horas de fabricados los mismos (figura 54).

**Figura 53**

*Elaboración de prisas de concreto*



**Figura 54**

*Desmoldado y codificado de prisas de concreto*



#### 4.14.4. Curado de concreto

Según la norma MTC E 702 el ambiente de curado debe mantenerse en condiciones de humedad con temperatura de  $23,0^{\circ} \pm 2,0^{\circ}\text{C}$ . Los especímenes de concreto fueron colocados en pozos de curado cumpliendo debidamente las condiciones que indica la norma sobre la temperatura. Estos especímenes son colocados una vez desmoldados y debidamente codificados los cuales se mantendrán hasta llegado el momento de su rotura.

#### Figura 55

*Colocación de probetas en pozo de curación*



#### 4.15. Ensayos en concreto Fresco

Los ensayos que se llevaron a cabo del concreto en estado fresco fueron:

##### 4.15.1. Ensayos de Asentamiento del Concreto (SLUMP)

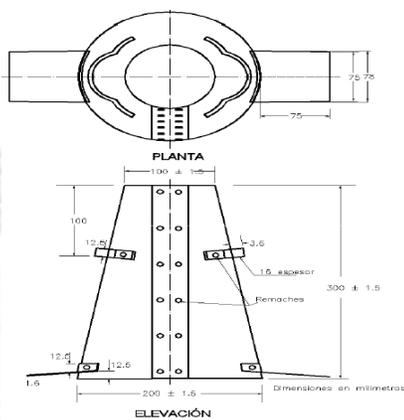
Según la norma MTC E 705 con este ensayo en concreto fresco se determinará el asentamiento elaborado en la investigación de acuerdo con cada vaciado. La prueba para determinar la consistencia es también llamada el Ensayo del Cono de Abrams.

El procedimiento es como se presenta a continuación según la norma MTC E 705: Haciendo uso del Cono de Abrams como, en la figura 56, como molde para colocar el concreto en 3 capas de un tercio del volumen total del cono. Haciendo uso de una varilla compactadora de hierro liso de 16mm (5/8”) de diámetro se darán 25 golpes compactando todo el concreto dentro del cono. En cada capa se darán dichos golpes como se ve en la figura 57.

Al ser levantado el cono se notará cuanto se ha desmoronado desde la punta del cono hasta la capa de concreto. La prueba de SLUMP debe comenzar dentro de los 5 minutos posteriores al muestreo.

**Figura 56**

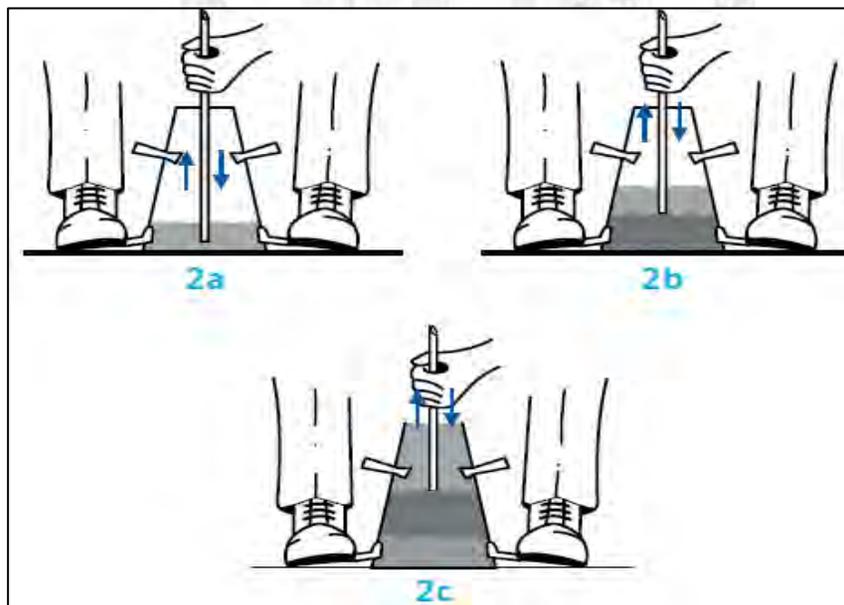
*Medidas del Cono de Abrams*



*Nota.* Adaptado. Fuente: (MTC E 705 )

**Figura 57**

*Etapas de elaboración de la prueba de Cono de Abrams*



*Nota.* Construyendo (Aceros Arequipa, 2016)

**Figura 58**

*Determinación de Asentamiento del concreto*



#### **4.15.2. Contenido de Aire en Concreto Fresco**

Según la norma MTC E 706 este procedimiento para ensayo de concretos frescos nos permitirá obtener la cantidad de aire o vacíos. Este ensayo excluye la cantidad de vacíos dentro de las partículas de los agregados.

Para realizar esta prueba se toma una muestra de concreto en estado fresco a un recipiente llamado olla Washington la cual nos servirá para dar el tratamiento al concreto. Se coloca de igual forma dentro de la olla Washington en 3 capas las cuales se varillarán y se darán golpes con un combo de goma.

**Figura 59**

*Prueba de contenidos de Aire de Vacíos*



#### 4.16. Ensayos en concreto en estado Endurecido

##### 4.16.1. Resistencia a la Compresión

Según la norma MTC E 704 consiste en aplicar carga axial a compresión en las probetas cilíndricas elaboradas en esta investigación.

Para dicho ensayo de compresión las probetas fueron retiradas del pozo de curación en los intervalos de tiempo ya descritos anteriormente (7, 14 y 28 días), todas las probetas fueron debidamente medidas sus áreas superficiales y colocadas en la prensa hidráulica hasta llegar a su rotura.

#### Figura 60

*Prueba de Compresión en probetas de concreto*



##### 4.16.2. Ensayo de Prueba fotocatalítica (Absorción de $\text{NO}_x$ )

###### I) PROCESO DE PREPARACION PARA ENSAYOS

En este ensayo de la prueba fotocatalítica de Absorción de  $\text{NO}_x$  se usaron los prismas de concreto elaborados, estos prismas han sido ensayados a los 28 días de su elaboración.

Para la realización de esta prueba se utilizó el método experimental explicado en el apartado 4.9.3. donde observamos como es el flujo para la realización de esta prueba. El procedimiento correspondiente para esta prueba es el siguiente:

Al realizar la curva patrón el cual nos serviría para medir nuestras muestras, para tener nuestra curva patrón se realizó lo siguiente:

- 1) Se preparó una solución de  $\text{NaNO}_2$  a una concentración de 1000ppm.

Se tiene que el Peso molecular de  $\text{NaNO}_2$  es 69 gr/mol y de  $\text{NO}_2$  es 46 gr/mol

$$\begin{array}{ccc} 46\text{gr/mol} & \text{-----} & 69\text{gr/mol} \\ 1000 & \text{-----} & x \\ & X= 1500 \text{ meq} & \\ 1.5 \text{ gr} & \text{-----} & 1 \text{ Litro} \\ 0.15\text{gr NaNO}_2 & \text{-----} & 100\text{ml} \end{array}$$

- 2) Se preparo diluciones a las siguientes concentraciones de 50 ml C/U 1 ppm, 3ppm, 5ppm, 8ppm y 10 ppm las cuales se obtuvieron de la siguiente manera:

**Figura 61**

*Cantidades medidas en concentración de  $\text{NO}_x$*



- 3) Las disoluciones se realizaron de la siguiente manera:

$$(X)(10\text{ppm}) = (50\text{ml})(1\text{ppm})$$

$$X = 5\text{ml}$$

$$(X)(100\text{ppm}) = (50\text{ml})(5\text{ppm})$$

$$X = 2.5\text{ml}$$

$$(X)(100\text{ppm}) = (50\text{ml})(10\text{ppm})$$

$$X = 5\text{ml}$$

$$(X)(100\text{ppm}) = (50\text{ml})(3\text{ppm})$$

$$X = 1.5 \text{ ml}$$

$$(X)(100\text{ppm}) = (50\text{ml})(8\text{ppm})$$

$$X = 4 \text{ ml}$$

$$V_1 N_1 = V_2 N_2$$

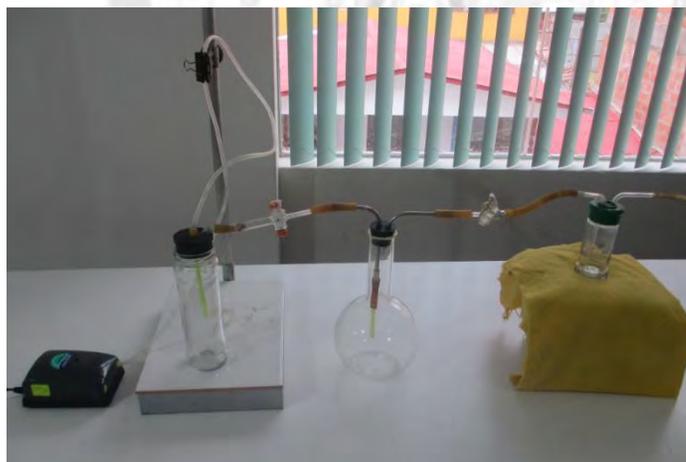
- 4) A dichas disoluciones fueron sometidas a los siguientes procedimientos:
  - Se tomó 5ml de solución de las disoluciones antes realizadas.
  - Se añadió 3ml de NO<sub>x</sub> (reactivo líquido).
  - Se añadió 0.05gr de Sulfanilamida (reactivo en polvo).
  - Se esperó 3 días hasta que la reacción sea estable
- 5) Después de los 3 días dichas muestras patrón se midieron en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 550 nm. Midiendo la Transmitancia.

## II) ENSAYOS DE FOTOCATALISIS

Al tener preparadas las soluciones y la curva patrón se dio inicio a los procesos de fotocátalisis en los prismas de concreto de la siguiente manera (en figura 34 se observa el Esquema del Proceso de Fotocátalisis).

### Figura 62

*Esquema principal para flujo de proceso fotocatalítico*



- 1) Se colocaron los prismas de concreto dentro de la fiola, además que se colocaron los compuestos químicos dentro de vaso de precipitación, para poder empezar a generar la reacción y generación de NO<sub>x</sub>.

**Figura 63**

*Colocación de prismas de concreto dentro de la fiola*



- 2) Se comenzó a generar un flujo constante con el motor eléctrico el cual transporta la reacción química de  $\text{NO}_x$  pasando por el reactor (donde están los prismas dentro de la fiola), llegando hasta el vaso de precipitación (contienen agua destilada) durante 1min.

**Figura 64**

*Inicio de flujo para el proceso fotocatalítico*



- 3) Al concluir este tiempo se cierra el flujo con las válvulas y se mide la cantidad de  $\text{NO}_x$  tomando una muestra, del vaso de precipitación, al final del esquema. Se procede la medición de los ingresos leyendo en el fotograma los cuales serán nuestros datos de entrada

Para todos los diseños se consideró  $5.44\text{mg}/\text{m}^3$  como datos de entrada.

- 4) Se lleva la fiola y los primas de concreto dentro del reactor (figura 33) en el cual se comenzará a irradiar rayos UV alrededor de un tiempo de 30min para que comience el proceso de fotocatalisis y reducción del  $\text{NO}_x$ .

### Figura 65

*Colocación de prismas reactor con rayos UV*



- 5) Al concluir el tiempo dentro del reactor con los rayos UV llevamos los prismas a pasar nuevamente por el flujo constante y poder tener las mediciones de salida para poder obtener las reducciones de  $\text{NO}_x$
- 6) Finalmente, para saber cuánto ha sido lo que ha reducido el  $\text{NO}_x$  se coloca las muestras tomadas en tubos de ensayo para que se lean en un Electrofotómetro.

**Figura 66**

*Se toma las muestras dentro de tubos de ensayos*



**Figura 67**

*Se realiza las mediciones de las muestras en el electrofotómetro*



Las medidas que se obtuvieron son los indicativos de reducción de NOx

En el Diseño CEHE 25 – TiO<sub>2</sub> 5 obtuvimos

Dato de entrada 5.44 (mg/m<sup>3</sup>)

Dato de salida 4.12 (mg/m<sup>3</sup>)

Teniendo una reducción:



*Dato de entrada – Dato de salida = Reduccion*

$$5.44\text{mg}/\text{m}^3 - 4.12\text{mg}/\text{m}^3 = \text{Reduccion}$$

$$1.32 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} = \text{Reduccion}$$

Calculando en porcentajes el diseño CEHE 25 – TiO<sub>2</sub> 5 tuvo una reducción del 24%.

Todo este procedimiento ha sido repetitivo para todas las muestras de los 9 diseños elaborados.



## CAPÍTULO V. RESULTADOS

### 5.1. Presentación de los Resultados

#### 5.1.1. Diseño de Mezcla

Como se indicó en el Capítulo IV el método de diseño que se empleó fue Método de Combinación de agregados.

##### 1) Comparación Diseño CC – EHE 25%

Las proporciones de los diferentes materiales de los diseños para EHE 25% son los siguientes:

**Tabla 22**

*Comparación de Cantidades del diseño de CC con EHE 25%*

Componente	CC	EHE25%		
		CEHE 25% TiO <sub>2</sub> 5%	CEHE 25% TiO <sub>2</sub> 7.5%	CEHE 25% TiO <sub>2</sub> 10%
Cemento Tipo IP (m3)	0.1514m3	0.1439	0.1401	0.1363
TiO <sub>2</sub> (m3)	0.0000m3	0.0052	0.0078	0.0103
Agua (m3)	0.2459m3	0.2459	0.2459	0.2459
Arena Gruesa (m3)	0.3287m3	0.2475	0.2480	0.2485
EHE FINO (m3)	0.0000m3	0.0825	0.0827	0.0828
EHE GRUESO (m3)	0.0000m3	0.0675	0.0676	0.0678
Piedra (m3)	0.2689m3	0.2025	0.2029	0.2033
%Aire Atrapado	0.0250m3	0.0250	0.0250	0.0250
<b>Total</b>	<b>1.020m3</b>	<b>1.020m3</b>	<b>1.020m3</b>	<b>1.020m3</b>

Se considera en cada diseño un desperdicio del 2%.

2) Comparación Diseño CC – EHE 50%

Las proporciones de los diferentes materiales de estos diseños son los siguientes:

**Tabla 23**

*Comparación de Cantidades del diseño de CC con EHE 50%*

Componente	CC	EHE50%		
		CEHE 50% TiO2 5%	CEHE 50% TiO2 7.5%	CEHE 50% TiO2 10%
Cemento Tipo IP (m3)	0.1514m3	0.144m3	0.140m3	0.136m3
TiO2 (m3)	0.0000m3	0.005m3	0.008m3	0.010m3
Agua (m3)	0.2459m3	0.246m3	0.246m3	0.246m3
Arena Gruesa (m3)	0.3287m3	0.165m3	0.165m3	0.166m3
EHE FINO (m3)	0.0000m3	0.165m3	0.165m3	0.166m3
EHE GRUESO (m3)	0.0000m3	0.135m3	0.135m3	0.136m3
Piedra (m3)	0.2689m3	0.135m3	0.135m3	0.136m3
%Aire Atrapado	0.0250m3	0.025m3	0.025m3	0.025m3
<b>Total</b>	<b>1.020m3</b>	<b>1.020m3</b>	<b>1.020m3</b>	<b>1.020m3</b>

Se considera en cada diseño un desperdicio del 2%.

### 3) Comparación Diseño CC – EHE 75%

Las proporciones de los diferentes materiales de estos diseños son los siguientes:

**Tabla 24**

*Comparación de Cantidades del diseño de CC con EHE 75%*

Componente	CC	EHE75%		
		CEHE 75% TiO2 5%	CEHE 75% TiO2 7.5%	CEHE 75% TiO2 10%
Cemento Tipo IP (m3)	0.1514m3	0.144m3	0.140m3	0.136m3
TiO2 (m3)	0.0000m3	0.005m3	0.008m3	0.010m3
Agua (m3)	0.2459m3	0.246m3	0.246m3	0.246m3
Arena Gruesa (m3)	0.3287m3	0.083m3	0.083m3	0.083m3
EHE FINO (m3)	0.0000m3	0.248m3	0.248m3	0.249m3
EHE GRUESO (m3)	0.0000m3	0.203m3	0.203m3	0.203m3
Piedra (m3)	0.2689m3	0.068m3	0.068m3	0.068m3
%Aire Atrapado	0.0250m3	0.025m3	0.025m3	0.025m3
<b>Total</b>	<b>1.020m3</b>	<b>1.020m3</b>	<b>1.020m3</b>	<b>1.020m3</b>

Se considera en cada diseño un desperdicio del 2%.

#### 5.1.2. Determinación de la Resistencia a Compresión

Los ensayos de Compresión de los cilindros de concreto fueron realizados después de su curado a los 7 días (3 especímenes), 14 (3 especímenes) y 28 días (15 especímenes). Los resultados por diseño para cada periodo de evaluación es el siguiente.

##### 1) Resistencia a la compresión de CC

La resistencia a la compresión de este diseño de mezcla es la siguiente:

**Tabla 25**

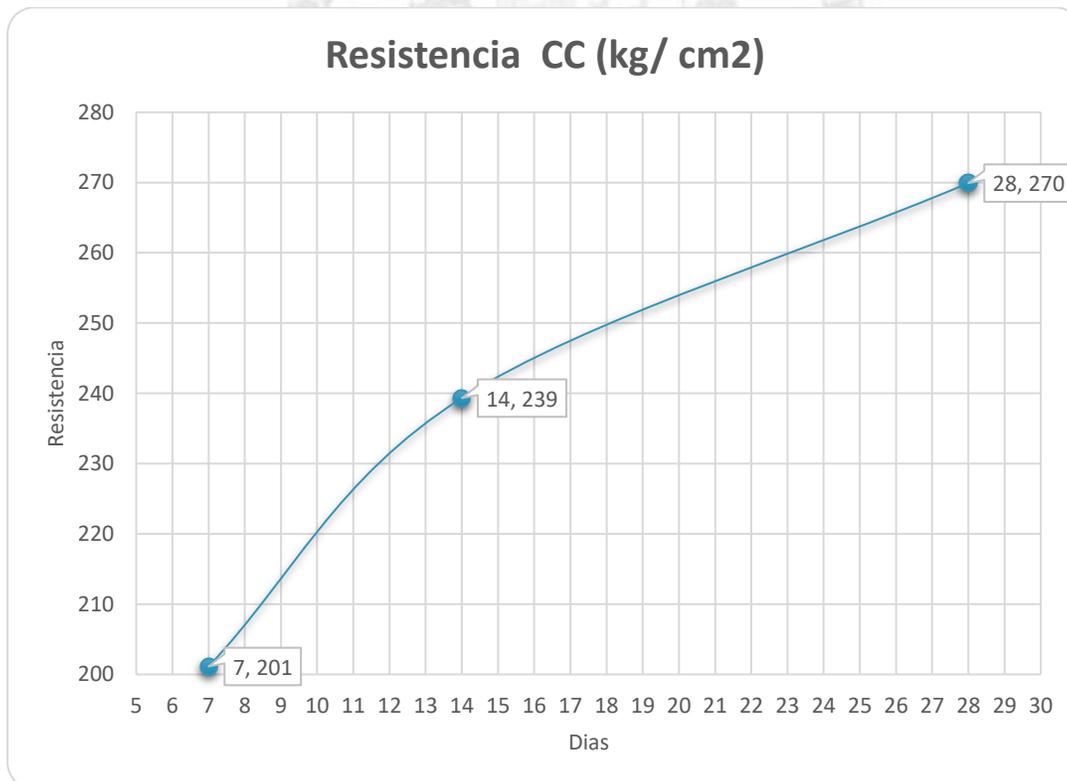
*Resistencia a la compresión promedio CC*

Edad (días)	Carga Promedio (kg)	Resistencia (kg/ cm <sup>2</sup> )	%f <sub>c</sub>
7	16474	201	82%
14	19603	239	98%
28	22128	270	110%

La evolución de crecimiento del concreto es como se ve en el siguiente gráfico:

**Figura 68**

*Resistencia a la compresión promedio CC*



2) Resistencia a la compresión de EHE 25% – TiO<sub>2</sub> 5%

La resistencia a la compresión de este diseño de mezcla es la siguiente:

**Tabla 26**

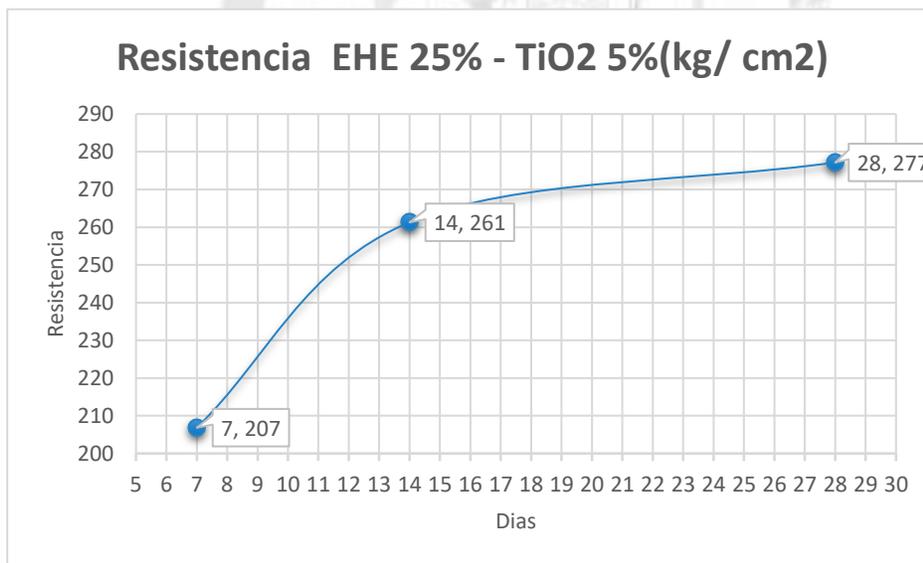
*Resistencia a la compresión promedio EHE 25% – TiO<sub>2</sub> 5%*

Edad (días)	Carga Promedio (kg)	Resistencia (kg/ cm <sup>2</sup> )	%f'c
7	16942	207	84%
14	21402	261	107%
28	22722	277	113%

La evolución de crecimiento del concreto es como se ve en el siguiente gráfico:

**Figura 69**

*Resistencia a la compresión promedio EHE 25% – TiO<sub>2</sub> 5%*



3) Resistencia a la compresión de EHE 25% – TiO<sub>2</sub> 7.5%

La resistencia a la compresión de este diseño de mezcla es la siguiente:

**Tabla 27**

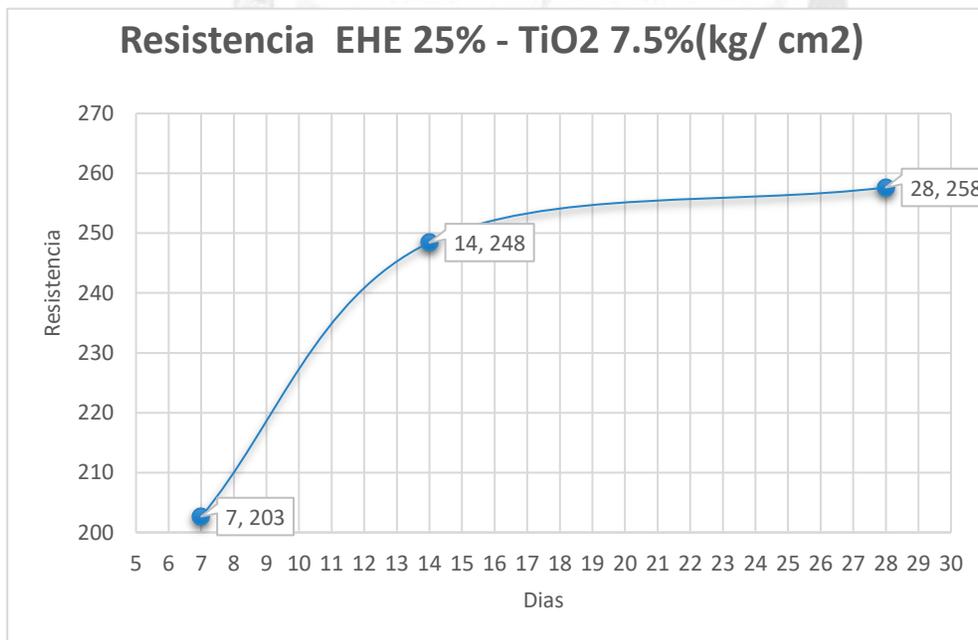
*Resistencia a la compresión promedio EHE 25% – TiO<sub>2</sub> 7.5%*

Edad (días)	Carga Promedio (kg)	Resistencia (kg/ cm <sup>2</sup> )	%f <sub>c</sub>
7	16600	203	83%
14	20349	248	101%
28	21121	258	105%

La evolución de crecimiento del concreto es como se ve en el siguiente gráfico:

**Figura 70**

*Evolución de la Resistencia EHE 25% - TiO<sub>2</sub> 7.5%*



4) Resistencia a la compresión de EHE 25% – TiO<sub>2</sub> 10%

La resistencia a la compresión de este diseño de mezcla es la siguiente:

**Tabla 28**

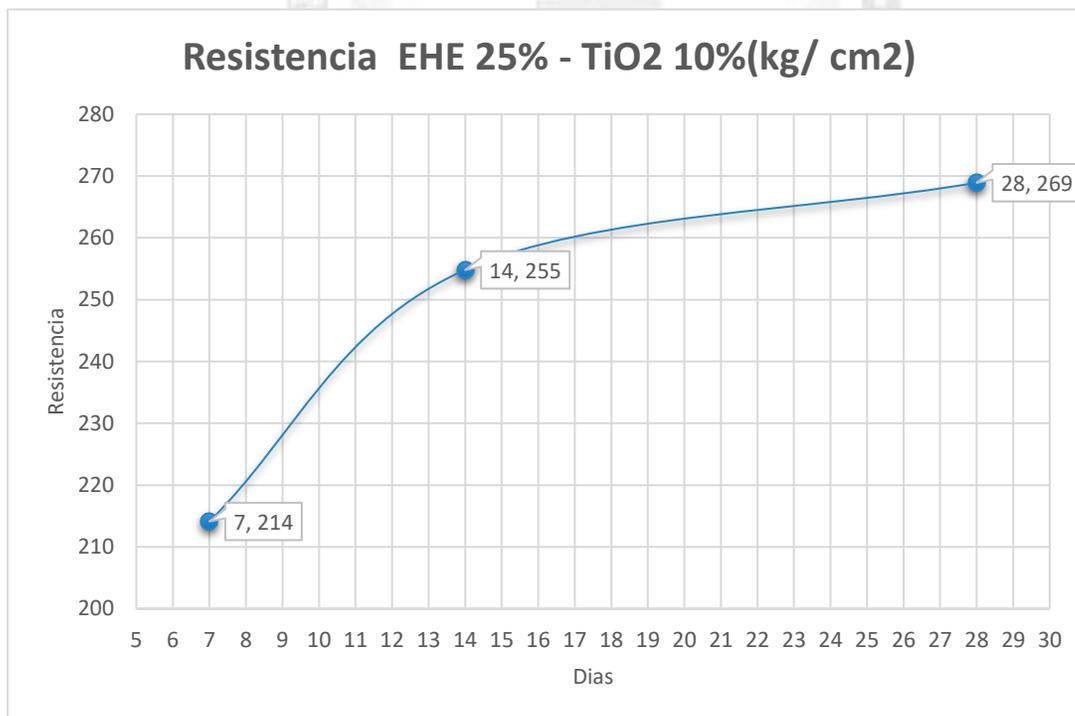
*Resistencia a la compresión promedio EHE 25% – TiO<sub>2</sub> 10%*

Edad (días)	Carga Promedio (kg)	Resistencia (kg/ cm <sup>2</sup> )	%f'c
7	17539	214	87%
14	20871	255	104%
28	22046	269	110%

La evolución de crecimiento del concreto es como se ve en el siguiente gráfico:

**Figura 71**

*Evolución de la Resistencia EHE 25% - TiO<sub>2</sub> 10%*



5) Resistencia a la compresión de EHE 50% – TiO<sub>2</sub> 5%

La resistencia a la compresión de este diseño de mezcla es la siguiente:

**Tabla 29**

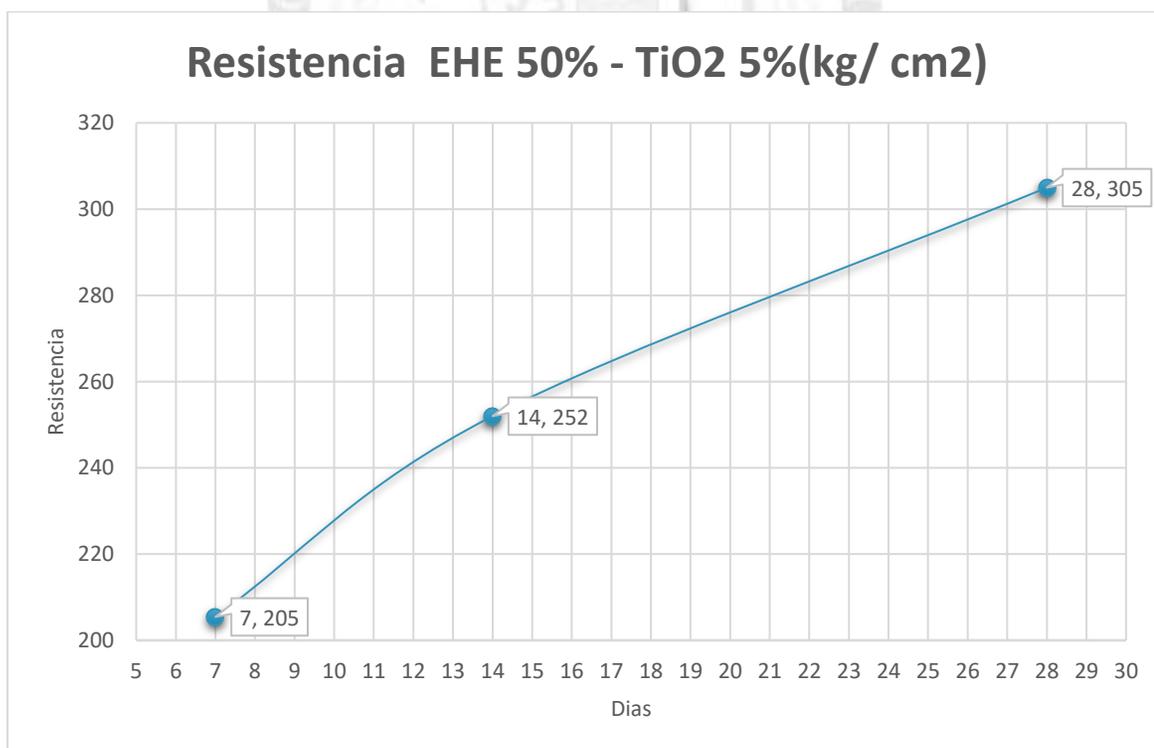
*Resistencia a la compresión promedio EHE 50% – TiO<sub>2</sub> 5%*

Edad (días)	Carga Promedio (kg)	Resistencia (kg/ cm <sup>2</sup> )	%f'c
7	16827	205	84%
14	19709	252	103%
28	25003	305	124%

La evolución de crecimiento del concreto es como se ve en el siguiente gráfico:

**Figura 72**

*Evolución de la Resistencia EHE 50% - TiO<sub>2</sub> 5%*



6) Resistencia a la compresión de EHE 50% – TiO<sub>2</sub> 7.5%

La resistencia a la compresión de este diseño de mezcla es la siguiente:

**Tabla 30**

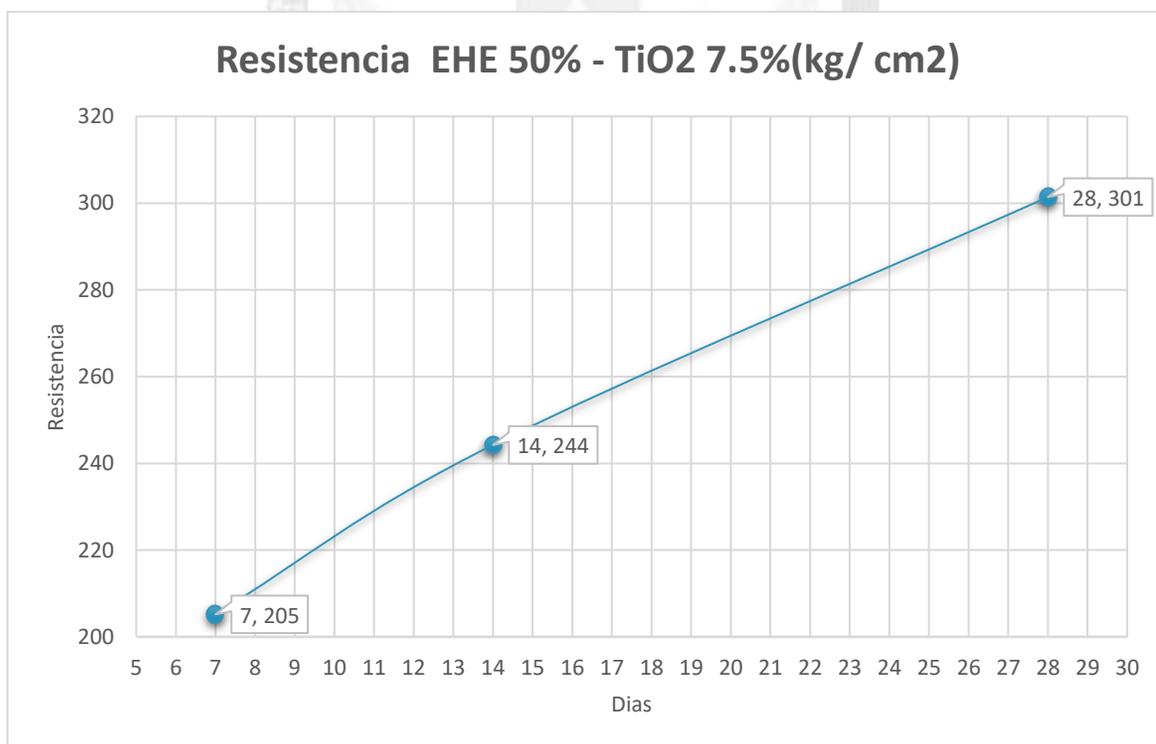
*Resistencia a la compresión promedio EHE 50% – TiO<sub>2</sub> 7.5%*

Edad (días)	Carga Promedio (kg)	Resistencia (kg/ cm <sup>2</sup> )	%f'c
7	16807	205	84%
14	20007	244	100%
28	24710	301	123%

La evolución de crecimiento del concreto es como se ve en el siguiente gráfico:

**Figura 73**

*Evolución de la Resistencia EHE 50% - TiO<sub>2</sub> 7.5%*



7) Resistencia a la compresión de EHE 50% – TiO<sub>2</sub> 10%

La resistencia a la compresión de este diseño de mezcla es la siguiente:

**Tabla 31**

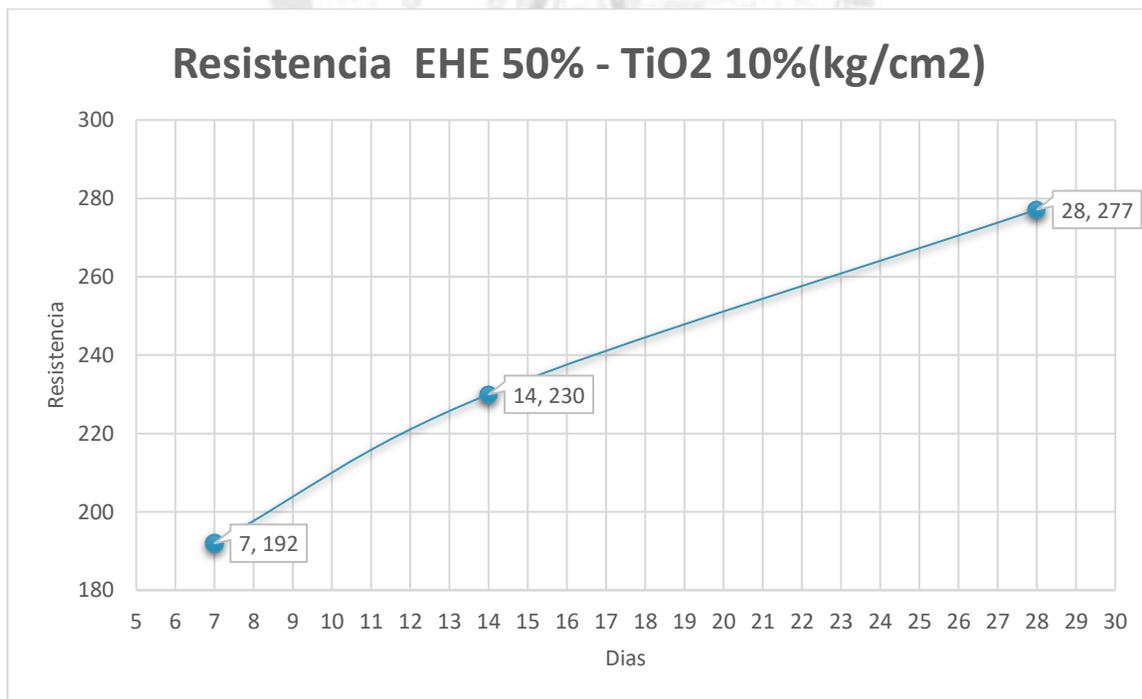
*Resistencia a la compresión promedio EHE 50% – TiO<sub>2</sub> 10%*

Edad (días)	Carga Promedio (kg)	Resistencia (kg/ cm <sup>2</sup> )	%f'c
7	15726	192	78%
14	18838	230	94%
28	22721	277	113%

La evolución de crecimiento del concreto es como se ve en el siguiente gráfico:

**Figura 74**

*Evolución de la Resistencia EHE 50% - TiO<sub>2</sub> 10%*



8) Resistencia a la compresión de EHE 75% – TiO<sub>2</sub> 5%

La resistencia a la compresión de este diseño de mezcla es la siguiente:

**Tabla 32**

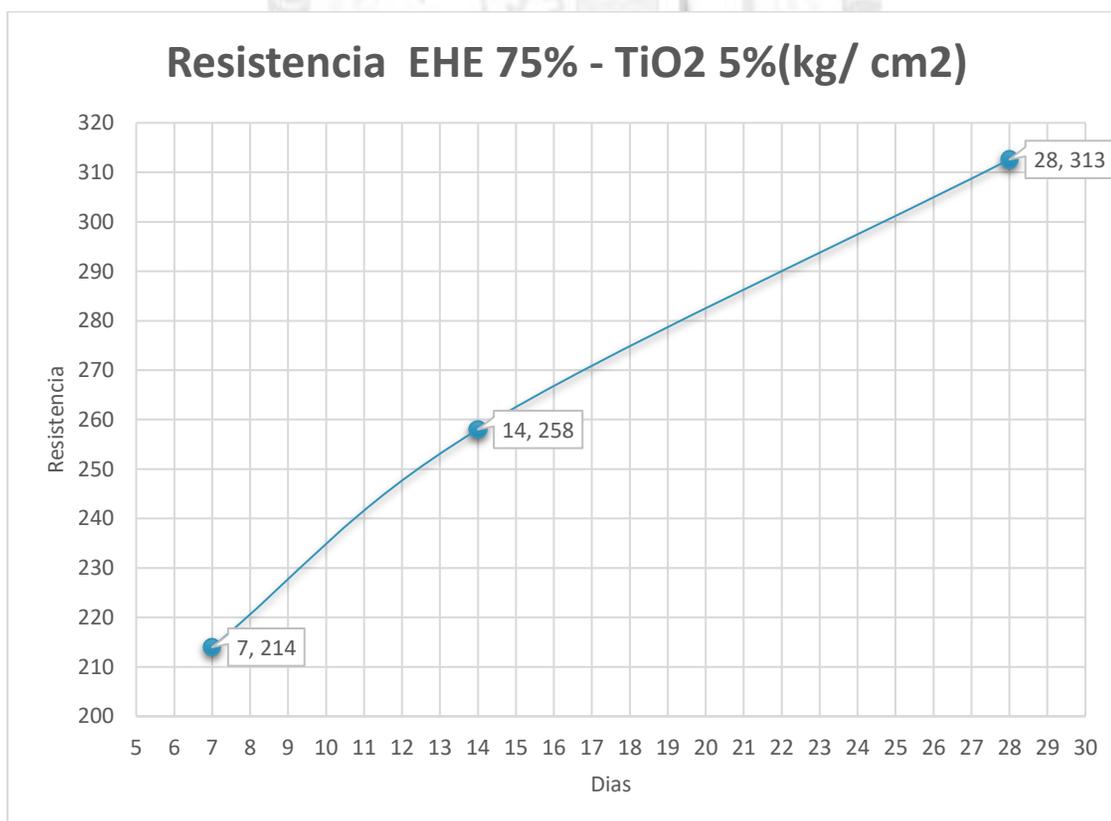
*Resistencia a la compresión promedio EHE 75% – TiO<sub>2</sub> 5%*

