

*“Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia”*  
**UNIVERSIDAD PERUANA DEL CENTRO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

UNIVERSIDAD PERUANA  
DEL CENTRO



**TESIS**

**“INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE SILICIO PROVENIENTE  
DE LA COLA DE CABALLO PARA AUMENTAR LA  
RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO”**

Para obtener el título profesional de

**INGENIERO CIVIL**

Presentado por el bachiller:

GARCÍA CAHUANA EDSON RODRIGO

Asesores:

DR. JOSÉ LUIS LEÓN UNTIVEROS

ING. MIGUEL ÁNGEL PINADO SANTOS

HUANCAYO - PERÚ

2021

## MIEMBROS DEL JURADO

---

Dr. José Luis León Untiveros  
PRESIDENTE

---

Ing. Miguel Ángel Pinado Santos  
SECRETARIO

---

Ing. Jhon Adolfo Quincho Astete  
VOCAL

## ASESORES DE TESIS

---

Dr. José Luis León Untiveros  
ASESOR METODOLÓGICO

---

Ing. Miguel Ángel Pinado Santos  
ASESOR TEMÁTICO

**DEDICATORIA:**

A mi linda familia en especial a mis padres y mi adorada esposa e hijo por su apoyo incondicional en este bello camino del conocimiento y permitirme avanzar un peldaño más en las metas trazadas.

## ÍNDICE GENERAL

|  |       |
|--|-------|
| DICTAMEN DE DECLARACIÓN DE EXPEDITO.....         | ii    |
| ACTA DE SUSTENTACIÓN DEL JURADO EXAMINADOR ..... | iv    |
| MIEMBROS DEL JURADO.....                         | v     |
| ASESORES DE TESIS.....                           | vi    |
| DEDICATORIA .....                                | vi    |
| ÍNDICE GENERAL .....                             | viii  |
| LISTA DE CUADROS.....                            | xii   |
| LISTA DE FIGURAS.....                            | xv    |
| LISTA DE FOTOGRAFÍAS .....                       | xvii  |
| RESUMEN.....                                     | xviii |
| ABSTRACT .....                                   | xix   |
| CAPÍTULO I.....                                  | 1     |
| 1. INTRODUCCIÓN .....                            | 1     |
| 1.1 Situación problemática.....                  | 1     |
| 1.2 Formulación del problema.....                | 3     |
| 1.2.1 Problema general.....                      | 3     |
| 1.2.2 Problemas específicos .....                | 4     |
| 1.3 Justificación teórica.....                   | 4     |
| 1.4 Justificación práctica .....                 | 5     |
| 1.5 Objetivos.....                               | 5     |
| 1.5.1 Objetivo general.....                      | 5     |
| 1.5.2 Objetivos específicos .....                | 6     |

|                   |  |    |
|-------------------|--|----|
| 1.6               | Hipótesis .....  | 6  |
| 1.6.1             | Hipótesis general .....                                    | 6  |
| 1.6.2             | Hipótesis específicas .....                                | 6  |
| CAPÍTULO II.....  |  | 7  |
| 2.                | MARCO TEÓRICO .....  | 7  |
| 2.1               | Marco filosófico o epistemológico de la investigación..... | 7  |
| 2.2               | Antecedentes de la investigación .....                     | 8  |
| 2.2.1             | Antecedentes internacionales .....                         | 8  |
| 2.2.2             | Antecedentes nacionales .....                              | 10 |
| 2.2.3             | Antecedentes regionales.....                               | 11 |
| 2.3               | Bases teóricas .....                                       | 13 |
| 2.3.1             | Concreto. ....   | 13 |
| 2.3.2             | Cola de caballo (Equisetum Arvenses).....                  | 30 |
| CAPÍTULO III..... |  | 34 |
| 3.                | METODOLOGÍA .....  | 34 |
| 3.1               | Tipo y diseño de investigación .....                       | 34 |
| 3.1.1             | Tipo de investigación. ....                                | 34 |
| 3.1.2             | Nivel de la investigación.....                             | 34 |
| 3.1.3             | Diseño de la investigación.....                            | 35 |
| 3.2               | Población del estudio .....                                | 36 |
| 3.3               | Tamaño de la muestra .....                                 | 37 |
| 3.4               | Técnicas para recolectar datos .....                       | 37 |
| CAPÍTULO IV ..... |  | 39 |

|                   |  |     |
|-------------------|--|-----|
| 4.                | DESARROLLO DEL TEMA.....   | 39  |
| 4.1               | Planificación.....   | 39  |
| 4.2               | Selección de los materiales.....   | 40  |
| 4.2.1             | Ubicación geográfica de los materiales para la investigación.....            | 40  |
| 4.3               | Recolección y tratamiento de la cola de caballo.....                         | 43  |
| 4.4               | Elaboración de diseños de mezcla en laboratorio.....                         | 48  |
| 4.4.1             | Procedimientos.....  | 48  |
| CAPÍTULO V.....   |  | 72  |
| 5.                | RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....  | 72  |
| 5.1               | Análisis, interpretación y discusión de resultados.....                      | 72  |
| 5.1.1             | Resultados.....  | 72  |
| 5.1.2             | Discusión de resultados.....   | 84  |
| 5.2               | Pruebas de hipótesis.....  | 85  |
| 5.2.1             | Determinación de la prueba de normalidad.....                                | 85  |
| 5.2.2             | Pruebas de homogeneidad de varianzas de los grupos.....                      | 86  |
| 5.2.3             | Prueba de hipótesis.....   | 86  |
| 5.3               | Presentación de los resultados.....  | 90  |
| 5.3.1             | Resultado análisis granulométrico - piedra chancada y arena gruesa.....      | 90  |
| 5.3.2             | Diseños de mezclas.....  | 91  |
| 5.3.3             | Asentamiento.....  | 93  |
| 5.3.4             | Resultados de ensayos a compresión.....                                      | 94  |
| 5.3.5             | Cálculo del porcentaje óptimo de dióxido de silicio (SiO <sub>2</sub> )..... | 105 |
| CONCLUSIONES..... |  | 106 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| RECOMENDACIONES.....            | 108 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 109 |
| ANEXOS .....                    | 112 |



## LISTA DE CUADROS

|  |    |
|--|----|
| Cuadro 1 <i>Elementos que componen el concreto</i> .....   | 13 |
| Cuadro 2 <i>Composición del cemento</i> .....  | 14 |
| Cuadro 3 <i>Composición típica de los cementos</i> .....   | 15 |
| Cuadro 4 <i>Usos de los cementos y tipos</i> .....   | 16 |
| Cuadro 5 <i>El calor de hidratación y los principales compuestos del cemento</i> .....               | 18 |
| Cuadro 6 <i>Evolución de resistencias frente a los tipos de cementos</i> .....                       | 19 |
| Cuadro 7 <i>Granulometría requisitos para la piedra chancada</i> .....                               | 20 |
| Cuadro 8 <i>Granulometría requisitos para la arena gruesa</i> .....                                  | 22 |
| Cuadro 9 <i>Límites permisibles del agua</i> .....   | 23 |
| Cuadro 10 <i>Relación entre asentamiento, consistencia y trabajabilidad del concreto</i>             | 27 |
| Cuadro 11 <i>Resumen del análisis FR-X de la muestra de cola de caballo</i> .....                    | 33 |
| Cuadro 12 <i>Trabajo experimental</i> .....  | 38 |
| Cuadro 13 <i>Cantidad de muestra mínima – piedra chancada</i> .....                                  | 49 |
| Cuadro 14 <i>Agregado grueso - tamaño de muestra</i> .....   | 51 |
| Cuadro 15 <i>Piedra chancada - peso mínimo</i> .....   | 55 |
| Cuadro 16 <i>Promedios - resistencias a compresión</i> .....   | 61 |
| Cuadro 17 <i>Asentamiento según tipos de mezclas</i> .....   | 61 |
| Cuadro 18 <i>Elección de agua de diseño – volumen unitario</i> .....                                 | 62 |
| Cuadro 19 <i>Aire atrapado según T.M.N.</i> .....  | 63 |
| Cuadro 20 <i>Relación a/c y la resistencia</i> .....   | 64 |
| Cuadro 21 <i>Coeficiente <math>b/b_0</math> (T.M.N. – módulo de fineza de la arena gruesa)</i> ..... | 65 |

|   |    |
|---|----|
| Cuadro 22 <i>Elaboración de muestras y el número de capas requeridas</i> .....  | 68 |
| Cuadro 23 <i>Cantidad de golpes / capa</i> .....  | 69 |
| Cuadro 24 <i>Edad de ensayo de las probetas y sus tolerancias</i> .....   | 70 |
| Cuadro 25 <i>Análisis granulométrico de la piedra chancada</i> .....  | 73 |
| Cuadro 26 <i>Análisis granulométrico de la arena gruesa</i> .....   | 75 |
| Cuadro 27 <i>Piedra chancada - humedad</i> .....  | 78 |
| Cuadro 28 <i>Arena gruesa - humedad</i> .....   | 79 |
| Cuadro 29 <i>P.U.S. Piedra chancada</i> .....   | 80 |
| Cuadro 30 <i>P.U.S. Arena gruesa</i> .....  | 80 |
| Cuadro 31 <i>P.U.C. Piedra chancada</i> .....   | 81 |
| Cuadro 32 <i>P.U.C. Arena gruesa</i> .....  | 81 |
| Cuadro 33 <i>Piedra chancada - absorción y peso específico</i> .....  | 82 |
| Cuadro 34 <i>Arena gruesa - absorción y peso específico</i> .....   | 83 |
| Cuadro 35 <i>Pruebas de normalidad para las poblaciones de resistencia del concreto</i><br>.....  | 85 |
| Cuadro 36 <i>Prueba de homogeneidad de varianzas - poblaciones de resistencia del<br/>concreto</i> .....  | 86 |
| Cuadro 37 <i>Resultados prueba de Anova para las resistencias de acuerdo con la<br/>edad en días</i> .....  | 87 |
| Cuadro 38 <i>Resultados de prueba de Anova de medidas repetidas - diferencias<br/>emparejadas de poblaciones entre Resistencia versus Porcentaje de adición de SiO<sub>2</sub></i><br>..... | 88 |

|   |    |
|---|----|
| Cuadro 39 <i>Resultados de prueba de Anova de medidas repetidas - diferencias emparejadas de poblaciones entre Resistencia versus Edad (días)</i> ..... | 89 |
| Cuadro 40 <i>Propiedades de la piedra chancada - cantera Matahuasi</i> .....  | 90 |
| Cuadro 41 <i>Propiedades de la arena gruesa - cantera Pilcomayo</i> .....   | 91 |
| Cuadro 42 <i>Concreto patrón (CP)</i> .....   | 91 |
| Cuadro 43 <i>Concreto experimental 1 – (CE 1 - Adición 0.5 % de SiO<sub>2</sub>)</i> .....  | 92 |
| Cuadro 44 <i>Concreto experimental 2 – (CE 2 - Adición 1.0 % de SiO<sub>2</sub>)</i> .....  | 92 |
| Cuadro 45 <i>Concreto experimental 3 – (CE 3 - Adición 1.5 % de SiO<sub>2</sub>)</i> .....  | 92 |
| Cuadro 46 <i>Concreto experimental 4 – (CE 4 - Adición 2.0 % de SiO<sub>2</sub>)</i> .....  | 93 |
| Cuadro 47 <i>Concreto experimental 5 – (CE 5 - Adición 5.0 % de SiO<sub>2</sub>)</i> .....  | 93 |
| Cuadro 48 <i>Resumen de resistencias y % alcanzados a diferentes edades</i> .....   | 95 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| <i>Figura 1</i> Influencia en la resistencia debido al tiempo de curado .....                                   | 29  |
| <i>Figura 2</i> Diseño de investigación .....   | 36  |
| <i>Figura 3</i> Esquema de los tipos de fallas .....  | 71  |
| <i>Figura 4</i> Piedra chancada - curva granulométrica promedio .....   | 74  |
| <i>Figura 5</i> Arena gruesa - curva granulométrica límites totales.....  | 76  |
| <i>Figura 6</i> Arena gruesa - curva granulométrica gradación tipo C .....                                      | 76  |
| <i>Figura 7</i> Arena gruesa - curva granulométrica gradación tipo M .....                                      | 77  |
| <i>Figura 8</i> Arena gruesa - curva granulométrica gradación tipo F .....                                      | 77  |
| <i>Figura 9</i> Variación de asentamientos en todos los grupos .....  | 94  |
| <i>Figura 10</i> Evolución de resistencias a 7 días .....   | 95  |
| <i>Figura 11</i> Evolución de resistencias a 14 días .....  | 96  |
| <i>Figura 12</i> Evolución de resistencias a 21 días .....  | 96  |
| <i>Figura 13</i> Evolución de resistencias a 28 días .....  | 97  |
| <i>Figura 14</i> Evolución de resistencias a 90 días .....  | 97  |
| <i>Figura 15</i> Evoluciones de las resistencias en los diferentes grupos experimentales<br>según la edad ..... | 98  |
| <i>Figura 16</i> Evolución de las resistencias de todas las combinaciones de mezclas<br>según edades .....      | 99  |
| <i>Figura 17</i> Comparación de ganancia de resistencias CP vs CE-1 .....                                       | 100 |
| <i>Figura 18</i> Comparación de ganancia de resistencias CP vs CE-1 .....                                       | 100 |
| <i>Figura 19</i> Comparación de ganancia de resistencias CP vs CE-2 .....                                       | 101 |

|   |     |
|---|-----|
| <i>Figura 20</i> Comparación de ganancia de resistencias CP vs CE-2 ..... | 101 |
| <i>Figura 21</i> Comparación de ganancia de resistencias CP vs CE-3 ..... | 102 |
| <i>Figura 22</i> Comparación de ganancia de resistencias CP vs CE-3 ..... | 102 |
| <i>Figura 23</i> Comparación de ganancia de resistencias CP vs CE-4 ..... | 103 |
| <i>Figura 24</i> Comparación de ganancia de resistencias CP vs CE-4 ..... | 103 |
| <i>Figura 25</i> Comparación de ganancia de resistencias CP vs CE-5 ..... | 104 |
| <i>Figura 26</i> Comparación de ganancia de resistencias CP vs CE-5 ..... | 104 |
| <i>Figura 27</i> Calculo del porcentaje óptimo de SiO <sub>2</sub> .....  | 105 |

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

|  |    |
|--|----|
| Fotografía 1 <i>Ubicación de las plantas de cola de caballo (Equisetum Arvenses)</i> .....         | 31 |
| Fotografía 2 <i>Identificación de la planta de cola de caballo</i> .....                           | 31 |
| Fotografía 3 <i>Cantera Matahuasi - ubicación</i> .....  | 40 |
| Fotografía 4 <i>Recolección de piedra chancada - agregado grueso</i> .....                         | 41 |
| Fotografía 5 <i>Ubicación de la cantera Pilcomayo</i> .....  | 42 |
| Fotografía 6 <i>Recolección de arena gruesa - agregado fino</i> .....                              | 42 |
| Fotografía 7 <i>Ubicación del área de crecimiento de la cola de caballo</i> .....                  | 43 |
| Fotografía 8 <i>Recolección de las plantas de cola de caballo</i> .....                            | 44 |
| Fotografía 9 <i>Pre quemado de las plantas de cola de caballo secas</i> .....                      | 45 |
| Fotografía 10 <i>Calcinación de cola de caballo - FIMM-UNCP / laboratorio de mineralogía</i> ..... | 46 |
| Fotografía 11 <i>Producto final obtenido como dióxido de silicio activado</i> .....                | 46 |
| Fotografía 12 <i>Molienda del dióxido de silicio activado en el molino de Denver</i> .....         | 47 |
| Fotografía 13 <i>Ensayos granulométricos de los agregados</i> .....                                | 50 |
| Fotografía 14 <i>Secado de la piedra chancada S.S.S</i> .....                                      | 56 |
| Fotografía 15 <i>Pesado de la piedra chancada S.S.S</i> .....                                      | 56 |
| Fotografía 16 <i>Determinación de la absorción - peso específico de la arena gruesa</i>            | 58 |

## RESUMEN

Esta investigación está enmarcada dentro de la línea de investigación correspondiente a la Ingeniería de Materiales de acuerdo con las normativas de la facultad de ingeniería de la escuela profesional de ingeniería civil de la Universidad Peruana del Centro.

La presente investigación se realizó con el fin de mejorar la resistencia del concreto al incorporar dióxido de silicio proveniente de la cola de caballo, para ello se elaboró 90 probetas de concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , cuyas probetas se ensayaron a los 7, 14, 21, 28 y 90 días, el objetivo fue verificar los valores correspondientes a la resistencia a compresión a largo plazo, el cual nos permitió conocer como interactúa el dióxido de silicio con los componentes de la mezcla y los efectos que ejercerá en la resistencia del concreto, el objetivo en este trabajo es introducir o adicionar materiales que ayuden a lograr mejores desempeños del concreto.

De tipo experimental cuantitativa es la metodología utilizada, debido a que se comparó entre un grupo patrón y 5 grupos de concretos experimentales.

Los resultados obtenidos muestran que la adición de  $\text{SiO}_2$  es favorable, ya que aumentó la resistencia en todos los casos de concretos experimentales, siendo los más importantes la incorporación del 1.5% y 2.0 % de  $\text{SiO}_2$  respecto al peso del cemento, llegando a superar en un 13.38%  $f'c=320 \text{ kg/cm}^2$  al (1.5%), 15.54%  $f'c=326 \text{ kg/cm}^2$  al (2.0%) a 28 días y en un 21.27%  $f'c=468 \text{ kg/cm}^2$  al (1.5%), 30.05%  $f'c=476 \text{ kg/cm}^2$  al (2.0%) a 90 días comparados con respecto al concreto patrón.

Palabra clave: dióxido de silicio, concreto, resistencia.

## ABSTRACT

This research is part of the line of inquiry materials engineering in accordance with the regulations of the Engineering Faculty of the professional school of Civil Engineering of the “Universidad Peruana del Centro”.

This research was conducted in order to improve the concrete resistance lience of the incorporating silicon dioxide from the ponytail, for this porpuse, 90 concrete specimens were developed f'c 210 kg/cm<sup>2</sup>, whose specimens were tested at 7,14,21,28 and 90 days, the goal was to verify the corresponding values long-term compresión resistance, which will allow us to know how interacts silicon dioxide with the components of the mixture and the effects exercise in the resistance of concrete, the goal of this work is to introduce or add material that help achieve better concrete performance.

The methodology used was quantitative experimental in nature because a comparative analysis was carried out between a standard group and 5 groups of experimental concretes.

The result show that the addition of SiO<sub>2</sub> is favorable since increasing resitance in all cases of experimental concretes the most important being the incorporation of 1.5% and 2.0% of SiO<sub>2</sub> relative to the weight concrete, getting to outperform in a 13.38% f'c=320 kg/cm<sup>2</sup> to (1.5%), 15.54% f'c=326 kg/cm<sup>2</sup> to (2.0%) to 28 days and in a 21.27% f'c=468 kg/cm<sup>2</sup> to (1.5%), 30.05% f'c'=476 kg/cm<sup>2</sup> to (2.0%) to 90 days compared to concrete pattern.

Keyword: silicon dioxide, concrete, resistance.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### **1.1 Situación problemática**

La región Junín no es ajena al crecimiento que experimenta nuestro país, como se refleja en el consumo nacional de cemento en el Perú, reportado por (ASOCEM , 2019), para abril 2019 se registró un crecimiento del 3.4% con respecto al mes de abril del 2018 y un crecimiento en la producción total de cemento del 1.4% para el periodo (may18-abr19) respecto al periodo (may17-abr18). Un aspecto negativo del proceso de elaboración del cemento es porque generan gases de efecto invernadero, esto debido a las altas temperaturas requeridas para la activación de sus compuestos alrededor de

los 1500 a 1600 °C, necesarios para la incineración de los materiales finos crudos del cemento como la caliza y las arcillas hasta la obtención del Clinker. El cemento es un material primordial para la elaboración del concreto e indispensable para el sector construcción, reflejado por el diseño del concreto, el que está basado en una relación de agua/cemento, denota que, a mayor uso de mezcla, será necesario mayor uso de cemento, y por ende un mayor nivel de contaminación que trae consigo la fabricación de este producto.

Según la Superintendencia de Banca y Seguros (SBS, 2019) en la provincia de Huancayo existe un crecimiento sostenido de los créditos hipotecarios desde enero 2014 a enero 2019; reflejándose en los proyectos inmobiliarios y construcción de viviendas particulares, obras que demandan un alto consumo de cemento, los cuales en su mayoría no cuentan con un control adecuado de la relación agua/cemento, que está directamente ligado a los atributos del concreto, especialmente la resistencia; debido principalmente porque las viviendas particulares son construidas sin ninguna supervisión, y visto en la práctica que el personal encargado de la preparación del concreto en estas obras no sigue un control adecuado de la cantidad de agua a emplearse en las mezclas, la relación agua/cemento se ve incrementada para aumentar la trabajabilidad, empero reduciendo drásticamente la resistencia final del concreto, a esto se suma que el proceso de colocación del concreto no es el indicado, convirtiéndose en un peligro inminente para la población sabiendo que el Perú es altamente sísmico y nuestra región no es ajena a este fenómeno natural.

Según (MINAGRI, 2016) a través SERFOR (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre) organismo técnico encargado de elaborar el anuario forestal 2015 en el que se detalla que la cola de caballo es un producto cuya producción a nivel nacional solo es de 9360 kg abastecido únicamente por departamentos como: Huánuco, La Libertad y Ancash, con una producción de (5.710 kg, 3.000 kg y 650 kg) respectivamente al año 2015. La región Junín no está incluida dentro de las estadísticas como productora de cola de caballo, en la selva central existe un potencial de producción de este producto natural renovable, esto debido a las características de los suelos y la humedad características de la selva central; sin embargo la cola de caballo no ha sido estudiada desde un punto de vista como potencial aditivo para el concreto; ya que, se conoce que esta planta posee gran cantidad de dióxido de silicio, bajo contenido de óxidos de calcio, magnesio y aluminio, empero se desconoce el potencial de los componentes de la planta mencionada líneas arriba para mejorar el concreto.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿En qué medida la incorporación de dióxido de silicio proveniente de la cola de caballo influye en aumentar la resistencia a compresión del concreto endurecido?

### **1.2.2 Problemas específicos**

¿En qué medida el porcentaje de incorporación de dióxido de silicio proveniente de la cola de caballo influye en aumentar la resistencia a compresión del concreto endurecido?

¿ En qué medida el tiempo de curado influye en incrementar la resistencia a compresión del concreto incorporado con dióxido de silicio proveniente de la cola de caballo?

### **1.3 Justificación teórica**

La investigación quiso evaluar el comportamiento de la resistencia del concreto adicionado con porcentajes de dióxido de silicio proveniente de la cola de caballo.

El dióxido de silicio resultante de la incineración de cola de caballo a una temperatura de 650 °C puede ser aprovechado para mejorar el concreto, la cual es la resistencia a la compresión; uno de los compuestos más importantes y que en mayor proporción se encuentra es el óxido de silicio, además se encuentran compuestos en baja proporción como el óxido de aluminio, de magnesio y de calcio, compuestos que también forman parte del cemento, este aditivo podría ajustar la relación agua/cemento del concreto elaborado por m<sup>3</sup>, dando como producto final un concreto con mejores desempeños, debido a que se potenciaría la actividad cementante en el concreto.

El dióxido de silicio proveniente de la cola de caballo podría ser empleado como aditivo ecológico, dando como resultado concretos más resistentes, durables y puedan ser empleados en la construcción de infraestructura y

vivienda, contribuyendo al cuidado del medio ambiente debido a que este producto requiere menos tiempo para lograr activar sus compuestos además de generar poca cantidad de gases de efecto invernadero, por ello se realizó la presente investigación, corroborando mediante ensayos en concreto especialmente endurecido. La cola de caballo al ser un producto natural renovable de crecimiento rápido y no requerir ningún cuidado específico y de gran abundancia en la selva central, específicamente en la ciudad de San Ramón, puede ser aprovechado de manera sostenible en la elaboración de aditivos con el fin de mejorar de la resistencia del concreto en la región Junín, ya que en la actualidad no se reporta ningún uso de este producto.

#### **1.4 Justificación práctica**

La investigación permitirá conocer cuánto favorece la incorporación de dióxido de silicio al concreto, la búsqueda de productos sinérgicos que contribuyan en mejorar las propiedades del concreto es cada vez mayor, por tal razón la incorporación de dióxido de silicio nace como una alternativa económica y ecológica para lograr concretos más resistentes y durables en el tiempo, obteniendo como resultado concretos de mayor resistencia a un menor costo, contribuyendo también en la optimización de costos, que es el fin que tiene todo trabajo de investigación.

#### **1.5 Objetivos**

##### **1.5.1 Objetivo general**

Determinar en qué medida la incorporación de dióxido de silicio proveniente de la cola de caballo, influye en mejorar la resistencia del concreto endurecido.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

Determinar en qué medida el porcentaje de incorporación de dióxido de silicio proveniente de la cola de caballo influye en aumentar la resistencia a compresión del concreto endurecido.

Determinar en qué medida el tiempo de curado influye en incrementar la resistencia a compresión del concreto incorporado con dióxido de silicio proveniente de la cola de caballo.

## **1.6 Hipótesis**

### **1.6.1 Hipótesis general**

La incorporación de dióxido de silicio proveniente de la cola de caballo influye significativamente en aumentar la resistencia a compresión del concreto endurecido

### **1.6.2 Hipótesis específicas**

El porcentaje de incorporación de dióxido de silicio proveniente de la cola de caballo influye en aumentar la resistencia a compresión del concreto endurecido.