Edad (días)	Carga Promedio (kg)	Resistencia (kg/ cm <sup>2</sup> )	%f <sub>c</sub>
7	17528	214	87%
14	21134	258	105%
28	25628	313	128%

La evolución de crecimiento del concreto es como se ve en el siguiente gráfico:

**Figura 75**

*Evolución de la Resistencia EHE75% - TiO<sub>2</sub> 5%*



9) Resistencia a la compresión de EHE 75% – TiO<sub>2</sub> 7.5%

La resistencia a la compresión de este diseño de mezcla es la siguiente:

**Tabla 33**

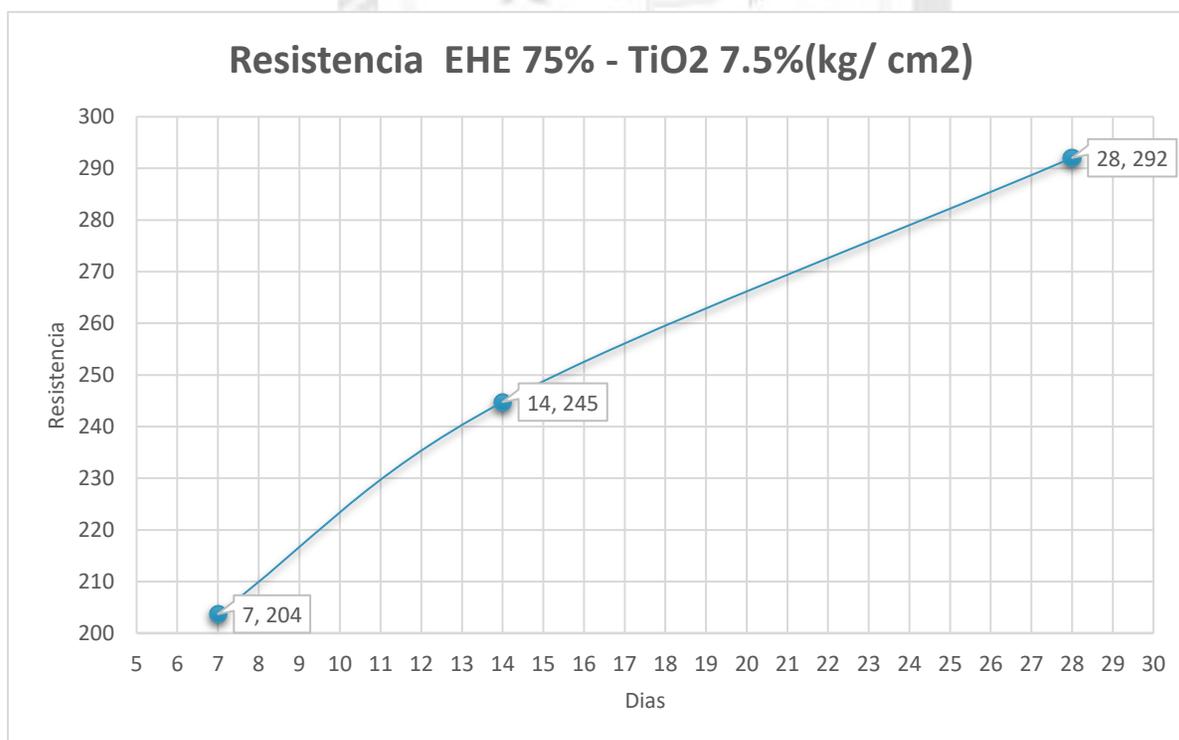
*Resistencia a la compresión promedio EHE 75% – TiO<sub>2</sub> 7.5%*

Edad (días)	Carga Promedio (kg)	Resistencia (kg/ cm <sup>2</sup> )	%f <sub>c</sub>
7	16686	204	83%
14	20047	245	100%
28	23942	292	119%

La evolución de crecimiento del concreto es como se ve en el siguiente gráfico:

**Figura 76**

*Evolución de la Resistencia EHE75% - TiO<sub>2</sub> 5%*



10) Resistencia a la compresión de EHE 75% – TiO<sub>2</sub> 10%

La resistencia a la compresión de este diseño de mezcla es la siguiente:

**Tabla 34**

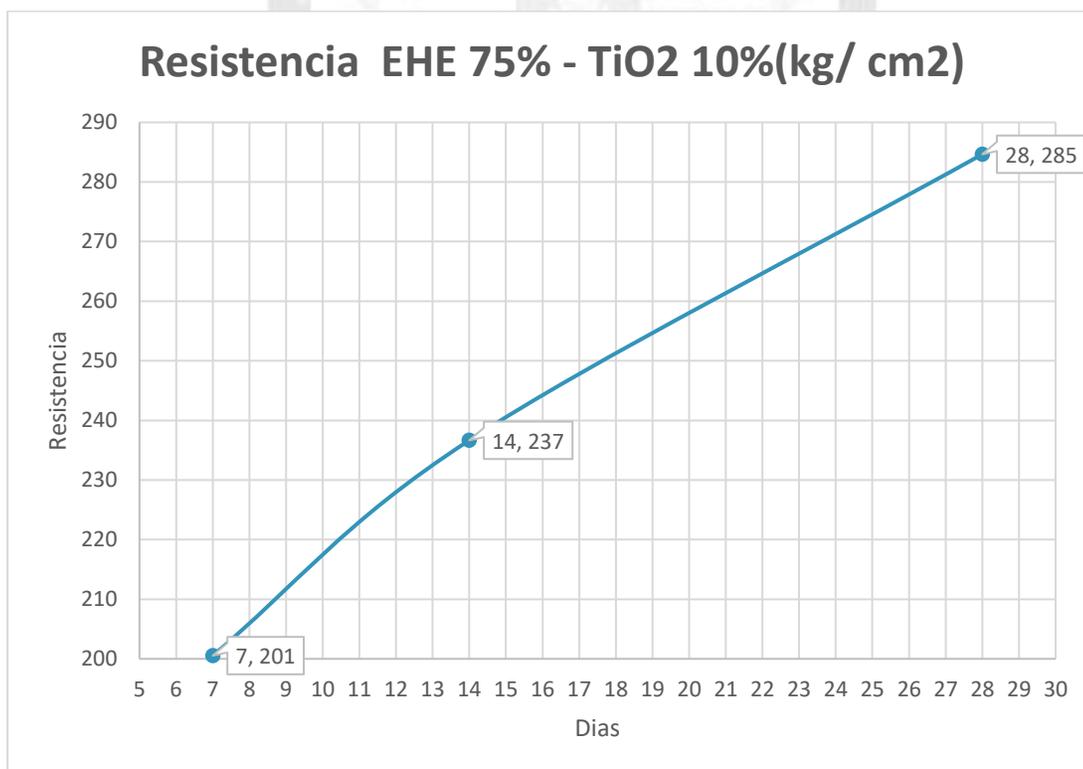
*Resistencia a la compresión promedio EHE 75% – TiO<sub>2</sub> 10%*

Edad (días)	Carga Promedio (kg)	Resistencia (kg/ cm <sup>2</sup> )	%f <sub>c</sub>
7	16426	201	82%
14	19385	237	97%
28	23336	285	116%

La evolución de crecimiento del concreto es como se ve en el siguiente gráfico:

**Figura 77**

*Evolución de la Resistencia EHE75% - TiO<sub>2</sub> 10%*



### 5.1.3. Determinación de Porcentaje de Absorción de Óxidos Nitrosos

Las pruebas de absorción de fotocatalisis fueron llevadas a cabo en un laboratorio de química.

**Tabla 35**

*Valores patrón de concentración del NO<sub>2</sub>*

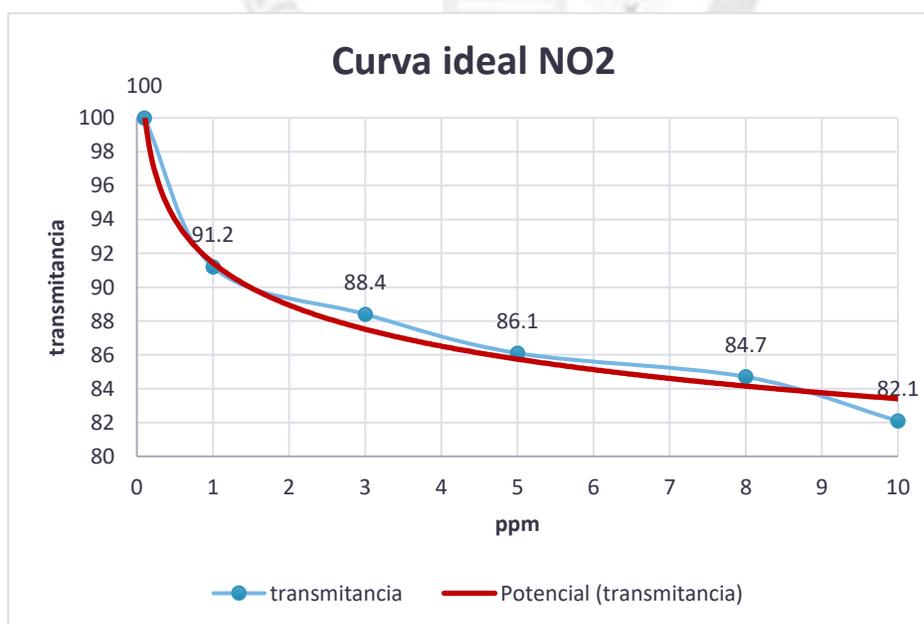
NO <sub>2</sub> patrón	
PPM	Transmitancia
0	100
1	91.2
3	88.4
5	86.1
8	84.7
10	82.1

Los valores son tomados en cuenta en comparación con agua destilada la cual su Transmitancia es de 100.

Los datos son colocados en un gráfico de dispersión para obtener la curva ideal de concentración de NO<sub>2</sub>.

**Figura 78**

*Curva ideal de Concentración de NO<sub>2</sub>*



Como se observa todas las concentraciones de NO<sub>2</sub> de las salidas de las muestras con TiO<sub>2</sub> son menores al patrón lo que comprueba que si hubo reacción y reducción de NO<sub>2</sub> convirtiéndose en NO<sub>3</sub>.

Se tomarán como grupos las muestras las que tienen EHE 25, 50 y 75 donde variaron el TiO<sub>2</sub> en 5%, 7.5% y 10% para poder comparar la influencia del TiO<sub>2</sub> en las respectivas combinaciones.

1) Para diseños con EHE 25%

Como se observa en la siguiente tabla tenemos la reducción de NO<sub>2</sub> para EHE 25% para las diferentes combinaciones de TiO<sub>2</sub>.

**Tabla 36**

*Salidas de concentración de las reacciones en rayos UV para EHE 25%*

Reacciones EHE 25%			
TiO <sub>2</sub>	ppm	Reducción (ppm)	%Reducción
PATRON	0.37		
5	0.28	0.09	24%
7.5	0.26	0.10	28%
10	0.27	0.10	26%

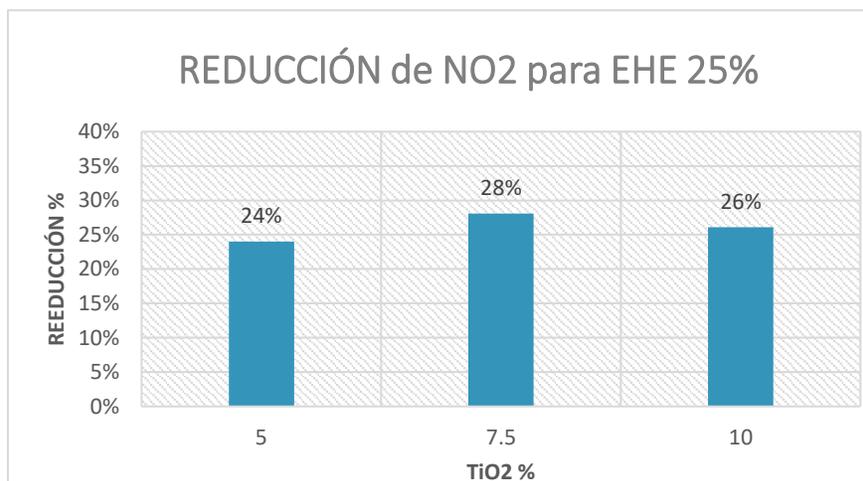
**Figura 79**

*Gráfica de dispersión reducción de NO<sub>2</sub> para EHE 25%*



**Figura 80**

*Gráfica barras de absorción de NO<sub>2</sub>*



2) Para diseños con EHE 50%

Como se observa en la siguiente tabla tenemos la reducción de NO<sub>2</sub> para EHE 50% para las diferentes combinaciones de TiO<sub>2</sub>.

**Tabla 37**

*Salidas de concentración de las reacciones en rayos UV para EHE 50%*

Reacciones EHE 50%			
TiO <sub>2</sub>	ppm	Reducción (ppm)	%Reducción
PATRON	0.37		
5	0.21	0.16	44%
7.5	0.20	0.17	45%
10	0.25	0.12	32%

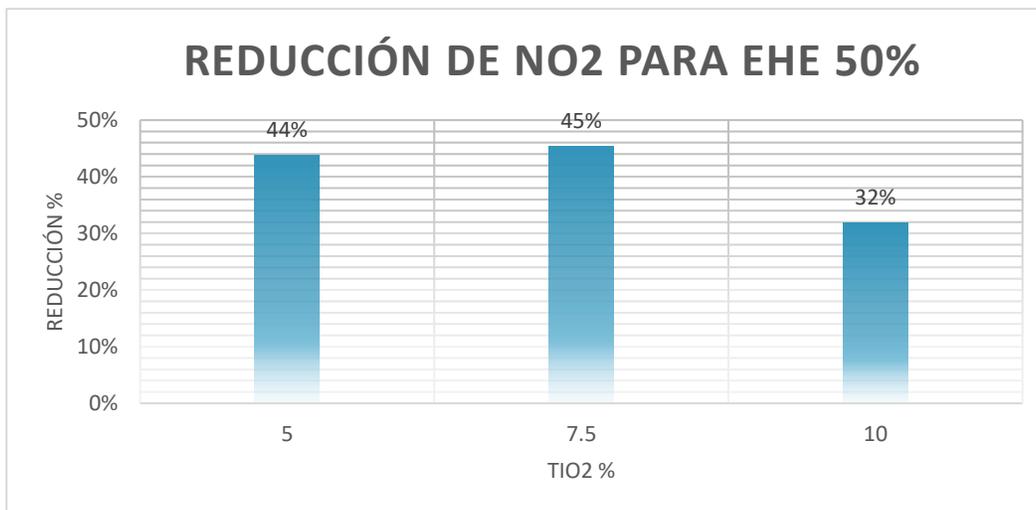
**Figura 81**

*Gráfica de dispersión reducción de NO<sub>2</sub> para EHE 50%*



**Figura 82**

*Gráfica barras de absorción de NO<sub>2</sub> para EHE 50%*



3) Para diseños con EHE 75%

Como se observa en la siguiente tabla tenemos la reducción de NO<sub>2</sub> para EHE 75% para las diferentes combinaciones de TiO<sub>2</sub>.

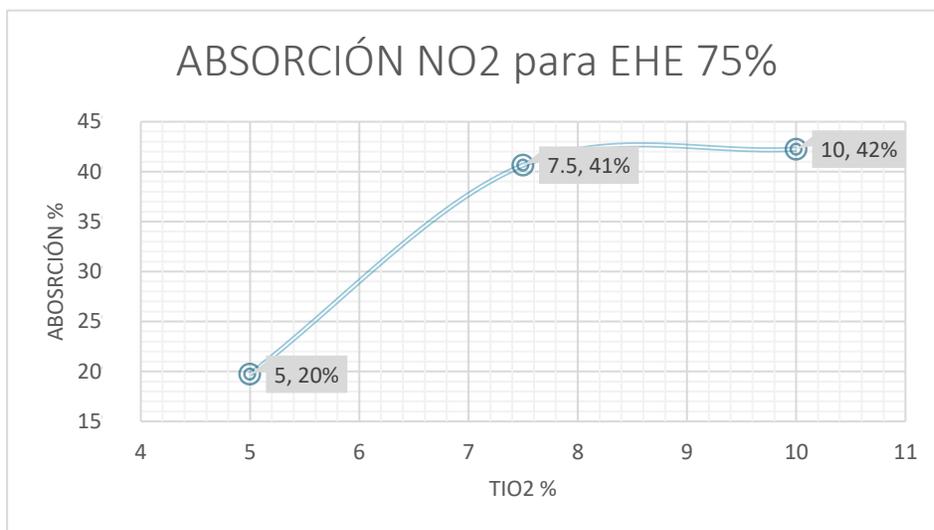
**Tabla 38**

*Salidas de concentración de las reacciones en rayos UV para EHE 75%*

Reacciones EHE 75%			
TiO <sub>2</sub>	ppm	Reducción (ppm)	%Reducción
PATRON	0.37		
5	0.30	0.07	20%
7.5	0.22	0.15	41%
10	0.21	0.16	42%

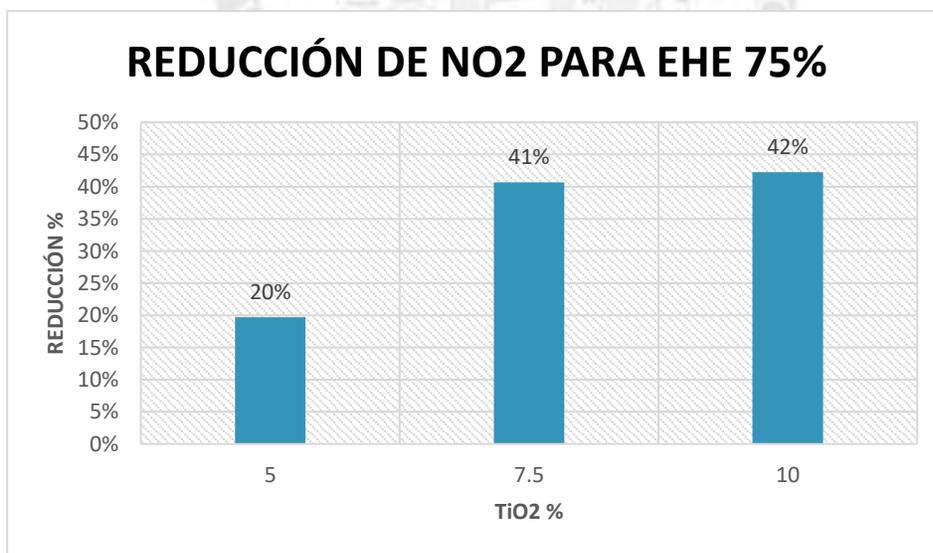
**Figura 83**

Gráfica de dispersión reducción de NO<sub>2</sub> para EHE 75%



**Figura 84**

Gráfica barras de absorción de NO<sub>2</sub> para EHE 75%



## CAPÍTULO VI. ANÁLISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

### 6.1. Análisis e Interpretación de la Información

#### 6.1.1. Análisis de la compresión

En la siguiente tabla se observa el resumen de la resistencia a la compresión de los diseños elaborados.