El tiempo de curado influye significativamente en incrementar la resistencia a compresión del concreto incorporado con dióxido de silicio proveniente de la cola de caballo.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### **2.1 Marco filosófico o epistemológico de la investigación**

Ahondar en la necesidad del conocimiento de la tecnología del concreto a través de la incorporación de dióxido de silicio, se genera la necesidad de comprender si la manipulación de diversos productos en las mezclas de concreto, que se dan como consecuencia de la necesidad de mejorar las propiedades del concreto, buscando una mejora permanente de aplicación en el ámbito laboral, los mismos que tienen su origen en los conocimientos empíricos y encontrar respuestas a interrogantes sobre la adición de dióxido de silicio en el concreto que comprueben si las dosis óptimas que puedan ser usadas al proponer un determinado planteamiento.

Por ello, es recomendable que para el desarrollo de estudios se pueda considerar propuestas brindadas por otros estudiosos que permitan comprender la ocurrencia de reacciones que pueda ocurrir en determinados ensayos y el investigador pueda superar revisando las teorías hasta una aproximación sobre aquello que se pretende demostrar.

El aspecto crítico al que se enfrenta el investigador permite elegir teorías suficientes que puedan contrastarse realmente y sirvan como base consistente a su planteamiento.

## **2.2 Antecedentes de la investigación**

### **2.2.1 Antecedentes internacionales**

Carneiro, Magalhães, Muñiz, Nisgoski y Satyanarayana (2015) desarrollaron un artículo de investigación referente a la preparación y caracterización de nano sílice de Equisetum arvenses. En la revista Bioprosesamiento y Biotecnología. Universidad Federal de Paraná, Brasil. Donde se realizó un estudio para obtener nanopartículas de sílice a partir una planta que tiene concentraciones altas de silicio. Este artículo presenta la elaboración de partículas de nano sílice a diversas temperaturas (500 °C - 600 °C). Se descubrió que las nanopartículas producidas por dos ciclos de lavado con ácido y calcinación a 520° C por un periodo de 2 horas dieron los mejores resultados, produciendo un material de color blanco, el área superficial específica más alta de aproximadamente 330 m<sup>2</sup> / g, con un diámetro de aproximadamente 8 nm, y 93.5% de dióxido de silicio, el mismo que puede ser usado, en el sector construcción.



López (2017) en su tesis evalúa la ceniza de corteza de bambú, sus características y su actividad puzolánica, la investigación fue experimental, en la que se determinó que el porcentaje encontrado de dióxido de silicio  $\text{SiO}_2$  llega a un 75% y óxidos en menor cantidad como  $\text{CaO}$  1.41%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  4.13%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  0.4%; pero con un elevado porcentaje de  $\text{K}_2\text{O}$  hasta un 11.61%, pudiendo ser perjudicial para el concreto, concluyendo que la ceniza de corteza de bambú llega a superar el 70% la sumatoria de sus componentes de requeridos  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ; superior a los requerimientos básicos para cenizas tipo N dispuesto en la norma ASTM C 618, la ceniza de corteza de bambú tiene una alta actividad puzolánica.

Camargo e Higuera (2017) desarrollaron un artículo sobre la sílice encontrada en la cascarilla del arroz y los efectos sobre el concreto hidráulico, la investigación busco examinar el comportamiento del concreto alterado con sílice de la cascarilla del arroz, en sus diferentes propiedades como el químico, mecánico y físico. La metodología empleada tuvo un diseño experimental, en el cual se empleó cemento Holcim, se trabajó con un diseño de mezcla de 350  $\text{Kg}/\text{cm}^2$  como muestra patrón y flexión de 42  $\text{Kg}/\text{cm}^2$ . Con el 5 el 15 y el 30 (%) del peso del cemento. el porcentaje sílice obtenido presenta un alto contenido de óxido silicio (91.4%) Las muestras con el 5% de sustitución mostraron un valor superior a la muestra patrón y en los casos de sustitución del 15 y 30 (%) existe un descenso en los valores de la resistencia del concreto

### 2.2.2 Antecedentes nacionales

Caro (2018) desarrolló su tesis sobre sustituto de cemento de cenizas de hojas de maíz, la investigación es aplicada y explicativa experimental, el nivel fue cuasiexperimental, la población estuvo conformada por un conjunto de probetas cilíndricas, las muestras estuvieron conformadas por 27 probetas de concreto, en esta investigación se observó los efectos ocasionados en el concreto por la inclusión de la cenizas de hojas de maíz en 5 y 10 % del peso cemento y como la resistencia es influenciada, el diseño planteado es de 210 Kg/cm<sup>2</sup> la ceniza activada de la hoja de maíz es un material cementante con un 55.35% es la suma de óxidos CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> concluyendo que la sustitución del cemento al 5% y 10% mejoran debido a la ceniza activada, generando las siguientes resistencias: en un 5% a los 7 días ( 80.97 %), a los 14 días (93.32%) y a los 28 días (110.73%). Con la sustitución al 10% a los 7 días (83.80%), a los 14 días (97.16%), y a los 28 días (122.60%). Los valores de las resistencias indican que se puede emplear como sustituto en diseños de mezcla al 5 y al 10 %.

Ibañez (2018) realizó una tesis sobre la combinación de 36% de ceniza de cola de caballo y 12% de polvo de concha de coquina como sustituto del cemento, la investigación fue aplicada, experimental y nivel cuasiexperimental, conformada por las muestras de mortero patrón y experimental como población, la muestra se consideró la misma cantidad de la población a conveniencia del investigador, la combinación fue en proporciones de 3:1, considerando todas sus propiedades, se realizaron morteros (coquina/cenizas de cola de caballo) -

arena (mortero experimental), se reemplazó el 48% del cemento en una mezcla de mortero. Llegando a la siguiente conclusión, la resistencia alcanzada fue de 41.01% respecto a un mortero patrón sin sustitución.

Solis (2018) en su tesis analizó la combinación del 5% de almeja en polvo y 15% de cola de caballo transformado en cenizas en la resistencia del mortero, la investigación fue aplicada, experimental del tipo bloque al azar, la población está conformada por el conjunto de especímenes elaborados en laboratorio y la muestra estuvo conformada por un subconjunto de 30 especímenes de pasta cementante, la finalidad fue conocer la resistencia final de la pasta cementante, luego de haber sustituido el cemento en un 15% y 5% por la combinación de ceniza de la cola de caballo y polvo de almeja. Concluyendo que la resistencia final de la mezcla ensayada a los 90 días, supero en 2,52 % a la mezcla patrón, por lo tanto, la mezcla ensayada puede ser empleada en acabados.

### **2.2.3 Antecedentes regionales**

Mariano (2019) en su tesis comparó las resistencias a flexión y compresión de concreto reforzado con CBCA al 5, 10 y 15 %

Experimental cuantitativa es el tipo de investigación, nivel explicativo, el concreto reforzado con diversos porcentajes de CBCA como la población, la muestra está dado por 60 probetas y 48 vigas. concluyendo que el porcentaje aceptable de las CBCA para sustituir el peso del cemento es del 5 % debido a que a 28 días la resistencia llega a 302.80 kg/cm<sup>2</sup>, logrando sobrepasar en un 2.64 % a la resistencia de diseño 295 kg/cm<sup>2</sup>. Referente a los costos del concreto elaborado con CBCA con proporciones del 5%, 10% y 15% y el

concreto normal disminuyen el costo de materiales desde 4.70% hasta 15.55% para concretos elaboradas in situ.

Chileno (2017) desarrolló su tesis sobre el concreto con aditivo nano sílice y su relación con la resistencia el tipo de investigación fue aplicada de nivel correlacional, descriptivo, la población objetivo fue la urbanización chorrillos ciudad de Huancayo, la muestra de estudio es el jr. Marte tipo de muestreo no probabilístico. Encontró la relación de las dosis del aditivo nano sílice 1%, 3% y 5%, la relación permitirá conocer si las diversas dosificaciones afectan la relación a/c con el fin de determinar si mejora de las características del concreto en estudio, concluyendo que el empleo del aditivo nano sílice mejora la resistencia CP= 388 kg/cm<sup>2</sup>, concreto con 1% de Aditivo Nano sílice = 409 kg/cm<sup>2</sup>, concreto con 3% de Aditivo Nano sílice = 432 kg/cm<sup>2</sup>, concreto con 5% de Aditivo Nano sílice = 461 kg/cm<sup>2</sup>.

Gonzales (2016) en su tesis estudió al aditivo microsilice en los concretos de alta resistencia, explicativa, aplicada y prospectiva con diseño correlacional es el tipo de investigación elegida, la población está conformada por 120 probetas, se estudia una mezcla que servirá de patrón en el cual se añadió micro sílice (SIKA FUME) en diferentes porcentajes 5%, 7.5% y 10% respectivamente respecto al peso del cemento. Tuvo como objetivo la determinación del porcentaje óptimo de micro sílice para la mejora de la resistencia del concreto, se empleó cemento tipo I. finalmente se estableció que la inclusión de micro sílice al 10% da como resultado un concreto que supera los 650 kg/cm<sup>2</sup>. Considerándose un concreto de alta resistencia.

## 2.3 Bases teóricas

### 2.3.1 Concreto.

Se le puede definir como una mezcla de material grueso, material fino, agua y cemento.

*Es un material con características similares a las de los materiales rocosos, ligados por medio de una pasta de cemento, es una mezcla de materiales pétreos con gradación en sus tamaños que puede ser desde una fracción de milímetros hasta varios centímetros (Lamus & Andrade, 2015, pág. 18).*

En el cuadro 1 se detalla las proporciones típicas de los componentes del concreto.

Cuadro 1

*Elementos que componen el concreto*

|                      |           |           |
|----------------------|-----------|-----------|
| Ingrediente pasivo   | Aire      | 1% - 3%   |
|                      | Cemento   | 7% - 15%  |
| Ingredientes activos | Agua      | 15% - 22% |
|                      | Agregados | 60% - 75% |

Fuente: Tópicos de tecnología del concreto en el Perú (Pasquel, 1998, pág. 15)

#### 2.3.1.1 Componentes del concreto.

##### 2.3.1.1.1 Cemento.

Este material muy importante es el resultado de la unificación química de ciertos materiales. Harmsen (2005) señala que “De

la pulverización del Clinker se obtiene el cemento, producido por calcinación de materiales calcáreos y arcillosos hasta la fusión incipiente". (pág. 11).

Composición química del cemento:

- $C_3S$  (Silicato tricálcico)
- $C_2S$  (Silicato di cálcico)
- $C_3A$  (Aluminato tricálcico)
- $C_4AF$  (Alumino ferrito tetracálcico)
- Titanio, potasio, magnesio, sodio y manganeso en forma de óxidos en proporciones menores.

Cuadro 2  
*Composición del cemento*

| Óxidos (peso)                        | Rango (%) |
|--------------------------------------|-----------|
| CaO                                  | 60 - 67   |
| SiO <sub>2</sub>                     | 17 - 25   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>       | 3 - 8     |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>       | 0.5 - 6.0 |
| Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O | 0.2 - 1.3 |
| MgO                                  | 0.1 - 4.0 |
| Cal libre                            | 0 - 2     |
| SO <sub>3</sub>                      | 1 - 3     |

Fuente: Materiales de construcción (Gómez, s.f, pág. 52)

Cuadro 3  
*Composición típica de los cementos*

| Tipo de cemento                 | Compuesto en %   |                  |                  |                   |
|---------------------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
|                                 | C <sub>3</sub> S | C <sub>2</sub> S | C <sub>3</sub> A | C <sub>4</sub> AF |
| <i>I. Normal</i>                | 50               | 24               | 11               | 8                 |
| <i>II. Moderado</i>             | 42               | 33               | 5                | 13                |
| <i>III. Resistencia rápida</i>  | 60               | 13               | 13               | 9                 |
| <i>IV. Bajo calor</i>           | 26               | 50               | 5                | 12                |
| <i>V. Resistente a sulfatos</i> | 40               | 40               | 4                | 9                 |

Fuente: Materiales de construcción (Gómez, s.f, pág. 52)

#### *2.3.1.1.1 Usos de los diferentes tipos de cemento*

Existen cementos de diversos tipos según NTP y Norma ASTM C150 correspondientes, cada tipo de cemento se emplea según las características de cada proyecto u obra.

En el cuadro 4 se muestra los cementos y sus diferentes tipos además de los usos que se le da según sus características.

Cuadro 4  
Usos de los cementos y tipos

| <i>Tipo de Cemento</i> | <i>Características</i>  | <i>Empleo por tipo de obra</i>  |
|------------------------|---|---|
| Tipo I                 | Uso general y sin propiedades especiales                                  | Obras que no se desea una protección especial   |
| Tipo II                | Moderado calor de hidratación, moderada resistencia al ataque de sulfatos | Se emplea en estructuras moderadamente masivas como grandes columnas o muros de concreto muy anchos o estructuras donde requiera una moderada protección al ataque de sulfatos. |
| Tipo III               | De resistencia temprana y elevado calor de hidratación                    | Se emplea cuando hay necesidad de descimbrar rápido con el objetivo de acelerar otros trabajos y poner en servicio la obra a la brevedad.                                       |
| Tipo IV                | Bajo calor de hidratación   | Se emplea en estructuras masivas como presas de concreto donde se requiera controlar el calor de hidratación a un mínimo con el fin de evitar el agrietamiento.                 |
| Tipo V                 | Alta resistencia al ataque de sulfatos                                    | Todo tipo de construcciones que estarán expuestas al ataque severo de sulfatos en solución o construcciones en ambientes industriales agresivos.                                |

#### *2.3.1.1.1.2 Propiedades del cemento portland*

- Fraguado e hidratación

*El cemento portland tiene un proceso de hidratación se inicia cuando entran en contacto el agua con los granos del cemento en una mezcla (...) en el cemento se destacan dos tipos. El fraguado inicial es el primero se da a las 3 horas, el fraguado final es el segundo se da a las 7 horas aproximadamente, la pasta de cemento en este tiempo se endurece en su totalidad (Gómez, s.f, pág. 54).*



- Contracción durante el fraguado

*Todo producto fabricado con cemento experimenta una contracción por fraguado, a nivel microscópico son los cambios que se producen con influencia de las condiciones ambientales, el fenómeno de contracción aún no está bien determinado por ello las contracciones que ocurren en la pasta de cemento hidratado son de dos tipos contracción por secado y por carbonatación simultáneamente ocurren los dos fenómenos pero la contracción por secado es de mayor magnitud (...) (Gómez, s.f, pág. 56).*

- Calor de hidratación

*“Se desprende al reaccionar el agua y el cemento al entrar en contacto (...) en un cemento normal el calor de hidratación que se produce es del orden de 85 a 100 cal/g” (Gómez, s.f, pág. 56).*

En el cuadro 5 se presenta como la composición del cemento reacciona cualitativamente con el agua y el calor que se libera después de la hidratación.

### Cuadro 5

#### El calor de hidratación y los principales compuestos del cemento

| Propiedad         | Participación de cada compuesto del cemento |                   |                  |                  |
|-------------------|---|-------------------|------------------|------------------|
|                   | C <sub>3</sub> A                            | C <sub>4</sub> AF | C <sub>3</sub> S | C <sub>2</sub> S |
| Grado de reacción | Rápido                                      | Lento             | Mediano          | Lento            |
| Calor liberado    | Grande                                      | Pequeño           | Mediano          | Pequeño          |

Fuente: Materiales de construcción (Gómez, s.f, pág. 57)

- Finura del cemento

El Clinker depende del tiempo de molienda. *“La superficie específica de un cemento normal esta alrededor de 200 m<sup>2</sup>/kg, la finura se mide en m<sup>2</sup> por kg, la hidratación y la generación rápida de calor del cemento depende de una finura alta”* (Gómez, s.f, pág. 57)

- Densidad del cemento

*El cemento pesa 3.15 veces más que un volumen semejante de agua, la densidad varía entre 3.10 y 3.15 (...), es el ingrediente más pesado en la elaboración del concreto es el cemento o de otros productos derivados del cemento* (Gómez, s.f, pág. 57)

- Endurecimiento del cemento

Gómez (s.f) define que *“Cuando se inicia el fraguado del cemento también inicia su endurecimiento, según avanza el grado de hidratación la ganancia en resistencia es progresiva”* (pág. 58).

En el cuadro 6 se muestra los cementos y sus diferentes tipos con la evolución de las resistencias comparados con el cemento tipo I.

Cuadro 6  
*Evolución de resistencias frente a los tipos de cementos*

| <i>Tipo de cemento</i> | Resistencia relativa de los cementos portland |        |         |         |
|------------------------|---|--------|---------|---------|
|                        | 1 día   | 7 días | 28 días | 3 meses |
| <i>Tipo I</i>          | 100   | 100    | 100     | 100     |
| <i>Tipo II</i>         | 75  | 85     | 90      | 100     |
| <i>Tipo III</i>        | 190   | 120    | 110     | 100     |
| <i>Tipo IV</i>         | 55  | 55     | 75      | 100     |
| <i>Tipo V</i>          | 65  | 75     | 85      | 100     |

Fuente: Materiales de construcción (Gómez, s.f, pág. 59)

#### 2.3.1.1.2 *Piedra chancada*

Abanto (2009) considera:

*Como piedra chancada a todo material retenido en el tamiz (N° 4”), obtenidos de la descomposición mecánica o natural de las rocas, el agregado grueso puede ser piedra chancada o grava, además cumplen con los límites normados por el ITINTEC 400.037 (pág. 26).*

##### 2.3.1.1.2.1 *Granulometría de la piedra chancada*

La gradación de la piedra chancada o material grueso estará enmarcada según normas vigentes respetando los parámetros, en el cuadro 7 se aprecia los parámetros y las fronteras para los diferentes tipos de granulometrías aceptadas.

## Cuadro 7

## Granulometría requisitos para la piedra chancada

| Huso | Tamaño máximo nominal          | Porcentaje que pasa por los tamices normalizados |                |            |                |            |                  |            |                |                |               |                |                |                 |                     |
|------|--------------------------------|--|----------------|------------|----------------|------------|------------------|------------|----------------|----------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|---------------------|
|      |                                | 100 mm (4")                                      | 90 mm (3 1/2") | 75 mm (3") | 63 mm (2 1/2") | 50 mm (2") | 37.5 mm (1 1/2") | 25 mm (1") | 19.0 mm (3/4") | 12.5 mm (1/2") | 9.5 mm (3/8") | 4.75 mm (N° 4) | 2.36 mm (N° 8) | 1.18 mm (N° 16) | 300 $\mu$ m (N° 50) |
| 1    | 90 a 37.5 mm (3 1/2" a 1 1/2") | 100  | 90 a 100       | -          | 25 a 60        | -          | 0 a 15           | -          | 0 a 5          | -              | -             | -              | -              | -               | -                   |
| 2    | 63 a 37.5 mm (2 1/2" a 1 1/2") | -  | -              | 100        | 90 a 100       | 35 a 70    | 0 a 15           | -          | 0 a 5          | -              | -             | -              | -              | -               | -                   |
| 3    | 50 a 25.0 mm (2" a 1")         | -  | -              | -          | 100            | 90 a 100   | 35 a 70          | 0 a 15     | -              | 0 a 5          | -             | -              | -              | -               | -                   |
| 357  | 50 a 4.75 mm (2" a N° 4)       | -  | -              | -          | 100            | 95 a 100   | -                | 35 a 70    | -              | 10 a 30        | -             | 0 a 5          | -              | -               | -                   |
| 4    | 37.5 a 19.0 mm (1 1/2" a 3/4") | -  | -              | -          | -              | 100        | 90 a 100         | 20 a 55    | 0 a 15         | -              | 0 a 5         | -              | -              | -               | -                   |
| 467  | 37.5 a 4.75 mm (1 1/2" a N° 4) | -  | -              | -          | -              | 100        | 95 a 100         | -          | 35 a 70        | -              | 10 a 30       | 0 a 5          | -              | -               | -                   |
| 5    | 25.0 a 9.5 mm (1" a 1/2")      | -  | -              | -          | -              | -          | 100              | 90 a 100   | 20 a 55        | 0 a 10         | 0 a 5         | -              | -              | -               | -                   |
| 56   | 25.0 a 9.5 mm (1" a 3/8")      | -  | -              | -          | -              | -          | 100              | 90 a 100   | 40 a 85        | 10 a 40        | 0 a 5         | 0 a 5          | -              | -               | -                   |
| 57   | 25.0 a 4.75 mm (1" a N° 4)     | -  | -              | -          | -              | -          | 100              | 95 a 100   | -              | 25 a 60        | -             | 0 a 10         | 0 a 5          | -               | -                   |
| 6    | 19.0 a 9.5 mm (3/4" a 3/8")    | -  | -              | -          | -              | -          | -                | 100        | 90 a 100       | 20 a 55        | 0 a 15        | 0 a 5          | -              | -               | -                   |
| 67   | 19.0 a 4.75 mm (3/4" a N° 4)   | -  | -              | -          | -              | -          | -                | 100        | 90 a 100       | -              | 20 a 55       | 0 a 10         | 0 a 5          | -               | -                   |
| 7    | 12.5 a 4.75 mm (1/2" a N° 4)   | -  | -              | -          | -              | -          | -                | -          | 100            | 90 a 100       | 40 a 70       | 0 a 15         | 0 a 5          | -               | -                   |
| 8    | 9.5 a 2.36 mm (3/8" a N° 8)    | -  | -              | -          | -              | -          | -                | -          | -              | 100            | 85 a 100      | 10 a 30        | 0 a 10         | 0 a 5           | -                   |
| 89   | 9.5 a 1.18 mm (3/8" a N° 16)   | -  | -              | -          | -              | -          | -                | -          | -              | 100            | 90 a 100      | 25 a 55        | 5 a 30         | 0 a 10          | 0 a 5               |
| 9    | 4.75 a 1.18 mm (N° 4 a N° 16)  | -  | -              | -          | -              | -          | -                | -          | -              | -              | 100           | 85 a 100       | 10 a 40        | 0 a 10          | 0 a 5               |

Fuente: Diseño de mezclas (Rivva López, 2015, pág. 37)

#### 2.3.1.1.2.2 *Tamaño máximo*

Abanto (2009) señala que: “*En el concreto armado el TM de la piedra chancada o agregado grueso está fijada por la facilidad de su colocación y este entre fácilmente entre las barras de acero y en los encofrados*” (pág. 27)

El tamaño máximo consideraciones:

- 1/5 de la menor dimensión, entre caras de encofrados.
- 1/3 respecto a la altura en losas.
- Espacios libres entre fierros, barras en paquetes y cables serán de tres cuartos del espacio disponible.

#### 2.3.1.1.2.3 *Requisitos*

Abanto (2009) Menciona como requisito principal que.”*La piedra chancada deberá ser resistente de textura rugosa con perfil angular o semi angular, duras, compactas y partículas limpias*” (pág. 28).

#### 2.3.1.1.3 *Agregado fino*

Harmsen (2005) Define que:

*Los elementos inertes del concreto son el agregado fino y el grueso, ya que no interactúan en las reacciones químicas entre el agua y el cemento. debe estar libre de impurezas, debe ser durable, limpio, duro y fuerte, no deben contener más de 5 % de arcillas y limos, tampoco no más de 1.5 % de materias orgánicas. 1/4” deberá tener el tamaño menor de sus partículas y su*

*gradación debe respetar los requisitos propuestos en las normas*  
(pág. 12).

Cuadro 8  
*Granulometría requisitos para la arena gruesa*

| Tamiz   |             | Porcentaje que pasa (en masa) |
|---------|-------------|-------------------------------|
| 9.50 mm | (3/8 pulg.) | 100                           |
| 4.75 mm | (N° 4)      | 95 a 100                      |
| 2.36 mm | (N°8)       | 80 a 100                      |
| 1.18 mm | (N° 16)     | 50 a 85                       |
| 600 um  | (N° 30)     | 25 a 60                       |
| 300 um  | (N° 50)     | 10 a 30                       |
| 150 um  | (N° 100)    | 2 a 10                        |

Fuente: Tecnología del concreto (Abanto, 2009, pág. 24)

#### 2.3.1.1.4 Agua

Abanto (2009) Afirma que. *“El agua es fundamental en la preparación del concreto, donde la resistencia las propiedades del concreto endurecido y la trabajabilidad están muy relacionadas”*. (pág. 21)

Condiciones a tener en cuenta:

- No debe contener sustancias perjudiciales que puedan dañar el acero y el concreto.
- Si se duda de la procedencia del agua a usar para elaborar el concreto, será necesario someterlo a un análisis químico para ser

contrastado con valores máximos permisibles que se detalla en el cuadro 9.

Cuadro 9  
*Límites permisibles del agua*

| Sustancias Disueltas  | Valor máximo admisible |
|-----------------------|------------------------|
| Cloruros              | 300 ppm                |
| Sulfatos              | 300 ppm                |
| Sales de magnesio     | 150 ppm                |
| Sales solubles        | 1500 ppm               |
| P.H                   | mayor a 7              |
| Sólidos en suspensión | 1500 ppm               |
| Materia orgánica      | 10 ppm                 |

Fuente: Tecnología del concreto (Abanto, 2009, pág. 21)

#### 2.3.1.1.5 Aditivos

Abanto (2009) Define a los aditivos de la siguiente manera:

*“Al concreto se añaden sustancias para la modificación de alguna de sus propiedades, deben ser empleados respetando y cumpliendo con las especificaciones técnicas de la norma”* (pág. 43).