**Tabla 39**

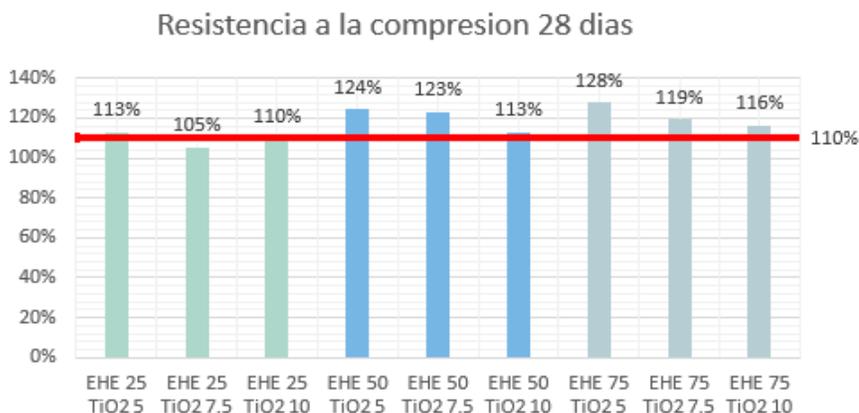
*Resumen de Resistencia a la compresión*

Diseño	7 DIAS		14 DIAS		28 DIAS	
	f <sub>c</sub>	%f <sub>c</sub>	f <sub>c</sub>	%f <sub>c</sub>	f <sub>c</sub>	%f <sub>c</sub>
CC	201	82%	239	98%	270	110%
EHE 25 TiO <sub>2</sub> 5	207	84%	261	107%	277	113%
EHE 25 TiO <sub>2</sub> 7.5	203	83%	248	101%	258	105%
EHE 25 TiO <sub>2</sub> 10	214	87%	255	104%	269	110%
EHE 50 TiO <sub>2</sub> 5	205	84%	252	103%	<b>305</b>	<b>124%</b>
EHE 50 TiO <sub>2</sub> 7.5	205	84%	244	100%	301	123%
EHE 50 TiO <sub>2</sub> 10	192	78%	230	94%	277	113%
EHE 75 TiO <sub>2</sub> 5	214	87%	258	105%	<b>313</b>	<b>128%</b>
EHE 75 TiO <sub>2</sub> 7.5	204	83%	245	100%	292	119%
EHE 75 TiO <sub>2</sub> 10	201	82%	237	97%	285	116%

En la que se observa los diseños EHE 50% - TiO<sub>2</sub> 5% y EHE 75% TiO<sub>2</sub> 5% son los que llegaron a mayor resistencia a los 28 días.

**Figura 85**

*Resistencia a la compresión 28 días en comparación a CC*



### 6.1.2. Análisis de la absorción Fotocatálisis

En la siguiente tabla se observa el resumen de la absorción fotocatalítica de los diseños.

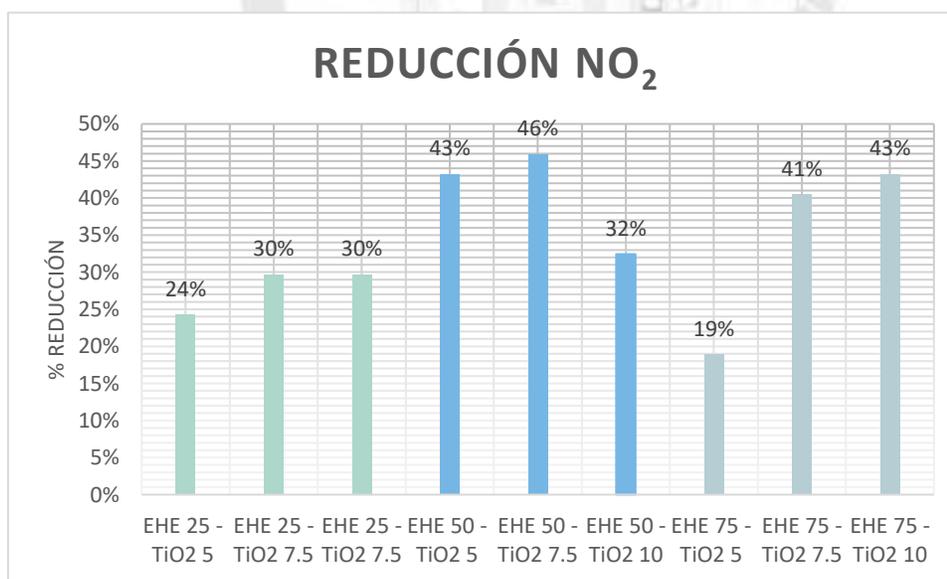
**Tabla 40**

*Resumen de Reducción de NO<sub>2</sub>*

Muestras	Entrada (mg/m <sup>3</sup> )	PATRON (mg/m <sup>3</sup> )	SALIDA (mg/m <sup>3</sup> )	REDUCCIÓN (mg/m <sup>3</sup> )	% REDUCCIÓN
Patrón	15.00	5.44	5.44		
EHE 25 - TiO <sub>2</sub> 5	15.00	5.44	4.12	1.32	24%
EHE 25 - TiO <sub>2</sub> 7.5	15.00	5.44	3.82	1.62	30%
EHE 25 - TiO <sub>2</sub> 7.5	15.00	5.44	3.82	1.62	30%
EHE 50 - TiO <sub>2</sub> 5	15.00	5.44	3.09	2.35	43%
EHE 50 - TiO <sub>2</sub> 7.5	15.00	5.44	2.94	2.50	46%
EHE 50 - TiO <sub>2</sub> 10	15.00	5.44	3.68	1.76	32%
EHE 75 - TiO <sub>2</sub> 5	15.00	5.44	4.41	1.03	19%
EHE 75 - TiO <sub>2</sub> 7.5	15.00	5.44	3.24	2.21	41%
EHE 75 - TiO <sub>2</sub> 10	15.00	5.44	3.09	2.35	43%

**Figura 86**

*Grafica de barras Reducción NO<sub>2</sub>*





En el grafico observamos que el diseño con mayor absorción es el de EHE 50% -  $TiO_2$  7.5% con 46 % de absorción de  $NO_2$ , así como también la de menor absorción es el diseño de EHE 75% -  $TiO_2$  5%.

## 6.2. Contrastación de Hipótesis Principal

Como se observa en la tabla de resumen antes mostrados, los resultados demuestran en comparación a la hipótesis general se cumple la propiedad de absorción de fotocatalítica en los prismas de concreto por reacciones químicas del Dióxido de Titanio ( $TiO_2$ ).

Así como también se cumple la resistencia a la compresión de los especímenes de concreto siendo estos mayores al Concreto Control que sirvió de comparación.

## 6.3. Contrastación de Hipótesis Especifica

En comparación a las hipótesis planteadas:

H.E. 1: Se comprobó con todos los resultados de la resistencia a compresión que los diseños tienen un aumento de hasta el 18% de incremento del Concreto Control. Sin embargo, en el diseño EHE 25  $TiO_2$  7.5 no logro alcanzar a la resistencia del Concreto Control y está por debajo en 5%.

H.E. 2: en todos los diseños realizados a excepto del diseño de mezcla, EHE 75% -  $TiO_2$  5% y EHE 25% -  $TiO_2$  5%, se comprueba una absorción fotocatalítica mayor o igual al 30%.

H.E. 3: De ambos resultados para la absorción fotocatalítica y resistencia a la compresión se comprueba que el óptimo es el diseño en el cual el dióxido de titanio ( $TiO_2$ ) es igual al 5% y la EHE es igual al de 50% al peso del agregado.

#### 6.4. Discusión de Resultados

Como se mencionó antes en el Capítulo 5 los resultados de la resistencia a la compresión de los especímenes de concreto, observamos que los diseños con mayor cantidad de EHE son los más altos con respecto al Concreto Control, mientras el dióxido de Titanio también va aumentando observamos que la resistencia a la compresión también se reduce.

Lo mismo sucede en el caso de la absorción fotocatalítica se cumple que ha mayor cantidad de  $TiO_2$  la absorción de  $NO_2$  también es mayor.

Al realizar una comparación de todos los diseños y óptimos resultados se tiene que el diseño óptimo que cumple con ambas propiedades de la manera deseada es el diseño EHE 50% -  $TiO_2$  5% teniendo un alcance de resistencia hasta 124% con respecto a la resistencia de diseño y 43% de absorción fotocatalítica.



## CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.7. Conclusiones

- 1) Con los resultados expuestos se comprueba que los materiales de Escoria de Hornos eléctricos y el dióxido de Titanio ( $TiO_2$ ) afectan en las propiedades mecánicas y fotocatalíticas del concreto.
- 2) La mayor resistencia a la compresión a los 28 días fue el diseño EHE 75 –  $TiO_2$  5 con  $313kg/cm^2$  que es equivalente al 128% de la resistencia de diseño, su absorción de fotocatalisis es equivalente al 19% la cual es menos de lo esperado.
- 3) El diseño que cumple óptimamente el criterio y absorción fotocatalítica es el EHE 50% –  $TiO_2$  5% con  $305kg/cm^2$  de resistencia a la compresión y 43% de absorción fotocatalítica.
- 4) Se observa que mientras se va aumentando cantidad de  $TiO_2$  reduce la resistencia de la mezcla.

### 7.8. Recomendaciones

- Se recomienda que la elaboración de los concretos sea realizada según las normas ISO 22197-1 (fotocatálisis) y NTP 339 indicadas en esta investigación, para un mejor resultado en las propiedades del concreto.
- Se recomienda que se realicen las pruebas de autolimpieza, Superhidrofilia para verificar que se cumplan las propiedades del  $TiO_2$ , no realizados en esta investigación.
- Se recomienda el uso de diferentes cantidades de escoria de hornos eléctricos para observar valores mínimos en los cuales se obtienen aumento de resistencia al concreto.



- Para saber cuáles son los valores máximos y mínimos en los que afecta en  $TiO_2$  en la composición del concreto a diferencia de las que se usan en esta investigación.
- Se recomienda el uso de  $TiO_2$  en la aplicación de elementos como pavimentos, tarrajes, adoquines y elementos prefabricados para analizar sus implicaciones en la construcción.





## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abanto Castillo, F. (2009). *Tecnología del Concreto*. Lima.
- Aceros Arequipa. (2016). *Construyendo*.
- Aceros Arequipa. (2020). Obtenido de <https://www.acerosarequipa.com/procesos-de-produccion>
- ACI 211.1 - 91. (s.f.).
- Alberto Pedro Busnelli, R. E. (2016). Refuerzo de vigas de hormigón armado con láminas de PRFV (plástico reforzado con filtro de vidrio). *Alternativas*, Vol. 17, Nº. 3, 2016, 32-42.
- Amaral, L. (1999). *Hormigones con escorias de horno electrico como aridos: propiedades, durabilidad y comportamiento ambiental*. Barcelona.
- Asociacion Iberoamericana de Fotocatalisis. (2020). *Libro Blanco de la Fotocatalisis*.
- Banco Wiese Sudameris. (2002). *Industria Siderurgica, Perspectivas inciertas en el mercado mundial*. Peru.
- Bernejo Fernandez, M. (2018). *Fotocatalisis y su Capacidad Descontaminante. Aplicacion en Gran Via*. Madrid.
- Cañas Gallart, J. (2012). *Estudio del comportamiento de Hormigones con Aridos Siderurgicos de Horno Electrico*. Catalunya.
- Cárdenas Ramírez, C. (2012). *Evaluación de las propiedades físicas y fotocatalíticas de cemento adicionado con nanopartículas de dióxido de titanio*. Medellín.
- CEDEX. (2011). *Escorias de acería de horno de arco electrico*.
- Cementos Yura. (s.f.). *Ficha Técnica 2022/V.1*. Obtenido de <https://www.yura.com.pe/wp-content/uploads/ficha-tecnica-yura-ip.pdf>
- Cesar Juarez Alvarado, A. D. (2015). Comportamiento analítico-experimental a cortante en vigas de concreto fibroreforzado. *Concreto y cemento*., 64-79.
- Chávez Del Carpio, M., & Mamani Malpica, P. (2019). *Valorización de la Corporación Aceros Arequipa S.A*. Peru.



Choque Hinojosa, R. (2012). *Viabilidad para el uso de la escoria de Aceria Electrica como agregado en mezcla Asfaltica en la ciudad de Chimbote*. Peru.

Comité 211 del ACI. (s.f.).

Construmatica. (2012). Obtenido de

[https://www.construmatica.com/construpedia/Hormig%C3%B3n\\_Endurecido](https://www.construmatica.com/construpedia/Hormig%C3%B3n_Endurecido)

Corcuera, S. A., & Vela, F. J. (2018). *IMPACTO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD DEL CONCRETO A PARTIR DE LA SUSTITUCIÓN DE LA PIEDRA POR ECOGRAVILLA DE ESCORIA DE ACERO, TRUJILLO – 2018*. Trujillo, Perú.

Emgrisa. (2021). *Analisis de la Aplicacion del Concepto de fin de condicion de residuo de las escorias de fundicion de horno de arco electrico*. España.

Enriquez, C. (2013). *Conceptos Generales Refuerzo con CFRP*. Lima, Peru.

Ensinger. (s.f.). *Ensinger*. Obtenido de <http://www.ensinger.es/es/informacion->

[tecnica/propiedades-tecnicas-de-los-plasticos/otras-propiedades/absorcion-de-humedad/](http://www.ensinger.es/es/informacion-tecnica/propiedades-tecnicas-de-los-plasticos/otras-propiedades/absorcion-de-humedad/)

Hernandez Rodriguez, M. (2017). *Eliminacion de NOx mediante fotocatalisis heterogenea*. Las Palmas.

Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, P. (2006). *Metodologia de la Investigacion*. Mexico: McGRAW HILL IINTERAMERICMA.

Hernandez, R., Fernandez, C., & Batista. (2006). *Metodologia de la Investigacion*. McGRAW HILL INTERAMERICANA.

Jimenes , E., & Marta Castellote. (s.f.). *La Fotocatlisis en Construccion: Fundamentos y Metodos de Medida*. España.

Juarez, C., Valdez, P., Duran, A., & Sobolev, K. (2007). The Diagonal Tension Behavior of Fiber Reinforced Concrete Beams. *Cement & Concrete Composites*, 29(5), 402 - 408.

Khuntia, M., & Stojadinovic, B. (September - October de 2001). Shear Strenght of Reinforced Concrete Beams. *ACI Structural Journal*, 98(5), 648-656.



- kwak, K., Suh, J., & Thomas Hsu, C. (March - April de 1991). Shear Fatigue of Steel Fibers Reinforced Concrete Beams. *ACI Structural Journal*, 88(2), 155 - 160.
- Lisbona Garcia, L. (2016). *Materiales Fotocatalíticos y sus Aplicaciones en Construcción*.
- Maccaferri. (2009). [http://www.aprocons.org.py/doc/pavimento/manual\\_fibras.pdf](http://www.aprocons.org.py/doc/pavimento/manual_fibras.pdf).
- Medina Salazar, E. C. (2017). *Influencia del fotocatalizador dióxido de titanio en las propiedades autolimpiables y mecánicas del mortero de cemento - arena 1:4 - Cajamarca*. Cajamarca.
- Ministerio. (2009). *Norma Técnica de Edificación E.060 Concreto Armado*. Lima Peru.
- Miranda Bordón, A. (2008). *El mercado de la siderurgia en Peru*. Peru.
- Montes Brito, A. (2004). *Eliminación de Contaminantes por Fotocatalisis Heterogenea*. MTC E 705 . (s.f.).
- NILSON, A. H. (2001). *Diseño de Estructuras de Concreto*. Colombia: Emma Ariza H.
- Norma ASTM C33. (s.f.).
- Norma E.060 Concreto Armado. (s.f.).
- Norma MTC E 202. (s.f.).
- Norma MTC E 204. (s.f.).
- NTP 339.088. (s.f.).
- Obaidat, Y. T. (2010). *STRUCTURAL RETROFITTING OF REINFORCED CONCRETE BEAMS USING CARBON FIBRE REINFORCED POLYMER*. Lund, Suiza: Department of Construction Sciences, Structural Mechanics.
- [ocw.usal.es](http://ocw.usal.es). (s.f). Obtenido de <http://ocw.usal.es/enseanzas-tecnicas/materiales-ii/contenidos/HORMIGON%20IE>.
- Pasquel, I. E. (1998). *Temas de Tecnología de Concreto*.
- Pérez Fernández, Y. (2015). *Estudio de durabilidad del hormigón con áridos siderúrgicos de horno de arco eléctrico*. Barcelona.
- Porrero, J., Ramos, C., Grases, J., & Gilberto, V. (2003). *Manual del Concreto Estructural*.



*Proyecto Fenix*. (2009). Obtenido de [www.proyectofenix.es](http://www.proyectofenix.es).

RAE. (s.f.). Obtenido de <http://dle.rae.es/?id=0l6Xmr9>

RAE. (s.f.). *ASOCIACION DE ACADEMIAS DE LA LENGUA ESPAÑOLA*. Obtenido de <http://dle.rae.es/?id=8BnUpoo>

Rivva Lopez, E. (2013). *Diseño de Mezclas*.

Rojas, A. L. (2016). Numerical experimentation for the optimal design of reinforced rectangular concrete beams for singly reinforced sections. *DYNA: revista de la Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín*,, 134-142.

Sabino, C. (1986). El proceso de la investigación . En C. Sabino, *El proceso de la investigación* (pág. 53). Editorial Panapo.

Sera, E., Robles, Austriaco, L., & Pama, R. (1990). Natural Fibers as Reinforcement. *Journal of ferrocement*.

Suarez Hincapie, L. (2018). *Evaluacion de Escorias siderurgicas de horno de Arco Electrico en Mezclas de concreto estructural*. Bogota.

Swamy, R., & Bahia, H. (March de 1985). The Effectiveness of Steel Fibers as Shear Reimforcement. *Concrete International Design and Costruction*, 7(3), 35 - 40.

TDMA, T. D. (s.f.). *PURETI*. Obtenido de <http://www.pureti.es/wp-content/uploads/2018/06/Que%CC%81-es-el-dio%CC%81xido-de-titanio.pdf>

Tirado Chávez, J. G. (2018). *Resistencia de un concreto con agregado grueso sustituido en un 45% y 48% por escoria de arco electrico*. Chimbote.