Se emplean los aditivos para la mejora de las características del concreto, Abanto (2009) clasifica a los principales como sigue:

- *Incremento de la trabajabilidad.*
- *Retrasa o acelera el fraguado inicial.*
- *Acelera la resistencia inicial.*
- *cambia la velocidad de generación de calor de hidratación.*

- *Reduce el sangrado y la exudación.*
- *En condiciones severas de exposición aumenta la resistencia y durabilidad.*
- *La permeabilidad es reducida.*
- *La segregación es disminuida.*
- *La contracción es reducida.*
- *La adherencia del concreto nuevo y viejo se incrementa.*
- *La adherencia del refuerzo con el concreto mejora (pág. 43).*

#### 2.3.1.1.5.1 *Aditivos por tipos*

Abanto (2009) los ordena como:

***Plastificante***; *reduce el volumen de agua requerida y mejora significativamente la consistencia.*

***Retardador***; *el tiempo de fraguado es mayor.*

***Acelerador***; *reduce el tiempo de fraguado y la resistencia inicial se acelera.*

***Plastificante y retardador***; *la cantidad de agua de mezclado se reduce, el fraguado se retrasa.*

***Plastificante y acelerador***; *el agua de la mezcla se reduce, el fraguado y la resistencia se aceleran.*



**Incorporadores de aire;** introducen burbujas diminutas en la mezcla y ante la acción de las heladas por la congelación y descongelación aumentan la resistencia, las burbujas actúan como amortiguadores.

**Microsilice;** es un polvo muy fino compuesto por dióxido de silicio amorfo entre un 90 y 95% el cual tiene propiedades que permite reaccionar químicamente con el hidróxido de calcio.

**Fibras de polipropileno;** son productos sintéticos que tienen por finalidad reducir considerablemente el agrietamiento del concreto.

**Fibras de acero;** son fragmentos metálicos discontinuos con dimensiones reducidas y trefiladas.

**Adhesivos;** mejoran la adherencia con el refuerzo.

**Aditivos minerales;** “son materiales de origen mineral finamente divididos, empleados como aditivos del concreto pueden reducir la exudación y la segregación y adicionalmente mejora la durabilidad y resistencia del concreto”. (Sanchez, 2001, pág. 125)

### **2.3.1.2 Propiedades del concreto**

#### *2.3.1.2.1 Concreto en el estado fresco*

##### *2.3.1.2.1.1 Trabajabilidad*

La trabajabilidad permite manipular, transportar y colocar la mezcla con el menor trabajo posible con un máximo de homogeneidad y garantizar un acabado sin segregación.

#### 2.3.1.2.1.2 Segregación

Neville (2013) define como:

*La principal causa de la segregación es la diferencia de los tamaños de las partículas y su distribución no es uniforme también se puede entender como la separación de los componentes del concreto, su distribución ya no es uniforme en ocasiones el peso específico origina la segregación (pág. 140).*

Se presentan dos formas de segregación:

- El peso, el movimiento o asentamiento tienden a separar las partículas más grandes o gruesas de las partículas finas.
- La mezcla presenta separación de la lechada, se debe principalmente al exceso de agua representado por mezclas más húmedas.

#### 2.3.1.2.1.3 Sangrado o Exudación

Abanto (2009) define al sangrado:

*Una porción de agua asciende hacia la superficie como producto de la sedimentación de las partículas gruesas y finas, se presenta justo momentos después de colocado el concreto, este fenómeno puede ser producto de una inadecuada dosificación de la mezcla (pág. 54).*

#### 2.3.1.2.1.4 Consistencia o Fluidéz

Esta propiedad importante está determinada por la cantidad de agua. Abanto (2009) menciona que la fluidez:

*Llamado también revenimiento, está definida por el grado de humedad, este depende directamente del volumen de agua de diseño. La consistencia sirve para evaluar el comportamiento en su estado fresco, consiste en verter la muestra recién elaborado en un molde, observando el asentamiento para medir el grado de humedad contenida luego de desmoldarlo. Esta prueba indica la facilidad de los componentes de la mezcla para adecuarse al encofrado o moldura sin perder la homogeneidad y con pocos vacíos. (pág. 47).*

La consistencia depende de la granulometría, TM de la piedra chancada y arena gruesa elegidos y principalmente de la cantidad de agua empleada.

Cuadro 10  
*Relación entre asentamiento, consistencia y trabajabilidad del concreto*

| CONSISTENCIA | SLUMP   | TRABAJABILIDAD  | METODO DE COMPACTACION    |
|--------------|---------|-----------------|---------------------------|
| Seca         | 0" a 2" | Poco trabajable | Vibración normal          |
| Plástica     | 3" a 4" | Trabajable      | Vibración ligera chuseado |
| Fluida       | > 5"    | Muy trabajable  | Chuseado                  |

Fuente: Tecnología del concreto (Abanto, 2009)

### 2.3.1.2.2 Concreto en estado endurecido

#### 2.3.1.2.2.1 Elasticidad

Pasquel (1998) Señala que:

*Es un material no elástico, en ninguna zona del diagrama deformación - carga se observa un comportamiento lineal, sin embargo, el concreto presenta un módulo de elasticidad el cual se define mediante una recta secante que une el origen del diagrama o en la parte inicial del diagrama una recta tangente, frecuentemente es un porcentaje de la tensión ultima (pág. 141)*

#### 2.3.1.2.2.2 Curado

Para la obtención de un buen concreto “*Se debe seguir un adecuado protocolo en las primeras etapas del endurecimiento se debe promover la hidratación del cemento controlando la humedad y la temperatura y esto se logra saturando el concreto*” (Neville, 2013, pág. 232).

Procedimientos de curado:

Se dispone de varios materiales para poder curar el concreto y garantizar la humedad necesaria y un ambiente adecuado y poder desarrollar sus propiedades.

- Curado con el empleo de agua

Este tipo de curado brinda una película permanente de agua sobre el concreto colocado puede ser por anegación, aspersión, cubiertas o empleando arena como arrocetas.

- Curado con selladores

Son materiales aplicados sobre el concreto a fin de evitar o minimizar la evaporación por pérdida de agua pueden ser como un filme plástico y compuestos líquidos.

En la figura 1 Se muestra la importancia del curado en el tiempo sobre la resistencia del concreto.

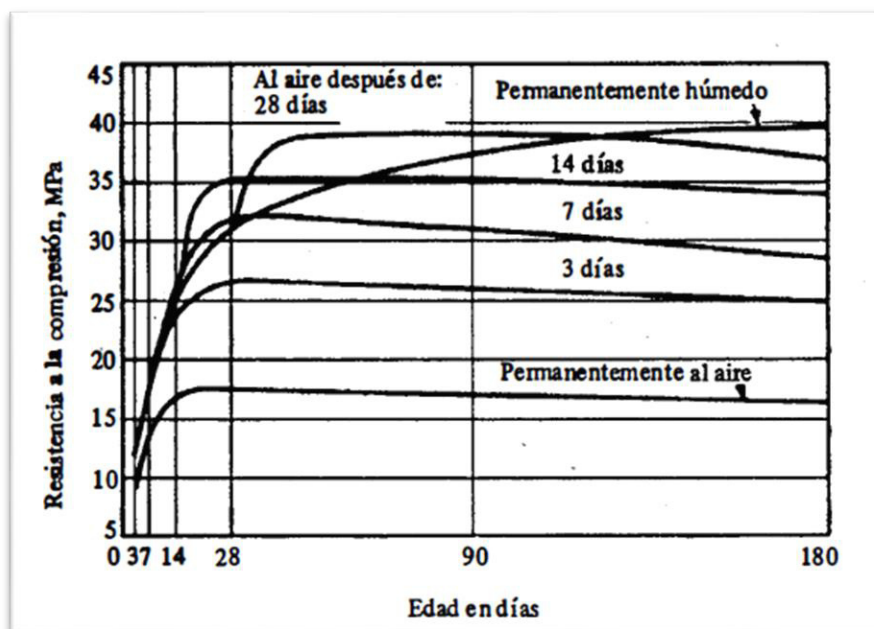


Figura 1 Influencia en la resistencia debido al tiempo de curado  
Fuente: Tecnología del concreto (Neville, 2013)

### 2.3.1.2.2.3 Resistencia

Es una propiedad muy importante en el concreto, debido a que puede soportar un esfuerzo máximo sin romperse.

- (f'c) Resistencia a compresión

Roturando testigos estándar de concreto endurecido se obtiene las resistencias el cual se inicia con el fraguado final y depende del curado, normalmente este ensayo se realiza a los 28 días.

- (ft) Resistencia a tracción

Representa un valor del 8 % hasta el 15 % del valor de la resistencia a compresión aproximadamente.

## **2.3.2 Cola de caballo (*Equisetum Arvenses*)**

### **2.3.2.1 Concepto**

Género de plantas criptógamas que pertenece a la familia de las equisetáceas. Estas plantas, oriundas de las regiones templadas septentrionales, están distribuidas generalmente por terrenos húmedos y pantanosos o en suelos secos y estériles. Tienen rizomas con tallos unidos y verticales y pequeñas hojas dispuestas en verticilos. Los primeros tallos que aparecen son fértiles, generalmente sin ramas, y llevan conos terminales de esporas. Son de color castaño pálido; cada tallo tiene de 6 a 10 vainas amarillentas, de 25 mm de longitud, dirigidas hacia el exterior en los extremos. Las esporas son de color verde agrisado y tienen dos apéndices alargados, elaterios, unidos en su mitad. Estos apéndices se arrollan alrededor de las esporas cuando están húmedos, pero al secarse se extienden en forma de cruz y mantienen a las esporas en grupos densos. Los tallos estériles aparecen después de los fértiles; verdes y muy rameados,

se asemejan frecuentemente a pinos en miniatura. La *Equisetum arvense*, variedad campestre, y la *E. palustre*, variedad pantanosa, son las más corrientes la mayor parte no pasan de 1,20 m. La *E. hymenale* contiene silicatos en sus bastos tallos.

Fotografía 1

*Ubicación de las plantas de cola de caballo (Equisetum Arvenses)*



Fuente: Autoría propia 2020

Fotografía 2

*Identificación de la planta de cola de caballo*



Fuente: Autoría propia 2020

### **2.3.2.2 Cenizas de la cola de caballo**

Son residuos sólidos inorgánicos producto de la incineración de las plantas secas de la cola de caballo, las cuales se encuentran activadas térmicamente a 650° C producto de la combustión completa.

Los residuos sólidos inorgánicos activados de la cola de caballo están compuestos por microesferas constituidas principalmente por óxidos como sílice, calcio, fierro, cobre y potasio. Los cuales se pueden caracterizar porque presentan una distribución granulométrica muy fina y con altos contenidos de silicio superiores al 87 %, en su forma reactiva siendo esta propiedad por la que se puede definir como una materia prima de excelencia.

### **2.3.2.3 Composición química de la cola de caballo**

Según los resultados del análisis de FR-X de la cola de caballo activada a 650° C por un periodo de 2 horas se observa que el contenido de dióxido de silicio es el más importante llegando a un porcentaje optimo según lo esperado referente a los porcentajes del contenido de óxidos en de masa estos valores se observan en el cuadro 11.



Cuadro 11

*Resumen del análisis FR-X de la muestra de cola de caballo*

| OXIDOS                         | RESULTADOS (%) MASA |
|--------------------------------|---------------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 87.927              |
| SO <sub>2</sub>                | 6.29                |
| ClO <sub>2</sub>               | 3.188               |
| K <sub>2</sub> O               | 6.561               |
| CaO                            | 8.785               |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.013               |
| V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.004               |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0.004               |
| MnO                            | 0.047               |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.173               |
| Ni <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.008               |
| CuO                            | 0.385               |
| ZnO                            | 0.261               |
| BrO <sub>2</sub>               | 0.004               |
| As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.003               |
| SrO                            | 0.026               |
| Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 0.001               |
| ZrO <sub>3</sub>               | 0.004               |

Fuente: Facultad de ciencias físicas - laboratorio de arqueometría - UNMSM

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

#### **3.1 Tipo y diseño de investigación**

##### **3.1.1 Tipo de investigación.**

Experimental cuantitativa, porque está orientado a indagar sobre las variables independientes y dependientes y sus relaciones de causalidad entre ellas.

##### **3.1.2 Nivel de la investigación.**

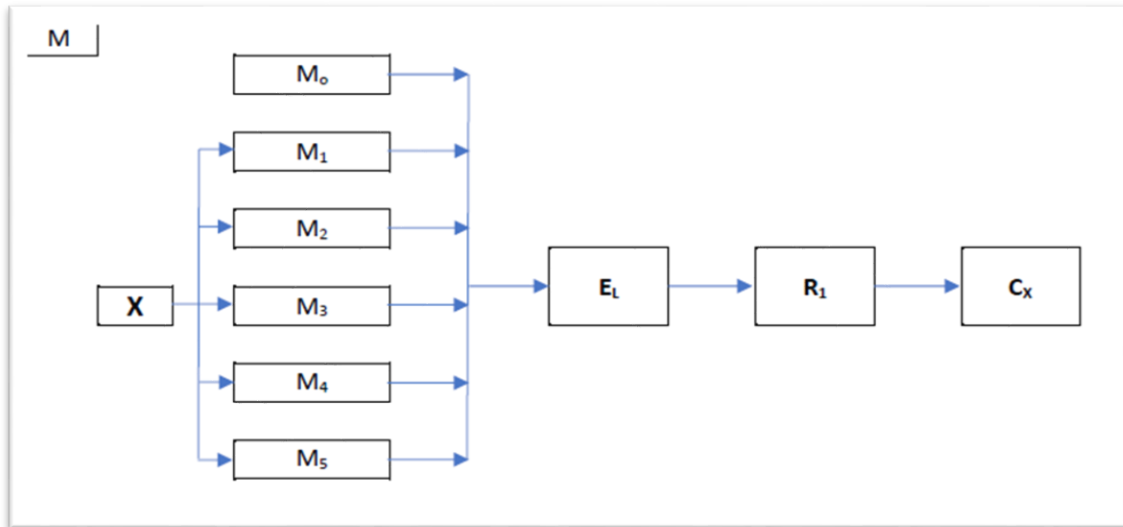
Correlacional, Sampieri , Fernández, & Baptista (2010) lo definen como *“El estudio correlacional tiene como fin saber si entre dos o más conceptos, categorías o variables existe algún grado de asociatividad o relación”* (pág. 81)

Se evaluó el grado de relación de dos grupos de estudio representados por un primer grupo llamado (Concreto patrón) y un segundo grupo llamado (Concreto experimental) con adición de dióxido de silicio en diferentes proporciones, comparando las resistencias a la compresión de los grupos y explicar las ocurrencias producto de la contrastación de las variables.

### **3.1.3 Diseño de la investigación.**

Experimental, según Sampieri et al., (2010) menciona *“Se utiliza el diseño experimental cuando el investigador quiere establecer los efectos de una posible manipulación”* (pág. 122).

En este trabajo experimental se determinó las consecuencias que genera la variable independiente (incorporación de dióxido de silicio) en la resistencia del concreto (variable dependiente) Este trabajo experimental fue realizado en las instalaciones del laboratorio GICA PERU ubicado en Jr. Edgardo Rebagliati N° 180 El Tambo Huancayo con la dirección técnica del Ing. Adolfo E. Camayo Ginche con registro CIP N° 153550, los resultados y los datos se registraron en formatos estándar.



*Figura 2* Diseño de investigación  
Fuente: Autoría propia 2020

M= Representa a la población o muestra.

X =Incorporación de dióxido de silicio.

M<sub>0</sub>= Concreto patrón

M<sub>1</sub>= Concreto con incorporación de 0.5% de dióxido de silicio.

M<sub>2</sub>= Concreto con incorporación de 1.0% de dióxido de silicio.

M<sub>3</sub>= Concreto con incorporación de 1.5% de dióxido de silicio.

M<sub>4</sub>= Concreto con incorporación de 2.0% de dióxido de silicio.

M<sub>5</sub>= Concreto con incorporación de 5.0% de dióxido de silicio.

E<sub>L</sub>= Experimentación en laboratorio.

R<sub>1</sub>= Resultados de las resistencias de los concretos.

C<sub>x</sub>= Conclusiones sobre incorporación de SiO<sub>2</sub>.

### 3.2 Población del estudio

Universo de probetas elaboradas diseño 210 kg/cm<sup>2</sup> (concretos experimentales y patrón).

### **3.3 Tamaño de la muestra**

La muestra está definida según. Sampieri et.al, (2010) menciona *“Es un subgrupo el cual se emplea por economizar tiempo y recursos, el cual implica precisar la unidad de estudio, además de delimitar la población con el fin de establecer parámetros y generalizar resultados”* (pág. 171) el tipo de muestreo realizado fue intencional no probabilístico.

90 probetas de concreto cilíndrico de 4" x 8".

1 grupo llamado concreto patrón: compuesto por 01 diseño de mezcla sin incorporación de dióxido de silicio con  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ . y 15 testigos o probetas  
5 grupos llamados concretos experimentales: compuesto por 05 diseños de mezcla con incorporación de 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% y 5.0 % de dióxido de silicio con diseño  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  y 75 testigos o probetas.

### **3.4 Técnicas para recolectar datos**

#### **A. Técnica:**

La técnica empleada para elaborar este trabajo de investigación fue la experimentación y observación, para  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  de diseño de mezcla variando por la incorporación de dióxido de silicio proveniente de la cola de caballo en diferentes dosis; para lo cual se elaboraron testigos de concreto cuyos resultados nos dará a conocer las variaciones de las resistencias de los concretos ensayados y la evolución en el tiempo a los 7, 14, 21, 28 y 90 días, determinando una dosificación óptima que permita emplearse como sustituto de los aditivos comerciales.

#### **B. Instrumentos:**

- Empleo de instrumentos y equipos para el diseño de mezcla
- Empleo de equipos para ensayos de muestras
- Formato elaboración - diseños de mezclas.
- Formato registro – Slump 6 grupos.
- Formato registro - resistencia a la compresión.

C. Recolección de datos:

- Trabajo experimental:

Para la investigación se realizaron 06 diseños de mezclas, asignándoles codificaciones según el tipo y porcentaje de dióxido de silicio empleado tal como se observa en cuadro 12.

Cuadro 12  
*Trabajo experimental*

| DESCRIPCION    | TIPO DE MEZCLA (dosis) |      |      |      |      |      |
|----------------|------------------------|------|------|------|------|------|
|                | CP                     | CE 1 | CE 2 | CE 3 | CE 4 | CE 5 |
| Diseño (f'c)   |                        |      |      |      |      |      |
| f'c=210 kg/cm2 | Sin Adición            | 0.5% | 1.0% | 1.5% | 2.0% | 5.0% |

Fuente: Autoría propia. 2020

D. Fuentes:

- (RNE, 2016) *Reglamento Nacional de Edificaciones.*
- (MTC, 2016) *Manual de Ensayo de Materiales.*

## CAPÍTULO IV

### DESARROLLO DEL TEMA

#### 4.1 Planificación

➤ Primera fase



➤ Segunda fase



## 4.2 Selección de los materiales

### 4.2.1 Ubicación geográfica de los materiales para la investigación

#### 4.2.1.1 Piedra chancada

La piedra chancada de ½” se adquirió de la cantera Matahuasi a 4 km al noreste de la provincia de Concepción, en las siguientes coordenadas 463184.00 m E; 8685372.00 m N, se ubica en el margen del río seco, con acceso desde la carretera central camino a Jauja, se ingresa por el lado izquierdo del puente Matahuasi a unos 400 metros aguas arriba de la carretera central, los productos que se ofrece en la cantera Matahuasi es la piedra chancada de 1”, 3/4”, 1/2” y 3/8” cuya materia prima se aprovecha del lecho del río seco.

Fotografía 3  
*Cantera Matahuasi - ubicación*



Fuente: Google Earth 2020



#### Fotografía 4

#### *Recolección de piedra chancada - agregado grueso*



Fuente: Autoría propia 2020

#### **4.2.1.2 Arena gruesa**

El material empleado para este trabajo de investigación se adquirió en la cantera Pilcomayo, a 200 metros del puente la breña y la carretera central margen derecha con las siguientes coordenadas 473653.00 m E; 8667571.00 m N ubicado en el distrito de Pilcomayo.

Fotografía 5  
*Ubicación de la cantera Pilcomayo*



Fuente: Google Earth 2020

Fotografía 6  
*Recolección de arena gruesa - agregado fino*



Fuente: Autoría propia 2020

### 4.3 Recolección y tratamiento de la cola de caballo

Fue recolectada en la zona alta de la quebrada Huacará con acceso desde la carretera marginal camino a San Ramón, se ingresa por el lado izquierdo del puente Huacará a 4 km aguas arriba del río Huacará, en las coordenadas 459369.00 m E; 8767474.00 m N, provincia de Chanchamayo distrito de San Ramón.

Fotografía 7

*Ubicación del área de crecimiento de la cola de caballo*



Fuente: Google Earth 2020

Fotografía 8  
*Recolección de las plantas de cola de caballo*



Fuente: Autoría propia 2020

El tratamiento realizado a la planta de cola de caballo se detalla a continuación:

En primer lugar, se realizó un extendido de las plantas para su secado el que se dio en 24 horas aproximadamente, luego del secado se procedió a pre quemar a cielo abierto por espacio de 10 min como se observa en la fotografía 9.

Fotografía 9

*Pre quemado de las plantas de cola de caballo secas*



Fuente: Elaboración propia 2020

Posteriormente se llevó la cola de caballo pre quemada al laboratorio de mineralogía y cristalografía de la FIMM – UNCP / Yauris. para activarla térmicamente en la mufla a una temperatura de 650 -700°C por un tiempo de 2 horas como se aprecia en la fotografía 10 y 11

Fotografía 10

*Calcinación de cola de caballo - FIMM-UNCP / laboratorio de mineralogía*



Fuente: Autoría propia 2020

Fotografía 11

*Producto final obtenido como dióxido de silicio activado*



Fuente: Autoría propia 2020

Ya activado el material se llevó a procesar el dióxido de silicio activado en el laboratorio de procesamiento de materiales de la FIMM - UNCP para su molienda en el molino de Denver por espacio de 30 minutos como se aprecia en la fotografía 12

finalmente, la muestra retirada del molino de Denver se procedió a tamizar por la malla N°200 observando que la totalidad de la muestra pasa por esta malla obteniendo un tamaño de partícula de 75  $\mu\text{m}$ .

Fotografía 12

*Molienda del dióxido de silicio activado en el molino de Denver*



Fuente: Autoría propia 2020

## 4.4 Elaboración de diseños de mezcla en laboratorio

### 4.4.1 Procedimientos

(NTP 400.012) / (MTC) **E 204 *Análisis granulométrico - piedra chancada y arena gruesa.***

a. Materiales

- Juego de tamices de: 1 ½", 1", ¾", ½", ⅜", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30 N° 50, N° 100 y N° 200.

b. Equipos:

- Balanzas con aproximación de 0,1 gr.
- Horno de 110°C±5°C

c. Muestra:

- La muestra de arena gruesa posterior al secado fue 1190 gr, superior a los 300 gr. como mínimo exigido según norma.
- La muestra de piedra chancada después de secado se estableció según el cuadro 13.



Cuadro 13  
*Cantidad de muestra mínima – piedra chancada*

| Tamaño Máximo Nominal<br>abertura cuadrada |        | Cantidad mínima de<br>muestra de ensayo |
|--|--------|---|
| mm   | pulg.  | Kg                                      |
| 9.5  | 3/8"   | 1                                       |
| 12.5                                       | 1/2"   | 2                                       |
| 19   | 3/4"   | 5                                       |
| 25   | 1"     | 10                                      |
| 37.5                                       | 1 1/2" | 15                                      |
| 50   | 2"     | 20                                      |
| 63   | 2 1/2" | 35                                      |
| 75   | 3"     | 60                                      |
| 90   | 3 1/2" | 100                                     |
| 100  | 4"     | 150                                     |
| 125  | 5"     | 300                                     |

Fuente: Manual de ensayo de materiales (MTC, 2016, pág. 304)

d. Procedimiento:

- Se secó a 110°C la muestra, hasta obtener peso constante.
- Se usó tamices de diferentes tamaños según el material a procesar.
- Se procedió con el cribado de la muestra manualmente durante un período 10 a 15 min.
- Se rotó las partículas que quedaron, verificando si pasa por el tamiz; no forzando sobre la malla.
- Se registraron los pesos retenidos en cada tamiz de la muestra con el uso de la balanza.
- Se verificó el peso final de la muestra procesada.
- se verificó que el peso final de la muestra analizada es igual al peso del material inicial.

La fotografía 13 muestra el procedimiento de ensayo granulométrico de los agregados

Fotografía 13  
*Ensayos granulométricos de los agregados*



Fuente: Autoría propia 2020

**(NTP 339.185) / (MTC) E 215 *Contenido de humedad.***

a. Equipos:

- Horno eléctrico 110°C +/- 5 °C.
- Taras.
- Balanza electrónica digital.

b. Muestra:

- Se tomó una muestra representativa para el contenido de humedad con un peso no inferior a la cantidad señalada en la siguiente tabla.

Cuadro 14  
*Agregado grueso - tamaño de muestra*

| Tamaño Máximo Nominal del agregado en mm (pulg) | Masa mínima de la muestra de agregado de peso normal en kg |
|---|--|
| 4.75 (N 4)                                      | 0.5  |
| 9.5 (3/8")                                      | 1.5  |
| 12.5 (1/2")                                     | 2.0  |
| 19.0 (3/4")                                     | 3.0  |
| 25.0 (1")                                       | 4.0  |
| 37.5 (1 1/2")                                   | 6.0  |
| 50.0 (2")                                       | 8.0  |
| 63.0 (2 1/2")                                   | 10.0   |
| 75.0 (3")                                       | 13.0   |
| 90.0 (3 1/2")                                   | 16.0   |
| 100.0 (4")                                      | 25.0   |
| 150.0 (6")                                      | 50.0   |

Fuente: Manual de ensayo de materiales (MTC, 2016, pág. 362)

c. Procedimiento:

- Piedra chancada:
  - El peso de la piedra chancada fue de 3000 g mínimo.
  - Se pesó la tara y la piedra chancada.
  - Se secó la piedra chancada en horno a 110°C por 24 horas.