Wikipedia. (s.f.). *Wikipedia*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Viga>

*Wikivia, Enciclopedia de la Carretera*. (s.f.). Obtenido de [http://www.wikivia.org/wikivia/index.php/Escorias\\_granuladas\\_de\\_alto\\_horno](http://www.wikivia.org/wikivia/index.php/Escorias_granuladas_de_alto_horno)

**ANEXOS A: RESULTADOS DE PRUEBAS DE PROPIEDADES DE LOS MATERIALES**

**Tabla 41**

*Propiedades del Agregado Grueso San Salvador*

<b>MATERIAL :</b>	PIEDRA HUSO 7	<b>MUESTRA No:</b>	32
<b>CANTERA:</b>	SAN SALVADOR	<b>FECHA DE MUESTREO :</b>	5/08/2020
<b>PROCEDENCIA:</b>	ACOPIO PLANTA	<b>FECHA DE INGRESO :</b>	5/08/2020
		<b>FECHA DE ANÁLISIS :</b>	6/08/2020

GRANULOMETRÍA						PROPIEDADES FÍSICAS					
MALLA ASTM	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RET. ACUMULA	% QUE PASA	NTP 400.037	MODULO DE FINURA					
2 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	6.27	TAMAÑO MAX. NOM. 1/2"				
2"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	2673	PESO ESP. SSS kg/m <sup>3</sup>				
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	1639	PESO VOL. COMPAC. kg/m <sup>3</sup>				
1"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	1579	PESO VOL. SUELTO kg/m <sup>3</sup>				
3/4"	228.50	1.62	1.62	98.38	100	1.32	% ABSORCIÓN %				
1/2"	1908.50	13.53	15.14	84.86	90-100		% HUMEDAD %				
3/8"	2826.00	20.03	35.17	64.83	40-70	2.15	% MALLA < # 200 %				
1/4"	5166.50	36.61	71.79	28.21	-	HUSO 7					
N° 4	2828.50	20.05	91.83	8.17	0-15	<b>OBSERVACIONES:</b>					
N° 8	886.00	6.28	98.11	1.89	0-5						
N° 16	266.50	1.89	100.00	0.00	-						
N° 30	0.00	0.00	100.00	0.00	-						
N° 50	0.00	0.00	100.00	0.00	-						
N° 100	0.00	0.00	100.00	0.00	-						
N° 200	0.00	0.00	100.00	0.00	-						
<N° 200	0.00	0.00	100.00	0.00	-						
<b>TOTAL:</b>	<b>14110.50</b>	<b>100.00</b>									

**GRÁFICO DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO**

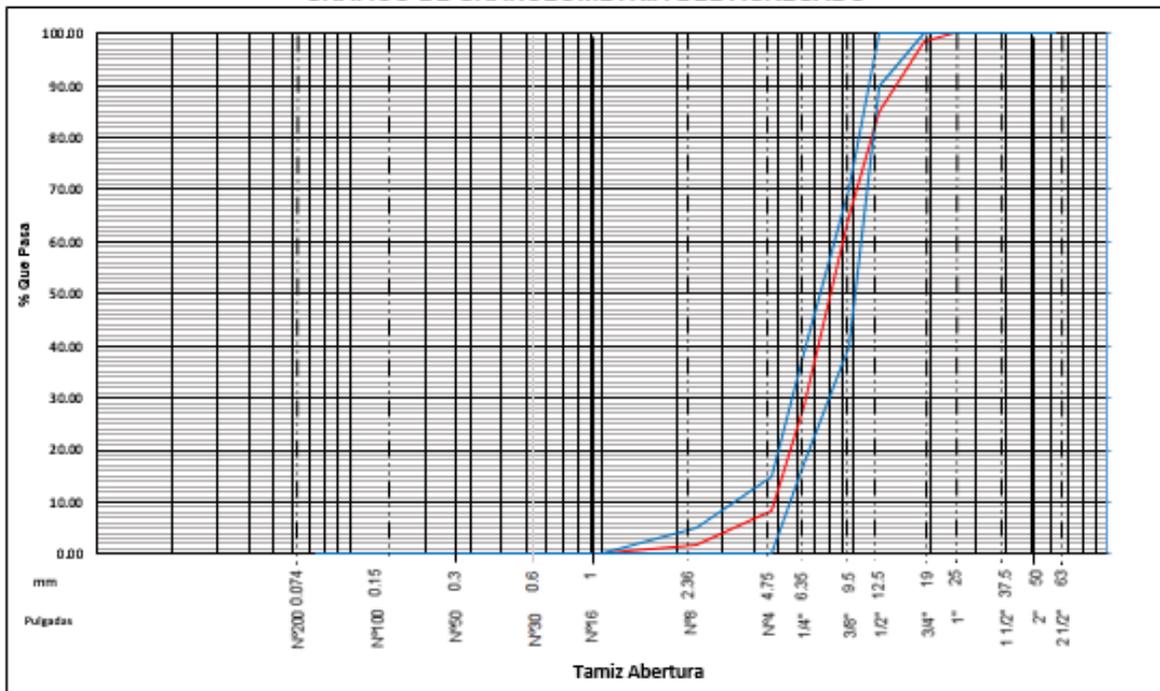


Tabla 42

Propiedades del Agregado Grueso EHE

<b>MATERIAL :</b>	PIEDRA HUSO 7	<b>MUESTRA No:</b>	2
<b>CANTERA:</b>	ACEROS AREQUIPA - PISCO	<b>FECHA DE MUESTREO</b>	29/08/2020
<b>PROCEDENCIA:</b>	ACOPIO PLANTA	<b>FECHA DE INGRESO :</b>	29/08/2020
		<b>FECHA DE ANÁLISIS :</b>	30/08/2020

GRANULOMETRÍA						PROPIEDADES FÍSICAS		
MALLA ASTM	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RET. ACUMULADO	% QUE PASA	NTP 400.037	MODULO DE FINURA		
2 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	6.13		
2"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	TAMAÑO MAX. NOM.	1/2"	
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	PESO ESP. SSS	2768	kg/m <sup>3</sup>
1"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	PESO VOL. COMPAC.	1734	kg/m <sup>3</sup>
3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00	100	PESO VOL. SUELTO	1678	kg/m <sup>3</sup>
1/2"	20984.00	9.72	9.72	90.28	90-100	% ABSORCIÓN	2.33	%
3/8"	44078.00	20.42	30.14	69.86	40-70	% HUMEDAD		%
1/4"	77699.00	36.00	66.14	33.86	-	% MALLA < # 200	1.39	%
N° 4	40769.00	18.89	85.03	14.97	0-15	HUSO	7	
N° 8	27985.00	12.97	98.00	2.00	0-5	<b>OBSERVACIONES:</b>		
N° 16	4318.00	2.00	100.00	0.00	-			
N° 30	0.00	0.00	100.00	0.00	-			
N° 50	0.00	0.00	100.00	0.00	-			
N° 100	0.00	0.00	100.00	0.00	-			
N° 200	0.00	0.00	100.00	0.00	-			
<N° 200	0.00	0.00	100.00	0.00	-			
<b>TOTAL:</b>	<b>80000.00</b>	<b>100.00</b>						

GRÁFICO DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO

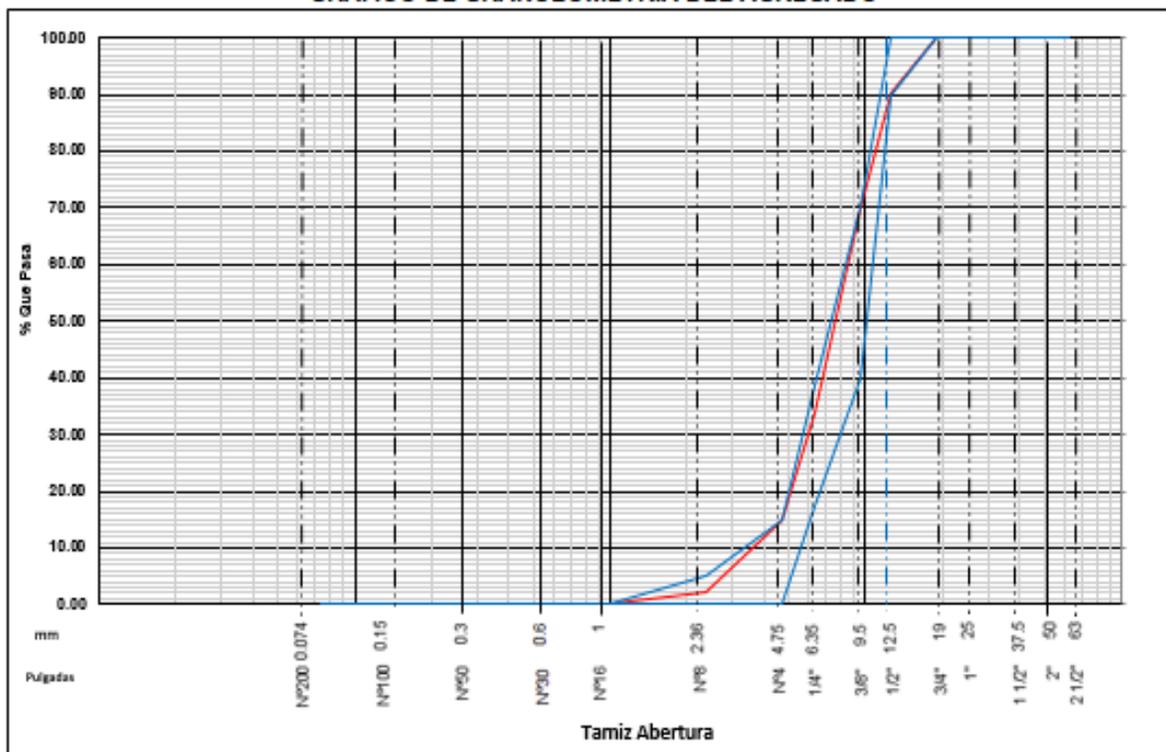


Tabla 43

Propiedades del Arena gruesa de San Salvador

<b>MATERIAL :</b>	ARENA FINA	<b>MUESTRA No :</b>	1
<b>CANERA:</b>	SAN SALVADOR	<b>FECHA DE MUESTREO</b>	28/08/2020
<b>PROCEDENCIA:</b>	ACOPIO PLANTA	<b>FECHA DE INGRESO :</b>	28/08/2020
		<b>FECHA DE ANÁLISIS :</b>	29/08/2020

GRANULOMETRÍA						PROPIEDADES FÍSICAS	
MALLA ASTM	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RET. ACUMULA	% QUE PASA	NTP 400.037		
2 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	MODULO DE FINURA	3.28
2"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	TAMAÑO MAX. NOM.	N°4
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	PESO ESP. SSS	2660 kg/m <sup>3</sup>
1"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	PESO VOL. COMPAC.	1872 kg/m <sup>3</sup>
3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	PESO VOL. SUELTO	1690 kg/m <sup>3</sup>
1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	% ABSORCIÓN	1.52 %
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00	100	% HUMEDAD	✓ %
1/4"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	% MALLA < # 200	5.60 %
N° 4	24.50	2.55	2.55	97.45	95-100	HUSO	ARENA
N° 8	290.00	30.15	32.69	67.31	80-100	<b>OBSERVACIONES:</b>	
N° 16	194.50	20.22	52.91	47.09	50-85		
N° 30	132.00	13.72	66.63	33.37	25-60		
N° 50	120.50	12.53	79.16	20.84	5-30		
N° 100	139.00	14.45	93.61	6.39	0-10		
N° 200	49.50	5.15	98.75	1.25	0-5		
<N° 200	12.00	1.25	100.00	0.00	-		
<b>TOTAL:</b>	<b>962.00</b>	<b>100.00</b>					

GRÁFICO DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO

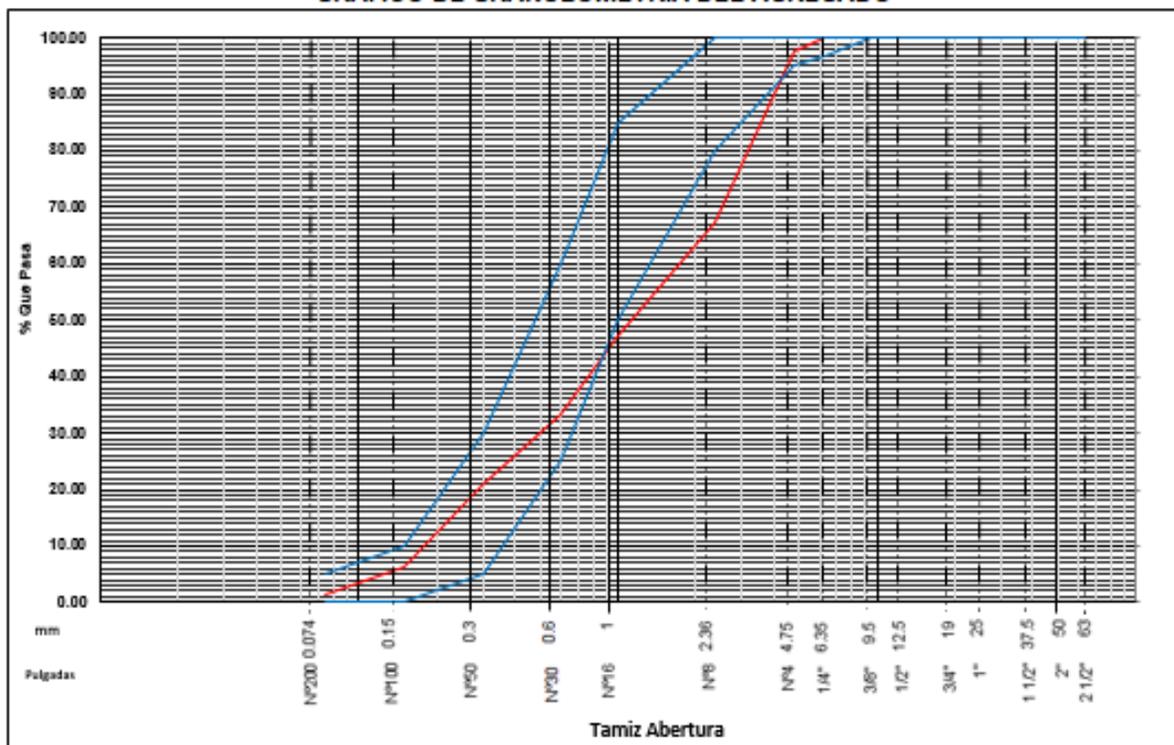


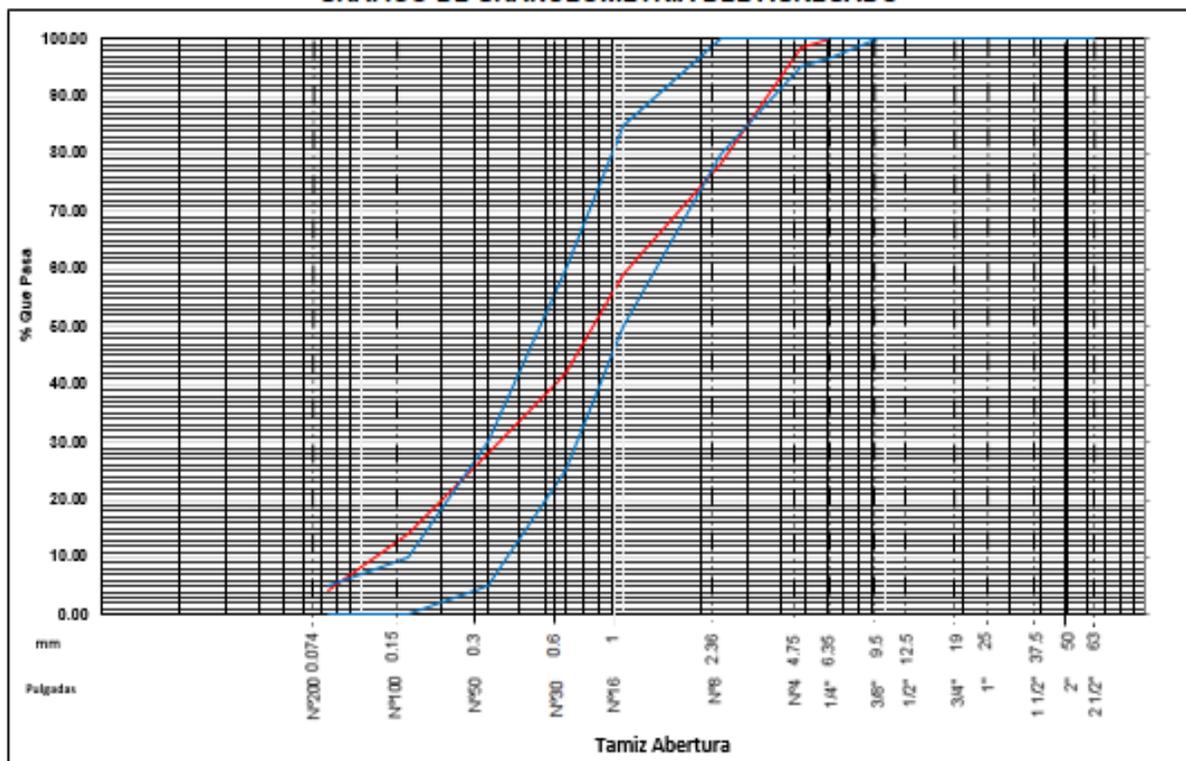
Tabla 44

Propiedades del agregado fino de EHE

<b>MATERIAL :</b>	ESCORIA DE HORNOS ELECTRICOS - FINO	<b>MUESTRA No:</b>	1
<b>CANTERA:</b>	ACEROS AREQUIPA - PISCO	<b>FECHA DE MUESTREO</b>	28/08/2020
<b>PROCEDENCIA:</b>	ACOPIO PLANTA	<b>FECHA DE INGRESO :</b>	28/08/2020
		<b>FECHA DE ANÁLISIS :</b>	29/08/2020

GRANULOMETRÍA						PROPIEDADES FÍSICAS		
MALLA ASTM	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RET. ACUMULA	% QUE PASA	NTP 400.037	MODULO DE FINURA		
2 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	2.80	TAMAÑO MAX. NOM. N°4	
2"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	3257	PESO ESP. SSS kg/m <sup>3</sup>	
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	2120	PESO VOL. COMPAC. kg/m <sup>3</sup>	
1"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	1955	PESO VOL. SUELTO kg/m <sup>3</sup>	
3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	2.88	% ABSORCIÓN %	
1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	-		% HUMEDAD %	
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00	100	2.12	% MALLA < # 200 %	
1/4"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	HUSO ARENA		
N° 4	14.00	1.35	1.35	98.65	95-100	<b>OBSERVACIONES:</b>		
N° 8	211.50	20.46	21.82	78.18	80-100			
N° 16	198.00	19.16	40.98	59.02	50-85			
N° 30	177.00	17.13	58.10	41.90	25-60			
N° 50	145.50	14.08	72.18	27.82	5-30			
N° 100	141.00	13.64	85.82	14.18	0-10			
N° 200	103.50	10.01	95.84	4.16	0-5			
<N° 200	43.00	4.16	100.00	0.00	-			
<b>TOTAL:</b>	<b>1033.50</b>	<b>100.00</b>						

GRÁFICO DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO



**ANEXOS B: FICHAS TÉCNICAS DEL CEMENTO IP**



**DESCRIPCIÓN**

**EL CEMENTO MULTI-PROPÓSITO DE ALTA DURABILIDAD YURA IP** es un cemento elaborado bajo los más estrictos estándares de la industria cementera, colaborando con el medio ambiente, debido a que en su producción se reduce ostensiblemente la emisión de CO<sub>2</sub>, contribuyendo a la reducción de los gases con efecto invernadero.

Es un producto fabricado a base de Clinker de alta calidad, puzolana natural de origen volcánico de alta reactividad y yeso. Esta mezcla es molida industrialmente en molinos de última generación, logrando un alto grado de finura. La fabricación es controlada bajo un sistema de gestión de calidad certificado con ISO 9001 y de gestión ambiental ISO 14001, asegurando un alto estándar de calidad.

Sus componentes y la tecnología utilizada en su fabricación, hacen que el CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA TIPO IP, tenga propiedades especiales que otorgan a los concretos y morteros cualidades únicas de ALTA DURABILIDAD, permitiendo que el concreto mejore su resistencia e impermeabilidad y también pueda resistir la acción del intemperismo, ataques químicos (aguas saladas, sulfatadas, ácidas, desechos industriales, reacciones químicas en los agregados, etc.), abrasión, u otros tipos de deterioro.

*Puede ser utilizado en cualquier tipo de obras de infraestructura y construcción en general. Especialmente para OBRAS DE ALTA EXIGENCIA DE DURABILIDAD.*

**DURABILIDAD**

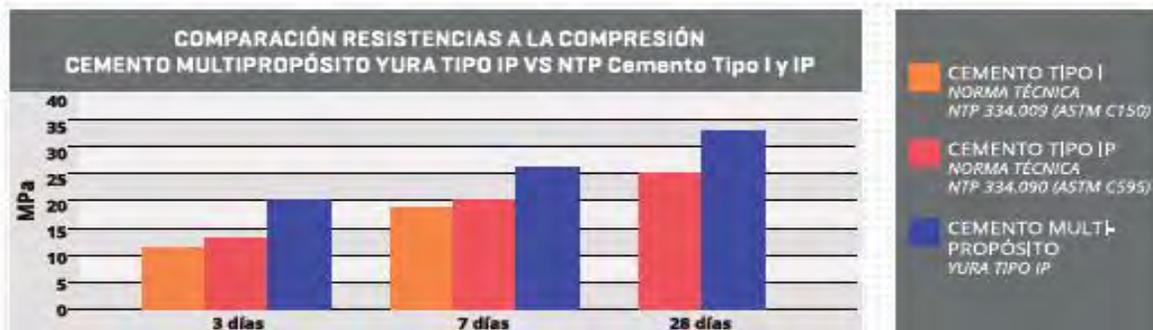
“Es aquella propiedad del concreto endurecido que define la capacidad de éste para resistir la acción agresiva del medio ambiente que lo rodea, permitiendo alargar su vida útil”.

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

REQUISITOS	CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA TIPO IP		REQUISITOS NORMA NTP 334.090 ASTM C-595		REQUISITOS NORMA NTP 334.008 ASTM C-150 (CEMENTO TIPO II)	
REQUISITOS QUÍMICOS						
MgO (%)			6.00 Máx.			
SO <sub>3</sub> (%)	1.5 a 3.0		4.00 Máx.			
Pérdida por ignición (%)	1.5 a 4.0		5.00 Máx.			
REQUISITOS FÍSICOS						
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.75 a 2.85		-			
Expansión en autoclave (%)	0.07 a 0.03		-0.20 a 0.80			
Fraguado Vicat inicial (minutos)	170 a 270		45 a 420			
Contenido de aire	2.5 a 8.0		12 Máx			
Resistencia a la Compresión	Kg/cm <sup>2</sup>	MPa	Kg/cm <sup>2</sup>	MPa	Kg/cm <sup>2</sup>	MPa
3 días	175 a 200	17.1 a 19.6	133 Mín	13	122 Mín	12Mín
7 días	225 a 255	22 a 25	204 Mín	20	194 Mín	19 Mín
28 días	306 a 340	30 a 33.3	255 Mín	25	-	-
Resistencia a la tracción	%		%			
% Expansión a los 6 meses	< 0,04		0.05 Máx			
% Expansión a 1 año	< 0,06		0.10 Máx			



**COMPARATIVO CON REQUISITOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE NORMAS TÉCNICAS**



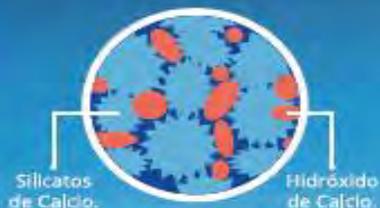
**OTRAS PROPIEDADES**

**1 ALTA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

Debido a su contenido de puzolana natural de origen volcánico, la cual tiene mayor superficie específica interna en comparación con otros tipos de puzolanas, hacen que el CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP desarrolle con el tiempo resistencias a la compresión superiores a las que ofrecen otros tipos de cemento.

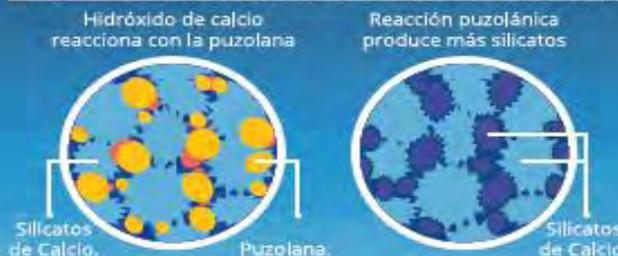
Los silicatos de la puzolana reaccionan con el hidróxido de calcio liberado de la reacción de hidratación del cemento formando silicatos cálcicos que son compuestos hidráulicos que le dan una resistencia adicional al cemento, superando a otros tipos de cemento que no contienen puzolana.

**CON CEMENTO TIPO I**



El cemento Tipo I produce un 75% de silicatos de calcio (resistencia), el otro 25% es hidróxido de calcio que no ofrece resistencia y es susceptible a los ataques químicos, produciendo erosiones y/o expansiones.

**CON CEMENTO MULTI-PROPÓSITO DE ALTA DURABILIDAD YURA IP**



La puzolana que contiene el cemento MULTI-PROPÓSITO YURA IP, reacciona con el hidróxido de calcio, produciendo más silicatos de calcio, lo que otorga mayor resistencia, sellando los poros haciendo un concreto más impermeable.



## 2 RESISTENCIA AL ATAQUE DE SULFATOS Y CLORUROS

El hidróxido de calcio, liberado en la hidratación del cemento, reacciona con los sulfatos produciendo sulfato de calcio deshidratado que genera una expansión del 18% del sólido y produce también etringita que es el compuesto causante de la fisuración del concreto.

Debido a la capacidad de la puzolana de Yura para fijar este hidróxido de calcio liberado y a su mayor impermeabilidad, el CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP es resistente a los sulfatos, cloruros y al ataque químico de otros iones agresivos.

Resultados de laboratorio demuestran que el CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP, tiene mayor resistencia a los sulfatos que el cemento Tipo V.



## 3 MAYOR IMPERMEABILIDAD

El CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP, produce mayor cantidad de silicatos cálcicos, debido a la reacción de los silicatos de la puzolana con los hidróxido de calcio producidos en la hidratación del cemento disminuyendo la porosidad capilar, así el concreto se hace más impermeable y protege a la estructura metálica de la corrosión.

## 4 REDUCE LA REACCIÓN NOCIVA ÁLCALI- AGREGADO

La puzolana de Yura remueve los álcalis de la pasta de cemento antes que estos puedan reaccionar con los agregados evitando así la fisuración del concreto debido a la reacción expansiva álcali - agregado, ante la presencia de agregados álcali reactivos.

El ensayo de expansión del mortero es un requisito opcional de los cementos portland puzolánicos y se solicita cuando el cemento es utilizado con agregados álcali reactivos.

El CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP cumple con este requisito opcional demostrado en ensayos de laboratorio. Así se demuestra la efectividad de su puzolana en controlar la expansión causada por la reacción entre los agregados reactivos y los álcalis del cemento.



## 5 RECOMENDACIONES DE USO

- Curado adecuado con abundante agua.
- Mantener humectada la superficie para lograr la mayor resistencia y evitar fisuramiento por excesivo secado.
- Tomar precauciones para el adecuado curado en vaciados cuando se presentan bajas temperaturas.
- Asesorarse siempre con un profesional de la construcción/ingeniero civil.

## RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD

El contacto con este producto provoca irritación cutánea e irritación ocular grave, evite el contacto directo en piel y mucosas.

En caso de contacto con los ojos, lavar con abundante agua limpia.

En caso de contacto con la piel, lavar con agua y jabón.

Para su manipulación es obligatorio el uso de los siguientes elementos de protección:

## BENEFICIOS AMBIENTALES

- Menor emisión de gases de efecto invernadero durante su fabricación
- Cemento fabricado con menor emisión de CO<sub>2</sub>.



Botas Impermeables



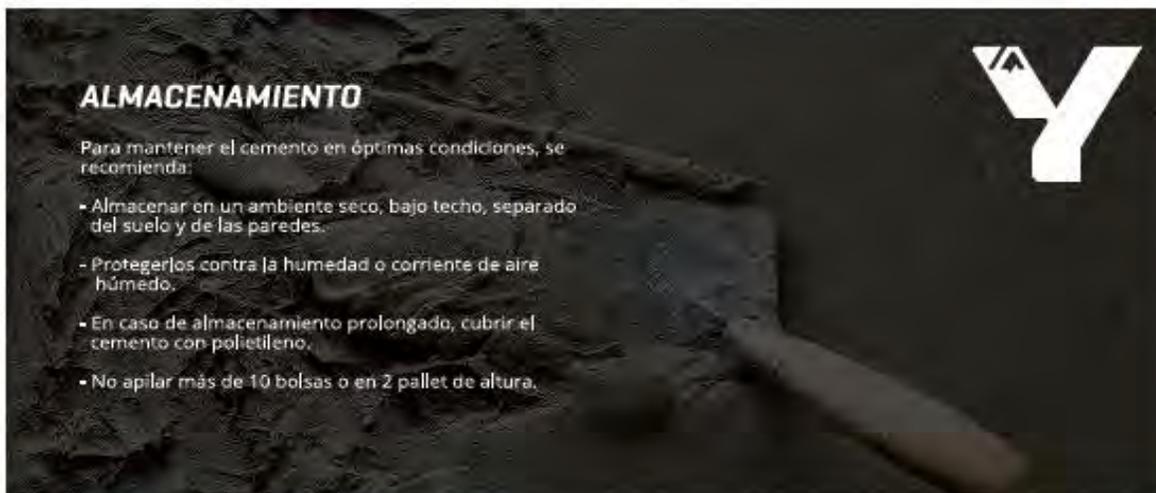
Protección Respiratoria



Guantes Impermeables



Protección Ocular



## ALMACENAMIENTO

Para mantener el cemento en óptimas condiciones, se recomienda:

- Almacenar en un ambiente seco, bajo techo, separado del suelo y de las paredes.
- Protegerlos contra la humedad o corriente de aire húmedo.
- En caso de almacenamiento prolongado, cubrir el cemento con polietileno.
- No apilar más de 10 bolsas o en 2 pallet de altura.

## PRESENTACIONES DISPONIBLES

<b>Bolsas 25 Kg</b>	Ergonómico. Ideal para proyectos pequeños y pocas áreas de almacenamiento.
<b>Bolsas 42.5 Kg</b>	Ideal para proyectos medianos y pequeños, o con accesos complicados y pocas áreas de almacenamiento.
<b>Big Bag 1.0 TM</b>	Para proyectos de constructoras que tienen planta de concreto. Facilita la manipulación de grandes volúmenes.
<b>Big Bag 1.5 TM</b>	Para proyectos mineros y de gran construcción, requiere la utilización de equipos de carga.
<b>Granel</b>	Abastecido en bombonas para descargar en silos contenedores.

## NORMAS TÉCNICAS

NORMA DE PAÍS	NORMA	DENOMINACIÓN	
NORMA TÉCNICA PERUANA	NTP 334.090	Cemento Portland Pozolánico	TIPO IP
NORMA CHILENA	NCh 148 Of.68	Cemento Pozolánico	GRADO CORRIENTE
NORMA AMERICANA	ASTM C595	Portland Pozzolan Cement	TYPE IP
NORMA BOLIVIANA	NB-011	Cemento Pozolánico	TIPO P 30
NORMA ECUATORIANA	NTE ENEN 490	Cemento Portland Pozolánico	TIPO IP
NORMA BRASILEÑA	NBR 16697	Cimento Portland pozolánico	TIPO CP IV - 25 RS
NORMA COLOMBIANA	NTC 121	Cemento Hidráulico	UG/ARS/BCH/BRA

## DURACIÓN

Almacenar y consumir de acuerdo a la fecha de producción utilizando el más antiguo. Se recomienda que el cemento sea utilizado antes de 90 días de la fecha de envasado indicada en la bolsa, luego de esa fecha, verifique la calidad del mismo.



*Cuidemos juntos el medio ambiente.*  
**Big Bag:** Se sugiere desechar como basura común.  
**Bolsas:** Se sugiere reciclar el envase.



**ANEXOS C: FICHA TÉCNICA DEL DIÓXIDO DE TITANIO  $\text{TiO}_2$** 

# FICHA TECNICA

Versión: 2.0

**TITANOS R906 Pigmento de Dióxido de Titanio Rutilo**

<b>Descripción</b>	Es producido por proceso de sulfato, que es uno de rutilo cuya superficie está tratada con compuesto inorgánico que consiste en aluminio, circonio y polialcohol orgánico, que tiene carácter óptico excelente, utilizar zinc como agente estabilizante
<b>Aplicaciones</b>	Se recomienda para su evaluación en: <ul style="list-style-type: none"><li>• Pinturas para interiores y exteriores de alta calidad.</li><li>• Disolventes y pinturas al agua.</li><li>• Masterbatch, plástico, PVC.</li><li>• Tintas, cuero, goma, etc.</li></ul>
<b>Propiedades</b>	Contenido $\text{TiO}_2$ : $\geq 93\%$ Tratamiento Orgánico: Sí Tratamiento Inorgánico: Sí Gravedad Especifica ( $\text{g/cm}^3$ ): 4.1 Absorción de Aceite ( $\text{g/100g}$ ): $\leq 22$ Valor de pH: 6.0 – 8.5 Residuo en Tamiz de $45\ \mu\text{m}$ (m/m): $\leq 0.05\%$
<b>Clasificaciones</b>	ISO 591: R2 ASTM D-476-00: Tipo II Numero CAS 13463-67-7 Indice de Color: 77891 Pigment white 6
Almacenaje: Mantenga el producto sin apilar en habitaciones secas y cerradas a temperatura y humedad del aire normales. Para lograr los mejores resultados posibles, recomendamos el almacenamiento en las condiciones	

**ANEXOS D: DOCUMENTO DE ENTREGA DE ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS**

	ACTA DE DONACIÓN DE RESIDUOS	Macroproceso Gestión de medio ambiente		
	MAGR06-E001	Fecha de vigencia: 2017/04	Versión: 02	Aprobado por: ALP



Corporación Aceros Arequipa S.A.

ACTA DE DONACIÓN DE RESIDUOS  
N° 001-2020

Pisco 05 de febrero de 2020

Carlos Alberto Caparo Chalco  
Egresado de Ingeniería Civil de la Universidad San Antonio Abad del Cusco

Por el presente documento Corporación Aceros Arequipa S.A. representado por el Ing. **José Alexis Luján Pérez**, Jefe de Medio Ambiente, transfiere gratuitamente en calidad de donación, **600 kg de escoria** al señor **Carlos Alberto Caparo Chalco**, identificado con DNI 71722002, Egresado de Ingeniería Civil de la Universidad San Antonio Abad del Cusco.

La presente donación tiene como finalidad dar atención a la solicitud en el cual el beneficiario se hace responsable de cumplir el uso del material según lo indicado en la solicitud, sin perjuicio a Corporación Aceros Arequipa SA.

Por lo tanto, cabe indicar en ninguna circunstancia esta donación deberá comercializarse ni ser utilizada para otros fines.

En fecha **05 de marzo de 2020** se firma el presente documento entre Carlos Alberto Caparo Chalco y el representante de Corporación Aceros Arequipa S.A.

  
 Jefe **JOSE ALEXIS LUJÁN PEREZ**  
 Medio Jefe de Medio ambiente  
**DONANTE**

  
**CARLOS ALBERTO CAPARO CHALLCO**  
 DNI: 71722002  
**BENEFICIARIO**

Carretera Panamericana sur Km241, Paracas, Pisco – Ica.  
Telf. (01) 5171800– Fax: (01) 452 0059



**ANEXOS E: COMPOSICIÓN QUÍMICA ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS**

**Tabla 45**

*Composición Química EHE*

		INFORME DE ENSAYO DE ANALISIS QUIMICO										Pag. 1/1		
LABORATORIO DE ENSAYO DE CORPORACION AREQUIPA S.A.														
Razón Social (Nombre Cliente):		CONSTRUCCIÓN Y ADMINISTRACIÓN S.A.												
Representante:		Rodolfo Guerra Torres												
Dirección:		Fundo las Rosas s/n km. 227+500 – San Clemente												
Teléfono:		(056)535957 – Anexo (104)												
Referencia/Contacto:		Luis Huamán Salazar												
Fecha Informe:		16/02/2017												
Informe de Ensayo N°:		LABQUIMI-2017-01												
<b>RESULTADOS:</b>														
Identificación de la Muestra		Concentración (%)												
		CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	S	FeO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>					
Escoria (valores mínimos)		18.3	5.4	9.0	3.2	0.01	0.051	0.4	0.054					
Escoria (valores máximos)		57.2	13.6	37.5	27.2	3.97	2.259	33.1	0.721					
Escoria (valores promedios)		39.8	9.5	23.4	10.6	0.78	0.725	7.6	0.386					
OBSERVACIONES: Análisis típicos de muestra de escoria CAASA.														
Método de Ensayo:		NORMAS ASTM												
Equipo Usado:		ABSORCIÓN ATÓMICA												
Código Interno del Equipo:		INORGANICO AA-400												
Nombre del Analista:		-----												
Descripción de la muestra:		ESCORIA												
Fecha recepción de la Muestra:		-----												
Fecha de ejecución de Ensayo:		-----												
* Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita de CAASA														
* Los resultados de este informe solo son validos para la muestra analizada														
Panamericana Sur Km 340.Pisco-Ica, Perú														
Teléfono: 5111800 Anexo 2352-2353-2577														

CORPORACION  
 ACEROS AREQUIPA S.A.  
 160217 010  
 Jefe de Laboratorio Químico  
 José Castilla Rebatta  
 JEFE DE LABORATORIO

**ANEXOS F: CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DE RESULTADOS**



# MC QUIMICALAB

De: Ing: Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
**LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES**  
**AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE**  
 RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN Cel: 974673993 - 946887776 - 951562574

**INFORME N° LQ 0719-21**  
**ANÁLISIS FOTOCATALÍTICO EN PRISMAS DE CONCRETO**

**SOLICITA** :  
 - Bach. Carlos Alberto Caparo Chalco  
 - Bach. Aldo Yimi Pilares Mamani

**TESIS** : "ANÁLISIS DE ABSORCIÓN FOTOCATALÍTICA Y RESISTENCIA DEL CONCRETO ADICIONANDO DIOXIDO DE TITANIO Y ESCORIA DE HORNOS ELECTRICOS, CUSCO – 2020"

**PROVINCIA** : Cusco  
**DEPARTAMENTO** : CUSCO  
**FECHA DE RESULTADOS** : 01/02/2021  
**RESULTADOS** :

Muestras	Entrada (mg/m3)	PATRON (mg/m3)	SALIDA (mg/m3)	REDUCCION (mg/m3)	% REDUCCION
Patrón	15.00	5.44	5.44		
EHE 25 - TiO2 5	15.00	5.44	4.12	1.32	24%
EHE 25 - TiO2 7.5	15.00	5.44	3.82	1.62	30%
EHE 25 - TiO2 7.5	15.00	5.44	3.82	1.62	30%
EHE 50 - TiO2 5	15.00	5.44	3.09	2.35	43%
EHE 50 - TiO2 7.5	15.00	5.44	2.94	2.50	46%
EHE 50 - TiO2 10	15.00	5.44	3.68	1.76	32%
EHE 75 - TiO2 5	15.00	5.44	4.41	1.03	19%
EHE 75 - TiO2 7.5	15.00	5.44	3.24	2.21	41%
EHE 75 - TiO2 10	15.00	5.44	3.09	2.35	43%

**METODOLOGIA DE PRUEBA:**

- La muestra en análisis fue primas de concreto elaborados con los materiales especificados en dicha investigación.
- La prueba de análisis fotocatalítica de absorción de NOx fue realizada por un método experimental cumpliendo las normas y requisitos de la norma ISO 22197-1.

**NOTA:**

- Los resultados son únicamente validos para la tesis mencionada.
- Las muestras fueron elaboradas y brindadas por los solicitantes.