- Después de 24 horas se pesó la muestra seca al horno.
- Se anotó los resultados de los pesos, calculando la humedad del material usado.
- Arena gruesa:
  - Se pesó 1000 gr de arena gruesa.
  - Se pesó la tara y la arena gruesa.
  - Se seco la muestra en horno a 110°C por 24 horas.
  - Después de 24 horas se pesó la muestra seca al horno.
  - Se anotó los resultados de los pesos, para luego calcular la humedad de la arena gruesa.

La humedad se calculó según las expresiones que se detallan:

$$P = \frac{(W-D)100}{D}$$

Dónde:

P: Humedad total.

W: Muestra húmeda original en grs.

D: Muestra seca en grs.

**(NTP 400.017) / (MTC) E 203 *Peso Unitario.***

La masa para un determinado volumen unitario empleado para realizar diseños de mezclas en algunos métodos.

a. Materiales:

- Varilla lisa (5/8") de acero, de punta redondeada y 60 cm de longitud.

- Cucharon metálico o pala de mano.
- b. Equipos:
- Envase metálico cilíndrico de medida.
  - Balanza electrónica.
- c. Muestra:
- Se cuarteó la muestra reduciéndola así para el ensayo.
  - Se empleó un 125 a 200 % de la cantidad requerida de la muestra para el ensayo.
- d. Procedimientos
- P.U.S.
- Se calculó el peso del envase de medida.
  - El envase de medida se llenó vertiendo el agregado a una distancia de hasta 2" hasta llenar el envase de medida.
  - Con una regla se eliminó el sobrante del agregado.
  - Se registró el peso del agregado más el envase de medida.
- P.U.C.
- Se calculó el peso del envase de medida.
  - Se llenó el primer tercio del envase con el agregado emparejando con el uso de la mano.
  - Con 25 golpes, la primera capa se apisono con uniformidad empleando una varilla con el borde semiesférico.
  - Se llenó las dos terceras partes siguientes del recipiente, emparejando la superficie y se apisono nuevamente.

- Finalmente se llenó el envase apisonando con uniformidad.
- Se enrazó con ayuda de la varilla de acero, eliminando todo exceso.
- Se registró el peso del agregado más el envase de medida.

**Absorción y peso específico de los agregados:**

**(NTP 400.021) / (MTC) E 206 *Absorción y peso específico de la piedra chancada.***

Materiales:

- Depósito / agua.
  - Cesto (malla metálica).
  - Tamiz (N° 4).
  - Taras.
- a. Equipos:
- Balanza electrónica.
  - Horno eléctrico 110°C +- 5°C.
- b. Muestra:
- Se redujo la muestra por cuarteo según necesidad.
  - Se procedió a descartar el material que pasa por la malla 4.75 mm a continuación se lavó el agregado para eliminar impurezas presentes.
  - Los pesos mínimos para ensayos se determinan según el siguiente cuadro:

Cuadro 15  
*Piedra chancada - peso mínimo*

| Tamaño Máximo Nominal mm<br>(pulg) | Peso mínimo de la muestra de<br>agregado de ensayo kg (lb) |
|------------------------------------|--|
| 12.5 (1/2") o menos                | 2 (4.4)  |
| 19.0 (3/4")                        | 3 (6.6)  |
| 25.0 (1")                          | 4 (8.8)  |
| 37.5 (1 1/2")                      | 5 (11)   |
| 50.0 (2")                          | 8 (18)   |
| 63.0 (2 1/2")                      | 12 (26)  |
| 75.0 (3")                          | 18 (40)  |
| 90.0 (3 1/2")                      | 25 (55)  |
| 100.0 (4")                         | 40 (88)  |
| 112.0 (4 1/2")                     | 50 (110)   |
| 125.0 (5")                         | 75 (165)   |
| 150.0 (6")                         | 125 (276)  |

Fuente: Manual de ensayo de materiales (MTC, 2016, pág. 313)

c. Procedimiento

- Se secó a  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  el agregado en seguida se enfrió de 1 hasta 3 horas a temperatura ambiente luego se sumergió por 24 horas en agua a una temperatura ambiental.
- Se sacó del agua la piedra chancada muestra y luego se eliminó el agua de la superficie de la piedra chancada sobre un paño absorbente,
- Se cuidó que no se pierda el agua de la superficie de la piedra chancada por evaporación.

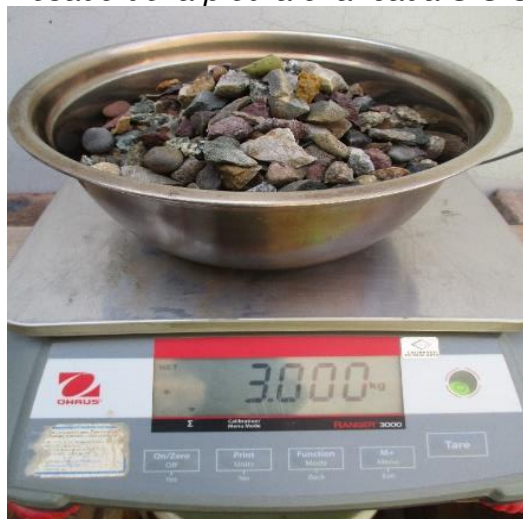
Fotografía 14  
*Secado de la piedra chancada S.S.S*



Fuente: Autoría propia 2020

- En condición de saturación se pesó la piedra chancada con superficie seca, controlando los pesos con aproximación de 0,05%.

Fotografía 15  
*Pesado de la piedra chancada S.S.S.*



Fuente: Autoría propia 2020

- Pesado, se colocó en el cesto de alambre, determinando su peso introducido en el agua. Se sacudió el recipiente con la muestra para remover el aire atrapado mientras se sumerge.



- Se hizo secar la muestra a 110°C, obtenido un peso constante se dejó enfriar y registró el peso.

Fórmulas:

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

$$P_{e_{sss}} = 100 \times \frac{B}{(B-C)}$$

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

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

Donde:

$P_{e_{sss}}$  = Peso específico saturado superficialmente seco.

$A_b$  = Absorción.

A = Agregado seco al ambiente (grs).

B = Agregado S.S.S (grs).

C = Masa saturada.

**(NTP 400.022)/ (MTC) E 205 *Peso específico y absorción.***

- a. Materiales
  - Agua.
  - Tara.
  - Cucharón.

- Frasco volumétrico de 1000 cm<sup>3</sup>.
- Molde cónico estandarizado de metal.
- Varilla con borde redondeado de acero.

Fotografía 16

*Determinación de la absorción - peso específico de la arena gruesa*



Fuente: Autoría propia 2020

b. Equipos

- Balanza electrónica.
- Horno eléctrico 110°C ± 5°C.

c. muestra:

- En un recipiente verter la arena gruesa obtenido por cuarteo y secado en el horno, cubrir con agua por 24 horas hasta su saturación completa.

- Evitar la pérdida de finos cuando se elimine el agua y extender la arena gruesa en una superficie limpia removiendo hasta que este seco hasta la perdida de adherencia entre las partículas.
  - Verter la arena gruesa al molde cónico golpeando con suavidad 25 veces con el pisón, levantar el molde para evaluar la muestra.
  - Si el cono realizado no pierde su forma nos indica que existe exceso de humedad libre.
  - Revolver la arena gruesa probando constantemente hasta que se observe un desmoronamiento al retirar el molde, el desmoronamiento indica que la muestra tiene una superficie seca, una condición necesaria.
- d. Procedimiento:
- En el frasco se Introdujo 500 gr de muestra, se llenó con agua a temperatura ambiente, enrazando hasta la marca de 500 cm<sup>3</sup>. Agitando para la eliminación de las burbujas presentes en la muestra.
  - Eliminado las burbujas de aire, se completó con agua hasta el nivel solicitado, se pesó la muestra, el agua más el envase.
  - La arena gruesa fue removida del frasco, se secó la muestra en la estufa en un recipiente a 110°C ± 5°C, se dejó enfriar de 30 a 90 minutos determinándose el peso.

El peso específico de la arena gruesa se calculó de la siguiente manera:

Peso específico de masa ( $P_{em}$ ):

$$P_{em} = 100 \times \frac{W_0}{(V_0 - V_a)}$$

$$P_{esss} = 100 \times \frac{500}{(V - V_0)}$$

$$P_{ea} = 100 \times \frac{W_0}{(V - V_0) - (500 - W_0)}$$

$$A_b = \frac{500 - W_0}{W_0} \times 100$$

Donde:

$P_{esss}$  = Pe de masa S.S.S

$A_b$  = Absorción

$W_0$  = Peso muestra seca al horno (grs)

$V$  = Volumen del envase (cm<sup>3</sup>)

$V_a$  = Masa del agua añadida al frasco en volumen en cm<sup>3</sup> o grs.

### **Diseño de mezcla - f'c 210 kg/cm<sup>2</sup> / (A.C.I)**

Rivva (2015) menciona que:

*“El comité 211 ACI desarrollo un diseño de mezclas con un procedimiento muy simple, se emplea con mucha frecuencia en la actualidad, basados en tablas, con estos valores se obtienen los materiales o componentes que intervienen en una unidad cubica de concreto” (pág. 131).*

El comité 211 ACI considera la siguiente secuencia de diseño de mezclas:

1. Obtención del (f'cr) a partir de (f'c).

Para la investigación realizada no se contaba registros de ensayos en campo que posibilitaran el cálculo de la desviación estándar, por lo tanto, para encontrar la resistencia promedio requerida ( $f'_{cr}$ ) deberá ser determinada por:

Cuadro 16  
*Promedios - resistencias a compresión*

| $f'_c$      | $f'_{cr}$   |
|-------------|-------------|
| menor a 210 | $f'_c + 70$ |
| 210 a 350   | $f'_c + 84$ |
| sobre 350   | $f'_c + 98$ |

Fuente: Diseño de mezclas (Rivva López, 2015, pág. 63)

## 2. Elección del T.M.N.

El tamaño máximo de un agregado está ligada a la obtención de un alta, media o baja resistencia de una mezcla por ello el tamaño máximo que se eligió inicialmente fue de 1/2" para los diseños de mezcla.

## 3. Elección del Slump.

Se eligió trabajar con un asentamiento de 3 a 4" o con una consistencia plástica para lo cual se empleó la siguiente tabla.

Cuadro 17  
*Asentamiento según tipos de mezclas*

| CONSISTENCIA | SLUMP   | TRABAJABILIDAD  | METODO DE COMPACTACION    |
|--------------|---------|-----------------|---------------------------|
| Seca         | 0" a 2" | Poco trabajable | Vibración normal          |
| Plástica     | 3" a 4" | Trabajable      | Vibración ligera chuseado |
| Fluida       | > 5"    | Muy trabajable  | Chuseado                  |

Fuente: Tecnología del concreto (Abanto, 2009, pág. 49)

#### 4. Elección del agua de diseño

La cantidad empleada de agua sin incorporación de aire según el método ACI 211 de acuerdo con el tamaño máximo nominal seleccionado para este trabajo de investigación se obtuvo del siguiente cuadro.

Cuadro 18  
*Elección de agua de diseño – volumen unitario*

| Asentamiento | Agua en lt/m <sup>3</sup> de concreto para tamaños nominales de agregados gruesos y consistencia indicados |      |      |     |        |     |     |     |
|--------------|--|------|------|-----|--------|-----|-----|-----|
|              | 3/8"   | 1/2" | 3/4" | 1"  | 1 1/2" | 2"  | 3"  | 6"  |
| 1" a 2"      | 207  | 199  | 190  | 179 | 166    | 154 | 130 | 113 |
| 3" a 4"      | 228  | 216  | 205  | 193 | 181    | 169 | 145 | 124 |
| 6" a 7"      | 243  | 228  | 216  | 202 | 190    | 178 | 160 | -   |

Fuente: Diseño de mezclas (Rivva López, 2015, pág. 82)

#### 5. Elección de contenido de aire.

Están determinadas en función del tamaño máximo nominal cuyo valor se encuentra en la siguiente tabla, para nuestro diseño de mezcla corresponde un 2.0%.

Cuadro 19  
*Aire atrapado según T.M.N.*

| Tamaño Máximo Nominal | Aire atrapado (%) |
|-----------------------|-------------------|
| 3/8"                  | 3.0%              |
| 1/2"                  | 2.5%              |
| 3/4"                  | 2.0%              |
| 1"                    | 1.5%              |
| 1 1/2"                | 1.0%              |
| 2"                    | 0.5%              |
| 3"                    | 0.3%              |
| 6"                    | 0.2%              |

Fuente: Diseño de mezclas (Rivva López, 2015, pág. 89)

#### 6. Relación a/c por durabilidad y por resistencia

Encontrar la relación a/c para este trabajo de investigación, conocida la ( $f'_{cr}$ ) se procedió a realizar la interpolación con los valores según el cuadro 20.

Cuadro 20  
*Relación a/c y la resistencia*

| Resistencia a la compresión a los 28 días ( $f'_{cr}$ ) (kg/cm <sup>2</sup> ) | Relación agua - cemento de diseño en peso |                                |
|---|---|--------------------------------|
|   | Concretos sin aire incorporado            | Concretos con aire incorporado |
| 450   | 0.38                                      | -                              |
| 400   | 0.43                                      | -                              |
| 350   | 0.48                                      | 0.40                           |
| 300   | 0.55                                      | 0.46                           |
| 250   | 0.62                                      | 0.53                           |
| 200   | 0.70                                      | 0.61                           |
| 150   | 0.80                                      | 0.71                           |

Fuente: Tecnología del concreto (Abanto, 2009, pág. 68)  
 Por razones de durabilidad la  $f'_{c}$  debe ser mayor a 245 kg/cm<sup>2</sup>.