**MC QUIMICALAB**  
  
 Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
 ADMINISTRACION  
 CIP: 248338

**MARIO CUMPA CAYURI**  
 INGENIERO QUIMICO  
 REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16186

**ANEXOS G: DISEÑO DE MEZCLAS**

**Tabla 46**

*Tabla Diseño de mezcla de Concreto Control (CC)*

ELABORACIÓN, REVISIÓN Y VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA															
Nomenclatura del Diseño de Mezcla de Concreto Premezclado:			CC			CÓDIGO SAP			CÓDIGO DE DISEÑO			CC			
FECHA:			16/09/2020			HORA A/C			11:59			FACTOR DE TANDA		0.018	
I. PROPIEDADES FÍSICAS Y FORMULACIÓN DEL DISEÑO															
N°	Material	Procedencia	Propiedades Físicas del Agregado, Cemento y Aditivo							Formulación del Concreto					
			Peso Especifico (kg/m <sup>3</sup> )	Absorción (%)	MF	Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Compactado (kg/m <sup>3</sup> )	Humedad (%)	Malla > 200	Peso sss (kg)	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	Peso corregido por humedad (kg)	Peso de la tanda (kg)		
1	Cemento Tipo IP	100.00%	Yura S.A.	2800								424	0.1514	424	7.632
2	TiO <sub>2</sub>	0.00%	Yura S.A.	4100								0	0.0000	0	0.000
3	Agua	100.00%	Planta Wanchaq	1000								246	0.2459	203	3.653
4	Arena Gruesa	100.00%	San Salvador	2660	1.52	3.28	1690	1872	6.61			874	0.3287	919	16.540
5	EHE FINO	0.00%	A A PISCO	3257	2.88	2.8	1955	2120	1.73			0	0.0000	0	0.000
6	EHE GRUESO	0.00%	PISCO	2768	2.33	6.13	1678	1734	0.40			0	0.0000	0	0.000
7	Piedra Huso 7 - TMN 1/2"	100.00%	San Salvador	2673	1.32	6.27	1579	1639	1.11			719	0.2689	717	12.913
8	% Aire Atrapado	2.50%											0.0250		
<b>Peso Total (kg.)</b>											<b>2263.17</b>	<b>1.0200</b>	<b>2263.17</b>	<b>40.74</b>	
II. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO:			III. VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA												
1	FC (kg)	424	Humedad relativa (%)	30	(*) Pérdida de Asentamiento y Aire					(*) Fragua (hh:mm)					
	Material cementante (kg)	424	Temp. concreto (°C)	20.7	Tiempo (minutos)			Slump (cm.)	Aire (%)	Temp. Concreto °C	Temp. Ambiente °C	Inicial			
	a/c	0.580	Temp. ambiente (°C)	23.9	-			-	-	-	-	-			
	a/cmt	0.580	(**)Asentamiento (Slump) (cm.)	9.5	-			-	-	-	-	Final			
	rf (%)	0.55	Extensibilidad (cm.)		-			-	-	-	-	-			
	MC	4.63	Peso unitario (kg/m <sup>3</sup> )	2286	-			-	-	-	-	-			
Notas:			Rendimiento (m <sup>3</sup> )	0.99	Observaciones:										
			Contenido de Aire (%)	1.6											
			Volumen de tanda (Peso tanda/PU) (m <sup>3</sup> )	0.018											

**Tabla 47**

*Diseño de mezcla de CEHE 25 – TiO2 5*

ELABORACIÓN, REVISIÓN Y VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA														
Nomenclatura del Diseño de Mezcla de Concreto Premezclado:		CEHE 25 - TIO2 5			CÓDIGO SAP		CÓDIGO DE DISEÑO		CEHC25-TIO25					
FECHA:		16/09/2020			HORA A/C		11:58		FACTOR DE TANDA		0.016			
I. PROPIEDADES FÍSICAS Y FORMULACIÓN DEL DISEÑO														
N°	Material	Procedencia	Propiedades Físicas del Agregado, Cemento y Aditivo							Formulación del Concreto				
			Peso Especifico (kg/m3)	Absorción (%)	MF	Peso Unitario Suelto (kg/m3)	Peso Unitario Compactado (kg/m3)	Humedad (%)	Malla > 200	Peso ass (kg)	Volumen absoluto (m3)	Peso corregido por humedad (kg)	Peso de la tanda (kg)	
1	Cemento Tipo IP	95.00%	Yura S.A.	2800							403	0.1439	403	6.445
2	TiO2	5.00%	Quimica Regasa	4100							21	0.0052	21	0.339
3	Agua	100.00%	Planta Wanchaq	1000							246	0.2459	221	3.535
4	Arena Gruesa	75.00%	San Salvador	2660	1.52	3.28	1690	1872	7.41		658	0.2475	697	11.155
5	EHE FINO	25.00%	A A PISCO	3257	2.88	2.8	1955	2120	0.80		269	0.0825	263	4.210
6	EHE GRUESO	25.00%	PISCO	3257	2.14	6.13	1678	1734	0.30		220	0.0675	216	3.453
7	Piedra Huso 7 - TMN 1/2"	75.00%	San Salvador	2673	1.32	6.27	1579	1639	0.55		541	0.2025	537	8.595
8	% Aire Atrapado	2.50%										0.0250		
<b>Peso Total (kg.)</b>											<b>2358.25</b>	<b>1.0200</b>	<b>2358.25</b>	<b>37.73</b>
II. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO:				III. VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA										
1	FC (kg)	403	Humedad relativa (%)	37	(*) Perdida de Asentamiento y Aire					(*) Fragua (hh:mm)				
	Material cementante (kg)	424	Temp. concreto (°C)	20.0	Tiempo (minutos)	Slump (cm.)	Aire (%)	Temp. Concreto	Temp. Ambiente	Inicial				
	a/c	0.580	Temp. ambiente (°C)	26.0	-	-	-	-	-	-				
	a/cmt	0.580	(**)Asentamiento (Slump) (cm.)	9	-	-	-	-	-	Final				
	rf (%)	0.55	Extensibilidad (cm.)		-	-	-	-	-	-				
	MC	4.47	Peso unitario (kg/m3)	2395	-	-	-	-	-	-				
Notas:				Rendimiento (m3)	0.98	Observaciones:								
				Contenido de Aire (%)	1.8									
				Volumen de tanda (Peso tanda/PU) (m3)	0.016									

**Tabla 48**

*Diseño de mezcla de CEHE 25 – TiO2 7.5*

ELABORACIÓN, REVISIÓN Y VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA														
Nomenclatura del Diseño de Mezcla de Concreto Premezclado:			CEHE 25 - TiO2 7.5			CÓDIGO SAP			CÓDIGO DE DISEÑO		CEHC25-TiO2 7.5			
FECHA:			17/09/2020			HORA A/C			12:20		FACTOR DE TANDA		0.016	
<b>I. PROPIEDADES FÍSICAS Y FORMULACIÓN DEL DISEÑO</b>														
N°	Material	Procedencia	Propiedades Físicas del Agregado, Cemento y Aditivo							Formulación del Concreto				
			Peso Especifico (kg/m3)	Absorción (%)	MF	Peso Unitario Suelto (kg/m3)	Peso Unitario Compactado (kg/m3)	Humedad (%)	Mealla > 200	Peso ass (kg)	Volumen absoluto (m3)	Peso corregido por humedad (kg)	Peso de la tanda (kg)	
1	Cemento Tipo IP	92.50%	Yura S.A.	2800							392	0.1401	392	6.275
2	TiO2	7.50%	Yura S.A.	4100							32	0.0078	32	0.509
3	Agua	100.00%	Planta Wanchaq	1000							246	0.2459	221	3.534
4	Arena Gruesa	75.00%	San Salvador	2660	1.52	3.28	1690	1872	7.41		660	0.2480	699	11.177
5	EHE FINO	25.00%	A A PISCO	3257	2.88	2.8	1955	2120	0.80		269	0.0827	264	4.219
6	EHE GRUESO	25.00%	PISCO	3257	2.14	6.13	1678	1734	0.30		220	0.0676	216	3.460
7	Piedra Huso 7 - TMN 1/2"	75.00%	San Salvador	2673	1.32	6.27	1579	1639	0.55		542	0.2029	538	8.612
8	% Aire Atrapado	2.50%										0.0250		
<b>Peso Total (kg.)</b>											2361.63	1.0200	2361.63	37.79
<b>II. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO:</b>														
<b>III. VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA</b>														
1	FC (kg)	392	Humedad relativa (%)	37	(*) Perdida de Asentamiento y Aire					(*) Fragua (hh:mm)				
	Material cementante (kg)	424	Temp. concreto (°C)	21.0	Tiempo (minutos)		Slump (cm.)	Aire (%)	Temp. Concreto	Temp. Ambiente	Inicial			
	a/c	0.580	Temp. ambiente (°C)	26.0	-		-	-	-	-	-			
	a/cmt	0.580	(**)Asentamiento (Slump) (cm.)	14	-		-	-	-	-	Final			
	rf (%)	0.55	Extensibilidad (cm.)		-		-	-	-	-	-			
	MC	4.47	Peso unitario (kg/m3)	2396	-		-	-	-	-	-			
Notas:			Rendimiento (m3)	0.99	Observaciones:									
			Contenido de Aire (%)	1.8										
			Volumen de tanda (Peso tanda/PU) (m3)	0.016										

**Tabla 49**

*Diseño de mezcla de CEHE 25 – TiO2 10*

ELABORACIÓN, REVISIÓN Y VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA														
Nomenclatura del Diseño de Mezcla de Concreto Premezclado:			CEHE 25 - TiO2 10			CÓDIGO SAP		CÓDIGO DE DISEÑO		CEHC25-TiO2 10				
FECHA:			17/09/2020			HORA A/C		12:32		FACTOR DE TANDA		0.016		
I. PROPIEDADES FÍSICAS Y FORMULACIÓN DEL DISEÑO														
N°	Material	Procedencia	Propiedades Físicas del Agregado, Cemento y Aditivo							Formulación del Concreto				
			Peso Especifico (kg/m3)	Absorción (%)	MF	Peso Unitario Suelto (kg/m3)	Peso Unitario Compactado (kg/m3)	Humedad (%)	Malla > 200	Peso sss (kg)	Volumen absoluto (m3)	Peso corregido por humedad (kg)	Peso de la tanda (kg)	
1	Cemento Tipo IP	90.00%	Yura S.A.	2800							382	0.1363	382	6.106
2	TiO2	10.00%	Yura S.A.	4100							42	0.0103	42	0.678
3	Agua	100.00%	Planta Wanchaq	1000							246	0.2459	221	3.533
4	Arena Gruesa	75.00%	San Salvador	2660	1.52	3.28	1690	1872	7.41		661	0.2485	700	11.200
5	EHE FINO	25.00%	A A PISCO	3257	2.88	2.8	1955	2120	0.80		270	0.0828	264	4.227
6	EHE GRUESO	25.00%	PISCO	3257	2.14	6.13	1678	1734	0.30		221	0.0678	217	3.467
7	Piedra Huso 7 - TMN 1/2"	75.00%	San Salvador	2673	1.32	6.27	1579	1639	0.55		543	0.2033	539	8.629
8	% Aire Atrapado	2.50%										0.0250		
<b>Peso Total (kg.)</b>											<b>2365.00</b>	<b>1.0200</b>	<b>2365.00</b>	<b>37.84</b>
II. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO:				III. VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA										
1	FC (kg)	382	Humedad relativa (%)	37	(*) Perdida de Asentamiento y Aire					(*) Fragua (hh:mm)				
	Material cementante (kg)	424	Temp. concreto (°C)	21.0	Tiempo (minutos)		Slump (cm.)	Aire (%)	Temp. Concreto	Temp. Ambiente	Inicial			
	a/c	0.580	Temp. ambiente (°C)	26.0	-		-	-	-	-	-			
	a/cmt	0.580	(**)Asentamiento (Slump) (cm.)	9	-		-	-	-	-	Final			
	rf (%)	0.55	Extensibilidad (cm.)		-		-	-	-	-	-			
	MC	4.47	Peso unitario (kg/m3)	2398	-		-	-	-	-	-			
Notas:				Rendimiento (m3)	0.99	Observaciones:								
				Contenido de Aire (%)	1.9									
				Volumen de tanda (Peso tanda/PU) (m3)	0.016									

**Tabla 50**

*Diseño de mezcla de CEHE 50 – TiO2 5*

ELABORACIÓN, REVISIÓN Y VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA														
Nomenclatura del Diseño de Mezcla de Concreto Premezclado:			CEHE 50 - TiO2 5			CÓDIGO SAP				CÓDIGO DE DISEÑO		CEHC50-TiO2 5		
			FECHA:		17/09/2020		HORA A/C		15:02		FACTOR DE TANDA		0.018	
<b>I. PROPIEDADES FÍSICAS Y FORMULACIÓN DEL DISEÑO</b>														
N°	Material	Procedencia	Propiedades Físicas del Agregado, Cemento y Aditivo							Formulación del Concreto				
			Peso Especifico (kg/m3)	Absorción (%)	MF	Peso Unitario Sueito (kg/m3)	Peso Unitario Compactado (kg/m3)	Humedad (%)	Malla > 200	Peso sss (kg)	Volumen absoluto (m3)	Peso corregido por humedad (kg)	Peso de la tanda (kg)	
1	Cemento Tipo IP	95.00%	Yura S.A.	2800							403	0.1439	403	7.250
2	TiO2	5.00%	Yura S.A.	4100							21	0.0052	21	0.382
3	Agua	100.00%	Planta Wanchaq	1000							246	0.2459	239	4.294
4	Arena Gruesa	50.00%	San Salvador	2660	1.52	3.28	1690	1872	8.11		439	0.1650	468	8.422
5	EHE FINO	50.00%	A A PISCO	3257	2.88	2.8	1955	2120	0.60		537	0.1650	525	9.454
6	EHE GRUESO	50.00%	PISCO	3257	2.14	6.13	1678	1734	0.65		440	0.1350	433	7.797
7	Piedra Huso 7 - TMN 1/2"	50.00%	San Salvador	2673	1.32	6.27	1579	1639	0.55		361	0.1350	358	6.446
8	% Aire Atrapado	2.50%										0.0250		
<b>Peso Total (kg.)</b>											<b>2446.93</b>	<b>1.0200</b>	<b>2446.93</b>	<b>44.04</b>
<b>II. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO:</b>				<b>III. VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA</b>										
1	FC (kg)	403	Humedad relativa (%)	34	(*) Perdida de Asentamiento y Aire					(*) Fragua (hh:mm)				
	Material cementante (kg)	424	Temp. concreto (°C)	19.0	Tiempo (minutos)	Slump (cm.)	Aire (%)	Temp. Concreto	Temp. Ambiente	Inicial				
	a/c	0.580	Temp. ambiente (°C)	22.0	-	-	-	-	-	-				
	a/cmt	0.580	(**)Asentamiento (Slump) (cm.)	10	-	-	-	-	-	Final				
	rf (%)	0.55	Extensibilidad (cm.)		-	-	-	-	-	-				
	MC	4.32	Peso unitario (kg/m3)	2478	-	-	-	-	-	-				
Notas:			Rendimiento (m3)	0.99	Observaciones:									
			Contenido de Aire (%)	2.1										
			Volumen de tanda (Peso tanda/PU) (m3)	0.018										

**Tabla 51**

*Diseño de mezcla de CEHE 50 – TiO2 7.5*

ELABORACIÓN, REVISIÓN Y VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA														
Nomenclatura del Diseño de Mezcla de Concreto Premezclado:			CEHE 50 - TiO2 7.5			CÓDIGO SAP				CÓDIGO DE DISEÑO		CEHC50-TiO2 7.5		
			FECHA:		18/09/2020	HORA A/C		15:32		FACTOR DE TANDA		0.016		
I. PROPIEDADES FÍSICAS Y FORMULACIÓN DEL DISEÑO														
N°	Material	Procedencia	Propiedades Físicas del Agregado, Cemento y Aditivo							Formulación del Concreto				
			Peso Especifico (kg/m3)	Absorción (%)	MF	Peso Unitario Suelto (kg/m3)	Peso Unitario Compactado (kg/m3)	Humedad (%)	Malla > 200	Peso sss (kg)	Volumen absoluto (m3)	Peso corregido por humedad (kg)	Peso de la tanda (kg)	
1	Cemento Tipo IP	92.50%	Yura S.A.	2800							392	0.1401	392	6.275
2	TiO2	7.50%	Yura S.A.	4100							32	0.0078	32	0.509
3	Agua	100.00%	Planta Wanchaq	1000							246	0.2459	239	3.817
4	Arena Gruesa	50.00%	San Salvador	2660	1.52	3.28	1690	1872	8.11		440	0.1653	469	7.501
5	EHE FINO	50.00%	A A PISCO	3257	2.88	2.8	1955	2120	0.60		539	0.1653	526	8.420
6	EHE GRUESO	50.00%	PISCO	3257	2.14	6.13	1678	1734	0.65		441	0.1353	434	6.945
7	Piedra Huso 7 - TMN 1/2"	50.00%	San Salvador	2673	1.32	6.27	1579	1639	0.55		362	0.1353	359	5.741
8	% Aire Atrapado	2.50%										0.0250		
<b>Peso Total (kg.)</b>											<b>2450.48</b>	<b>1.0200</b>	<b>2450.48</b>	<b>39.21</b>
II. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO:				III. VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA										
1	FC (kg)	392	Humedad relativa (%)	42	(*) Perdida de Asentamiento y Aire					(**) Fragua (hh:mm)				
	Material cementante (kg)	424	Temp. concreto (°C)	19.0	Tiempo (minutos)		Slump (cm.)	Aire (%)	Temp. Concreto	Temp. Ambiente	Inicial			
	a/c	0.580	Temp. ambiente (°C)	20.0	-		-	-	-	-	-			
	a/cmt	0.580	(**)Asentamiento (Slump) (cm.)	8	-		-	-	-	-	Final			
	rf (%)	0.55	Extensibilidad (cm.)		-		-	-	-	-	-			
	MC	4.32	Peso unitario (kg/m3)	2468	-		-	-	-	-				
Notas:			Rendimiento (m3)	0.99	Observaciones:									
			Contenido de Aire (%)	2.1										
			Volumen de tanda (Peso tanda/PU) (m3)	0.016										

**Tabla 52**

*Diseño de mezcla de CEHE 50 – TiO2 10*

ELABORACIÓN, REVISIÓN Y VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA														
Nomenclatura del Diseño de Mezcla de Concreto Premezclado:			CEHE50 - TiO2 10			CÓDIGO SAP		CÓDIGO DE DISEÑO		CEHC50-TiO2 10				
FECHA:			18/09/2020			HORA A/C		16:55		FACTOR DE TANDA		0.016		
I. PROPIEDADES FÍSICAS Y FORMULACIÓN DEL DISEÑO														
N°	Material	Procedencia	Propiedades Físicas del Agregado, Cemento y Aditivo							Formulación del Concreto				
			Peso Especifico (kg/m <sup>3</sup> )	Absorción (%)	MF	Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Compactado (kg/m <sup>3</sup> )	Humedad (%)	Malla > 200	Peso sss (kg)	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	Peso corregido por humedad (kg)	Peso de la tanda (kg)	
1	Cemento Tipo IP	90.00%	Yura S.A.	2800							382	0.1363	382	6.106
2	TiO2	10.00%	Yura S.A.	4100							42	0.0103	42	0.678
3	Água	100.00%	Planta Wanchaq	1000							246	0.2459	239	3.817
4	Arena Gruesa	50.00%	San Salvador	2660	1.52	3.28	1690	1872	8.11		441	0.1657	470	7.516
5	EHE FINO	50.00%	A A PISCO	3257	2.88	2.8	1955	2120	0.60		540	0.1657	527	8.437
6	EHE GRUESO	50.00%	PISCO	3257	2.14	6.13	1678	1734	0.65		441	0.1356	435	6.959
7	Piedra Huso 7 - TMN 1/2"	50.00%	San Salvador	2673	1.32	6.27	1579	1639	0.55		362	0.1356	360	5.753
8	% Aire Atrapado	2.50%										0.0250		
<b>Peso Total (kg.)</b>											<b>2454.04</b>	<b>1.0200</b>	<b>2454.04</b>	<b>39.26</b>
II. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO:				III. VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA										
1	FC (kg)	382	Humedad relativa (%)	43	(*) Pérdida de Asentamiento y Aire					(*) Fragua (hh:mm)				
	Material cementante (kg)	424	Temp. concreto (°C)	19.0	Tiempo (minutos)		Slump (cm.)	Aire (%)	Temp. Concreto	Temp. Ambiente	Inicial			
	a/c	0.580	Temp. ambiente (°C)	20.0	-		-	-	-	-	-			
	a/cmt	0.580	(**)Asentamiento (Slump) (cm.)	8	-		-	-	-	-	Final			
	rf (%)	0.55	Extensibilidad (cm.)		-		-	-	-	-	-			
	MC	4.32	Peso unitario (kg/m <sup>3</sup> )	2468	-		-	-	-	-	-			
Notas:			Rendimiento (m <sup>3</sup> )	0.99	Observaciones:									
			Contenido de Aire (%)	2.1										
			Volumen de tanda (Peso tanda/PU) (m <sup>3</sup> )	0.016										

**Tabla 53**

*Diseño de mezcla de CEHE 75 – TiO2 5*

ELABORACIÓN, REVISIÓN Y VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA														
Nomenclatura del Diseño de Mezcla de Concreto Premezclado:			CEHE 75 - TiO2 5			CÓDIGO SAP				CÓDIGO DE DISEÑO		CEHE 75-TiO2 5		
			FECHA:		19/09/2020		HORA A/C		10:28		FACTOR DE TANDA		0.016	
I. PROPIEDADES FÍSICAS Y FORMULACIÓN DEL DISEÑO														
Nº	Material	Procedencia	Propiedades Físicas del Agregado, Cemento y Aditivo							Formulación del Concreto				
			Peso Especifico (kg/m <sup>3</sup> )	Absorción (%)	MF	Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Compactado (kg/m <sup>3</sup> )	Humedad (%)	Malla > 200	Peso sss (kg)	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	Peso corregido por humedad (kg)	Peso de la tanda (kg)	
1	Cemento Tipo IP	95.00%	Yura S.A.	2800							403	0.1439	403	6.445
2	TiO2	5.00%	Yura S.A.	4100							21	0.0052	21	0.339
3	Agua	100.00%	Planta Wanchaq	1000							246	0.2459	263	4.213
4	Arena Gruesa	25.00%	San Salvador	2660	1.52	3.28	1690	1872	7.41		219	0.0825	232	3.718
5	EHE FINO	75.00%	A A PISCO	3257	2.88	2.8	1955	2120	0.80		806	0.2475	789	12.631
6	EHE GRUESO	75.00%	PISCO	3257	2.14	6.13	1678	1734	0.30		660	0.2025	647	10.359
7	Piedra Huso 7 - TMN 1/2"	25.00%	San Salvador	2673	1.32	6.27	1579	1639	0.55		180	0.0675	179	2.865
8	% Aire Atrapado	2.50%										0.0250		
<b>Peso Total (kg.)</b>											<b>2535.61</b>	<b>1.0200</b>	<b>2535.61</b>	<b>40.57</b>
II. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO:				III. VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA										
1	FC (kg)	403	Humedad relativa (%)	36	(*) Perdida de Asentamiento y Aire					(*) Fragua (hh:mm)				
	Material cementante (kg)	424	Temp. concreto (°C)	19.6	Tempo (minutos)	Slump (cm.)	Aire (%)	Temp. Concreto	Temp. Ambiente	Inicial				
	a/c	0.580	Temp. ambiente (°C)	24.1	-	-	-	-	-	-				
	a/cmt	0.580	(**)Asentamiento (Slump) (cm.)	10	-	-	-	-	-	Final				
	rf (%)	0.55	Extensibilidad (cm.)		-	-	-	-	-	-				
	MC	4.17	Peso unitario (kg/m <sup>3</sup> )	2565	-	-	-	-	-	-				
Notas:			Rendimiento (m <sup>3</sup> )	0.99	Observaciones:									
			Contenido de Aire (%)	2.5										
			Volumen de tanda (Peso tanda/PU) (m <sup>3</sup> )	0.016										

**Tabla 54**

*Diseño de mezcla de CEHE 75 – TiO<sub>2</sub> 7.5*

ELABORACIÓN, REVISIÓN Y VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA														
Nomenclatura del Diseño de Mezcla de Concreto Premezclado:			CEHE 75 - TiO <sub>2</sub> 7.5			CÓDIGO SAP				CÓDIGO DE DISEÑO		CEHE 75-TiO <sub>2</sub> 7.5		
			FECHA:		19/09/2020		HORA A/C		10:52		FACTOR DE TANDA		0.016	
<b>I. PROPIEDADES FÍSICAS Y FORMULACIÓN DEL DISEÑO</b>														
N°	Material	Procedencia	Propiedades Físicas del Agregado, Cemento y Aditivo							Formulación del Concreto				
			Peso Específico (kg/m <sup>3</sup> )	Absorción (%)	MF	Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Compactado (kg/m <sup>3</sup> )	Humedad (%)	Malla > 200	Peso sss (kg)	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	Peso corregido por humedad (kg)	Peso de la tanda (kg)	
1	Cemento Tipo IP	92.50%	Yura S.A.	2800							392	0.1401	392	6.275
2	TiO <sub>2</sub>	7.50%	Yura S.A.	4100							32	0.0078	32	0.509
3	Agua	100.00%	Planta Wanchaq	1000							246	0.2459	263	4.213
4	Arena Gruesa	25.00%	San Salvador	2660	1.52	3.28	1690	1872	7.41		220	0.0827	233	3.726
5	EHE FINO	75.00%	A A PISCO	3257	2.88	2.8	1955	2120	0.80		808	0.2480	791	12.656
6	EHE GRUESO	75.00%	PISCO	3257	2.14	6.13	1678	1734	0.30		661	0.2029	649	10.380
7	Piedra Huso 7 - TMN 1/2"	25.00%	San Salvador	2673	1.32	6.27	1579	1639	0.55		181	0.0676	179	2.871
8	% Aire Atrapado	2.50%										0.0250		
<b>Peso Total (kg.)</b>										<b>2539.34</b>	<b>1.0200</b>	<b>2539.34</b>	<b>40.63</b>	
<b>II. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO:</b>				<b>III. VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA</b>										
1	FC (kg)	392	Humedad relativa ( %)	34	(*) Perdida de Asentamiento y Aire					(*) Fragua (hh:mm)				
	Material cementante (kg)	424	Temp. concreto (°C)	20.1	Tiempo (minutos)		Slump (cm.)	Aire (%)	Temp. Concreto	Temp. Ambiente	Inicial			
	a/c	0.580	Temp. ambiente (°C)	25.0	-		-	-	-	-	-			
	a/cmt	0.580	(**)Asentamiento (Slump) (cm.)	10	-		-	-	-	-	Final			
	rf (%)	0.55	Extensibilidad (cm.)		-		-	-	-	-	-			
	MC	4.17	Peso unitario (kg/m <sup>3</sup> )	2567	-		-	-	-	-				
Notas:			Rendimiento (m <sup>3</sup> )	0.99	Observaciones:									
			Contenido de Aire (%)	2.4										
			Volumen de tanda (Peso tanda/PU) (m <sup>3</sup> )	0.016										

**Tabla 55**

*Diseño de mezcla de CEHE 75 – TiO2 10*

ELABORACIÓN, REVISIÓN Y VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA														
Nomenclatura del Diseño de Mezcla de Concreto Premezclado:				CEHE 75 - TiO2 10			CÓDIGO SAP				CÓDIGO DE DISEÑO		CEHE 75-TiO2 7.5	
				FECHA:		19/09/2020		HORA A/C		11:45		FACTOR DE TANDA		0.016
I. PROPIEDADES FÍSICAS Y FORMULACIÓN DEL DISEÑO														
N°	Material	Procedencia	Propiedades Físicas del Agregado, Cemento y Aditivo							Formulación del Concreto				
			Peso Especifico (kg/m3)	Absorción (%)	MF	Peso Unitario Suelto (kg/m3)	Peso Unitario Compactado (kg/m3)	Humedad (%)	Malla > 200	Peso ass (kg)	Volumen absoluto (m3)	Peso corregido por humedad (kg)	Peso de la tanda (kg)	
1	Cemento Tipo IP	90.00%	Yura S.A.	2800							382	0.1363	382	6.106
2	TiO2	10.00%	Yura S.A.	4100							42	0.0103	42	0.678
3	Agua	100.00%	Planta Wanchaq	1000							246	0.2459	263	4.214
4	Arena Gruesa	25.00%	San Salvador	2660	1.52	3.28	1690	1872	7.41		220	0.0828	233	3.733
5	EHE FINO	75.00%	A A PISCO	3257	2.88	2.8	1955	2120	0.80		809	0.2485	793	12.681
6	EHE GRUESO	75.00%	PISCO	3257	2.14	6.13	1678	1734	0.30		662	0.2033	650	10.401
7	Piedra Huso 7 - TMN 1/2"	25.00%	San Salvador	2673	1.32	6.27	1579	1639	0.55		181	0.0678	180	2.876
8	% Aire Atrapado	2.50%										0.0250		
<b>Peso Total (kg.)</b>											<b>2543.07</b>	<b>1.0200</b>	<b>2543.07</b>	<b>40.69</b>
II. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO:				III. VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA										
1	FC (kg)	382	Humedad relativa ( %)	35	(*) Perdida de Asentamiento y Aire					(*) Fragua (hh:mm)				
	Material cementante (kg)	424	Temp. concreto (°C)	20.0	Tiempo (minutos)		Slump (cm.)	Aire (%)	Temp. Concreto	Temp. Ambiente	Inicial			
	a/c	0.580	Temp. ambiente (°C)	26.0	-		-	-	-	-	-			
	a/cmt	0.580	(**)Asentamiento (Slump) (cm.)	12	-		-	-	-	-	Final			
	rf (%)	0.55	Extensibilidad (cm.)		-		-	-	-	-	-			
	MC	4.17	Peso unitario (kg/m3)	2568	-		-	-	-	-				
Notas:			Rendimiento (m3)	0.99	Observaciones:									
			Contenido de Aire (%)	2.0										
			Volumen de tanda (Peso tanda/PU) (m3)	0.016										



# PANEL FOTOGRAFICO



### AGREGADO GRUESO DE ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS



Siderurgica de Acero Arequipa.



Cuarteo de Agregado de  $\frac{3}{4}$  de Escoria de hornos ELÉCTRICOS.



Muestreo de agregado mayor a N° 4 Escoria de hornos ELÉCTRICOS.



Tamizado para granulometría de Agregado grueso de Escoria de hornos ELÉCTRICOS.



Material muestreado de Escoria de hornos ELÉCTRICOS.



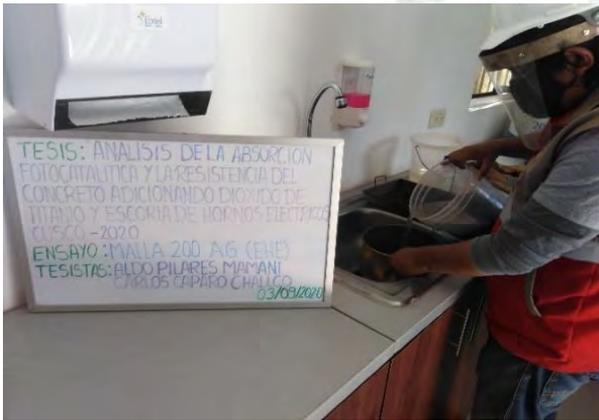
Colocado de Agregado grueso de Escoria de hornos ELÉCTRICOS en recipiente para Peso seco suelto y Peso seco compactado.



Peso seco suelto y Peso seco compactado de Agregado grueso de Escoria de hornos ELÉCTRICOS.



Pesado en canastilla sumergida para ensayo Peso específico y Absorción de Agregado grueso de Escoria de hornos ELÉCTRICOS.



Lavado por la malla 200 de Agregado grueso de Escoria de hornos ELÉCTRICOS.



AGREGADO FINO DE ESCORIA DE HORNOS ELÉCTRICOS

Muestreo de agregado menor a N°4 Escoria de hornos ELÉCTRICOS.



Secado con franela para Peso Especifico y Absorción de Agregado grueso de Escoria de hornos ELÉCTRICOS.



Lavado de agregado fino de Escoria de hornos ELÉCTRICOS.



Secado de agregado fino Escoria de hornos ELÉCTRICOS.



Equipo para Granulometría de agregado fino de Escoria de hornos ELÉCTRICOS.



Cuarteo agregado fino de Escoria de hornos ELÉCTRICOS.



Tamizado de agregado fino de Escoria de hornos ELÉCTRICOS.



Cuarteo agregado fino de Escoria de hornos ELÉCTRICOS.



Agregado fino tamizado de Escoria de hornos ELÉCTRICOS.



Compactado para Peso seco compactado de Agregado fino de Escoria de hornos ELÉCTRICOS.



Colocado en fiola del Agregado fino de Escoria de hornos ELÉCTRICOS.



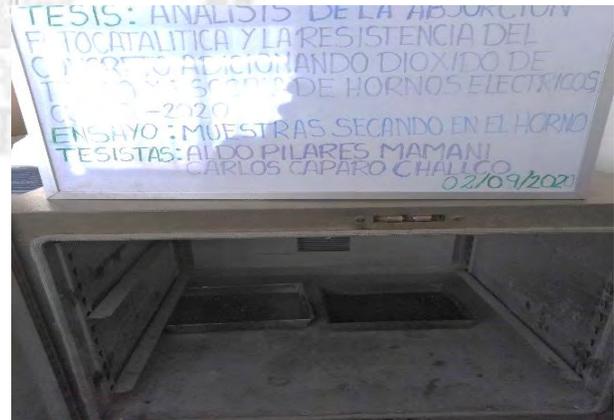
Pesado para Peso seco compactado de Agregado fino de Escoria de hornos ELÉCTRICOS.



Pesado de fiola + muestra + agua del Agregado fino de Escoria de hornos ELÉCTRICOS.



Determinación del estado saturado superficialmente seco del Agregado fino de Escoria de hornos ELÉCTRICOS.



Secado en horno de muestras de Escoria de hornos ELÉCTRICOS.

### AGREGADO GRUESO DE SUPERMIX



Muestreo de agregado grueso de  $\frac{3}{4}$  agregado Supermix



Lavado por la malla 200 agregado grueso de Supermix.



Cuarteo de agregado grueso de Supermix



Secado con franela para Peso Especifico y Absorción de Agregado grueso de Supermix.



Tamizado de agregado grueso de Supermix



Pesado en canastilla sumergida para ensayo Peso especifico y Absorción de Agregado grueso de Superman.

### AGREGADO FINO DE SUPERMIX



Muestreo de agregado fino agregado Supermix



Compactado para Peso seco compactado de Agregado fino de Supermix.



Tamizado de agregado fino agregado de Supermix



Determinación del estado saturado superficialmente seco del Agregado fino de Supermix



Lavado por la malla 200 de fino agregado de Supermix



Pesado de fiola + muestra + agua del Agregado fino de Supermix.  
VACIADO DEL CONCRETO PATRON (CC)



Equipo y herramientas para el vaciado e insumos de (CC)



Control de temperatura del concreto (CC)



Mezclado de los insumos del (CC)



Olla Washington, medición contenido de aire del concreto(CC)



Determinación de Asentamiento del concreto de (CC)



Moldeo de las briquetas del concreto (CC) (4"x8")

### VACIADO DEL CONCRETO CON EHE 25% Y TIO2 5%



Equipo y herramientas para el vaciado e insumos de (EHE 25%, TIO2 5%)



Control de temperatura del concreto (EHE 25%, TIO2 5%)



Mezclado de los insumos del (EHE 25%, TIO2 5%)



Olla Washington, medición de contenido de aire concreto (EHE 25%, TIO2 5%)



Determinación de Asentamiento del concreto de (EHE 25%, TIO2 5%)



Moldeo de las briquetas del concreto (EHE 25%, TIO2 5%) (4"x8")  
VACIADO DEL CONCRETO CON EHE 25% Y TIO2 7.5%



Equipo y herramientas para el vaciado e insumos de (EHE 25%, TIO2 7.5%)



Control de temperatura del concreto (EHE 25%, TIO2 7.5%)



Mezclado de los insumos del (EHE 25%, TIO2 7.5%)



Olla Washington, medición de contenido de aire concreto (EHE 25%, TIO2 7.5%)



Determinación de Asentamiento del concreto de (EHE 25%, TIO2 7.5%)



Moldeo de las briquetas del concreto (EHE 25%, TIO2 7.5%) (4"x8")  
VACIADO DEL CONCRETO CON EHE 25% Y TIO2 10%



Equipo y herramientas para el vaciado e insumos de (EHE 25%, TIO2 10%)



Proceso para determinar contenido de aire del (EHE 25%, TIO2 10%)



Mezclado de los insumos del (EHE 25%, TIO2 10%)



Olla Washington, medición de contenido de aire concreto (EHE 25%, TIO2 10%)



Determinación de Asentamiento del concreto de (EHE 25%, TIO2 10%)



Moldeo de las briquetas del concreto (EHE 25%, TIO2 10%) (4"x8")  
VACIADO DEL CONCRETO CON EHE 50% Y TIO2 5%



Equipo y herramientas para el vaciado e insumos de (EHE 50%, TIO2 5%)



Control de temperatura del concreto (EHE 50%, TIO2 5%)



Mezclado de los insumos del (EHE 50%, TIO2 5%)



Olla Washington, medición de contenido de aire concreto (EHE 50%, TIO2 5%)



Determinación de Asentamiento del concreto de (EHE 50%, TIO2 5%)



Moldeo de las briquetas del concreto (EHE 50%, TIO2 5%) (4"x8")

### VACIADO DEL CONCRETO CON EHE 50% Y TIO<sub>2</sub> 7.5%



Equipo y herramientas para el vaciado e insumos de (EHE 50%, TIO<sub>2</sub> 7.5%)



Mezclado de los insumos del (EHE 50%, TIO<sub>2</sub> 7.5%)



Determinación de Asentamiento del concreto de (EHE 50%, TIO<sub>2</sub> 7.5%)



Control de temperatura del concreto (EHE 50%, TIO<sub>2</sub> 7.5%)



Olla Washington, medición de contenido de aire concreto (EHE 50%, TIO<sub>2</sub> 7.5%)



Moldeo de las briquetas del concreto (EHE 50%, TIO<sub>2</sub> 7.5%) (4"x8")

VACIADO DEL CONCRETO CON EHE 50% Y TIO2 10%



Equipo y herramientas para el vaciado e insumos de (EHE 50%, TIO2 10%)



Mezclado de los insumos del (EHE 50%, TIO2 10%)



Determinación de Asentamiento del concreto de (EHE 50%, TIO2 10%)



Control de temperatura del concreto (EHE 50%, TIO2 10%)



Olla Washington, medición de contenido de aire concreto (EHE 50%, TIO2 10%)



Moldeo de las briquetas del concreto (EHE 50%, TIO2 10%) (4"x8")

VACIADO DEL CONCRETO CON EHE 75% Y TIO2 5%



Equipo y herramientas para el vaciado e insumos de (EHE 75%, TIO2 5%)



Control e temperatura del concreto (EHE 75%, TIO2 5%)



Mezclado de los insumos del (EHE 5%, TIO2 5%)



Olla Washington, medición de contenido de aire concreto (EHE 75%, TIO2 5%)



Determinación de Asentamiento del concreto de (EHE 75%, TIO2 5%)



Moldeo de las briquetas del concreto (EHE 75%, TIO2 5%) (4"x8")  
VACIADO DEL CONCRETO CON EHE 75% Y TIO2 7.5%



Equipo y herramientas para el vaciado e insumos de (EHE 75%, TIO2 7.5%)



Control e temperatura del concreto (EHE 75%, TIO2 7.5%)



Mezclado de los insumos del (EHE 75%, TIO2 7.5%)



Olla Washington, medición de contenido de aire concreto (EHE 75%, TIO2 7.5%)



Determinación de Asentamiento del concreto de (EHE 75%, TIO2 7.5%)



Moldeo de las briquetas del concreto (EHE 75%, TIO2 7.5%) (4"x8")  
VACIADO DEL CONCRETO CON EHE 75% Y TIO2 10%



Equipo y herramientas para el vaciado e insumos de (EHE 75%, TIO2 10%)



Proceso para determinar contenido de aire del (EHE 75%, TIO2 10%)



Mezclado de los insumos del (EHE 75%, TIO2 10%)



Olla Washington, medición de contenido de aire concreto (EHE 75%, TIO2 10%)



Determinación de Asentamiento del concreto de (EHE 75%, TIO2 10%)



Moldeo de las briquetas del concreto (EHE 75%, TIO2 10%) (4"x8")

### MOLDEO DE PRISMAS PARA PRUEBA FOTOCATALÍTICA



Moldeo de prisma de EHE 25% TIO2 5%



Moldeo de prisma de EHE 25% TIO2 7.5%; EHE 25% TIO 10%; EHE 50% TIO 5%;



Moldeo de prisma de EHE 50% TIO2 7.5%



Moldeo de prisma de EHE 50% TIO2 10%



Moldeo de prisma de EHE 75% TIO2 5%; EHE 75% TiO2 7.5%; EHE75% TiO2 10%

### FRAGUADO DE PROBETAS



Protección de las briquetas de helada y lluvia



Protección de las briquetas de helada y lluvia



Protección de las briquetas de helada y lluvia



Protección de las briquetas de helada y lluvia

### DESMOLDEO Y CODIFICACIÓN DE BRIQUETAS



Desmoldeo y codificación de briquetas



Desmoldeo y codificación de briquetas



Desmoldeo y codificación de briquetas



Desmoldeo y codificación de briquetas

### CURADO DE BRIQUETAS EN PISCINA TEMPERADA



Curado de briquetas sumergido total



Curado de briquetas sumergido total



Curado de briquetas sumergido total



Curado de briquetas sumergido total

### ROTURA DE BRIQUETAS.



Medición y peso de las briquetas



Rotura de briquetas



Rotura de briquetas



Rotura de briquetas

ANÁLISIS FOTOCATALITICO.



Prueba FOTOCATALÍTICA



Prueba FOTOCATALÍTICA



Prueba FOTOCATALÍTICA



Prueba FOTOCATALÍTICA



Prueba FOTOCATALÍTICA



Prueba FOTOCATALÍTICA



Reactor sometido a rayos UV



Lectura en Electrofotómetro



Reactor sometido a rayos UV



Lectura en Electrofotómetro