7. Elección del factor cemento.

Podemos determinarlo conociendo la relación a/c y el volumen del agua

8. Elección del contenido de la piedra chancada

La determinación del contenido de piedra chancada según el ACI 211, requiere conocer o encontrar el módulo de fineza de la arena gruesa, así como el T.M.N de la piedra chancada agregado grueso, la obtención del  $b/b_0$ , nos conduce a elaborar concretos muy trabajables.



Cuadro 21

Coefficiente  $b/b_o$  (T.M.N. – módulo de fineza de la arena gruesa)

| Tamaño Máximo<br>Nominal del<br>agregado grueso | Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por<br>unidad de volumen del concreto para diversos módulos de<br>fineza del agregado fino |             |             |             |
|---|---|-------------|-------------|-------------|
|   | <b>2.40</b>   | <b>2.60</b> | <b>2.80</b> | <b>3.00</b> |
| 3/8"  | 0.50  | 0.48        | 0.46        | 0.44        |
| 1/2"  | 0.59  | 0.57        | 0.55        | 0.53        |
| 3/4"  | 0.66  | 0.64        | 0.62        | 0.60        |
| 1"  | 0.71  | 0.69        | 0.67        | 0.65        |
| 1 1/2"  | 0.76  | 0.74        | 0.72        | 0.70        |
| 2"  | 0.78  | 0.76        | 0.74        | 0.72        |
| 3"  | 0.81  | 0.79        | 0.77        | 0.75        |
| 6"  | 0.87  | 0.85        | 0.83        | 0.81        |

Fuente: Diseño de mezclas (Rivva López, 2015, pág. 120)

## 9. Cálculo de los volúmenes de piedra chancada, cemento, agua y aire

Para calcular los volúmenes es necesario conocer las masas de la piedra chancada, cemento, aire y agua, luego se procederá a sumar los volúmenes absolutos.

## 10. Elección del volumen absoluto de la arena gruesa

Es la diferencia entre la unidad cubica ( $1 \text{ m}^3$ ) menos la suma calculada de los volúmenes absolutos.

## 11. Determinación del peso seco de la arena gruesa.

Es igual a la multiplicación de su peso específico por su volumen absoluto.

12. Valores de diseño de la piedra chancada, arena gruesa, cemento, aire y agua

Estos corresponden a los materiales por cantidad que se emplearan en el diseño.

13. Diseños corregidos por humedad.

Los materiales deben ser corregidos en relación de las condiciones que se encuentren y el tipo de almacenamiento en el que se encuentren con el fin de obtener datos reales para realizar los diseños.

14. Proporciónamiento en pesos.

15. pesos de los materiales por tanda / saco.

### **Elaboración de especímenes y ensayos a la compresión del concreto.**

#### **(NTP 339.183)/ (MTC) E 702 - *Curado y elaboración de concretos***

Se elaboró probetas de concreto sin incorporar dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) y con incorporación de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) en diferentes proporciones con diseño  $210 \text{ kg/cm}^2$ .

- a. Materiales
  - Agregados
  - Agua de diseño
  - Cemento
  - Aditivos ( $\text{SiO}_2$ )
- b. Equipos

- Mezcladora
  - Moldes
  - Varilla metálica
  - Martillo con cabeza de hule
  - cucharón
  - Cono de Abrams.
  - Batea de metal.
  - Recipiente cilíndrico, para peso unitario.
  - Balanza.
- c. Procedimiento
- Después de realizado los diseños de mezclas, se elaboró en total 90 testigos de concreto.
  - Se procedió a pesar las cantidades necesarias de acuerdo con los datos obtenidos en el diseño de mezcla.
  - Posteriormente se colocó los materiales en el mezclador tipo trompo como la piedra chancada, arena gruesa, cemento, agua y el aditivo, hasta poder visualizar una pasta uniforme.
  - Una vez que la mezcla presento uniformidad se procedió a realizar los ensayos del concreto fresco (Slump), colocando el concreto en 3 capas según el cuadro 22, con 25 golpes con la barra compactadora por capa según el cuadro 23.

- Se verificó el asentamiento en cada caso, mediante el uso del cono truncado, luego se levantó el cono truncado verticalmente, procediendo a medir el asentamiento con un flexómetro.

Cuadro 22

*Elaboración de muestras y el número de capas requeridas*

| Tipo de tamaño de la muestra en mm (pulg) | Método de compactación | Numero de capas | Altura aproximada de la capa en mm (pulg) |
|---|------------------------|-----------------|---|
| CILINDROS                                 |                        |                 |   |
| Hasta 300 (12)                            | Apisonado (varillado)  | 3 iguales       | 100 (4)                                   |
| Mayor que 300 (12)                        | Apisonado (varillado)  | las requeridas  |   |
| Hasta 460 (18)                            | Vibración              | 2 iguales       | 200 (4)                                   |
| Mayor que 460 (18)                        | Vibración              | 3 o mas         |   |
| PRISMAS                                   |                        |                 |   |
| Hasta 200 (8)                             | Apisonado (varillado)  | 2 iguales       | 100 (4)                                   |
| Mayor que 200 (8)                         | Apisonado (varillado)  | 3 o mas         |   |
| Hasta 200 (8)                             | Vibración              | 1, 2 o mas      | 200 (8) C172                              |
| Mayor que 200 (8)                         | Vibración              |                 |   |

*Fuente: Manual de ensayo de materiales (MTC, 2016, pág. 777)*

- Luego se realizó el llenado de concreto en los moldes de probetas en 3 capas con 25 golpes por capa según el cuadro 23.
- al final se enrazó y procedió a dar entre 12 a 15 golpes con un martillo de goma.
- se realizó el mismo procedimiento para los 60 especímenes.

Cuadro 23  
*Cantidad de golpes / capa*

| CILINDROS                             |                                     |                              |
|---------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| Diámetro del cilindro en<br>mm (pulg) | Diámetro de varilla en mm<br>(pulg) | Numero de golpes<br>por capa |
| 50 (2) a 150 (6)                      | 10 (3/8)                            | 25                           |
| 150 (6)                               | 16 (5/8)                            | 25                           |
| 200 (8)                               | 16 (5/8)                            | 50                           |
| 250 (10)                              | 16 (5/8)                            | 75                           |

Fuente: Manual de ensayo de materiales (MTC, 2016, pág. 778)

**(NTP 339.183) / (MTC)E 704 –Resistencia a compresión del concreto**

- a. Equipos
  - Prensa para ensayo
- b. Muestra:
  - Probetas con una perpendicularidad a los ejes menor de 0.5°, con diámetro individual que no difieren en más del 2%
- c. Procedimiento
  - Las probetas se removieron del pozo de curado y fueron ensayadas a compresión.
  - Las probetas se ensayaron en su estado húmedo.
  - Todas las probetas de una determinada edad se rompieron según el cuadro 24.

Cuadro 24  
*Edad de ensayo de las probetas y sus tolerancias*

| Edad de Ensayo | Edad de Ensayo    |
|----------------|-------------------|
| 12 horas       | 0.25 o 2.1 %      |
| 24 horas       | 0.5 horas o 2.1 % |
| 3 días         | 2 horas o 2.28 %  |
| 7 días         | 6 horas o 3.6 %   |
| 28 días        | 20 horas o 3.0 %  |
| 56 días        | 40 horas o 3.0 %  |
| 90 días        | 2 días o 2.2 %    |

Fuente: Manual de ensayo de materiales (MTC, 2016, pág. 794)

- Se tomaron apuntes de la fecha y códigos en los formatos correspondientes de los ensayos de rotura realizados.
- Al final de cada ensayo de rotura se realizará la identificación del tipo de fractura que cada probeta ha sufrido para el cual nos guiamos con la siguiente figura 3

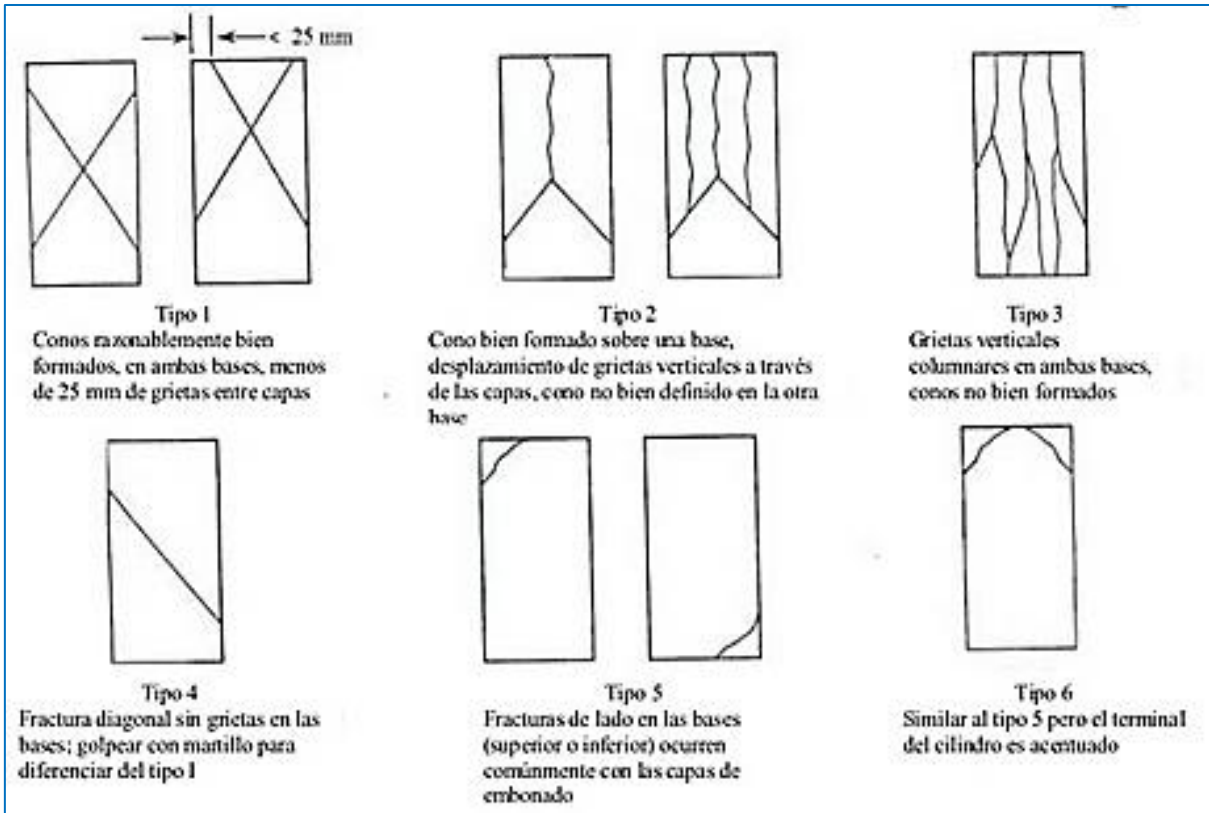


Figura 3 Esquema de los tipos de fallas

Fuente: Manual de ensayo de materiales (MTC, 2016, pág. 796)

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 5.1 Análisis, interpretación y discusión de resultados

##### 5.1.1 Resultados

**(NTP 400.012) / (MTC) E 204 *Análisis granulométrico - piedra chancada y arena gruesa.***

Granulometría - Piedra chancada

Descripción

Según el análisis realizado la piedra chancada presenta una buena gradación. Las partículas se encuentran dentro de los límites normados, sus características corresponden a un Huso 6.



Cuadro 25  
*Análisis granulométrico de la piedra chancada*

| TAMIZ  | ABERTURA<br>Mm | MUESTRA<br>N°1 | MUESTRA<br>N°2 | MUESTRA<br>N°3 | PROMEDIO | PESO<br>RETENIDO | % RETENIDO | % ACUMULADO | % QUE PASA | REQUISITOS GRANULOMETRICOS % |     |
|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------|------------------|------------|-------------|------------|------------------------------|-----|
|        |                |                |                |                |          |                  |            |             |            | MIN                          | MAX |
| 2 1/2" | 63.00          | 0.00           | 0.00           | 0.00           | 0.00     | 0.00             | 0.00       | 0.00        | 100        | 100                          | 100 |
| 2"     | 50.00          | 0.00           | 0.00           | 0.00           | 0.00     | 0.00             | 0.00       | 0.00        | 100        | 100                          | 100 |
| 1 1/2" | 37.50          | 0.00           | 0.00           | 0.00           | 0.00     | 0.00             | 0.00       | 0.00        | 100        | 100                          | 100 |
| 1"     | 25.00          | 0.00           | 0.00           | 0.00           | 0.00     | 0.00             | 0.00       | 0.00        | 100        | 100                          | 100 |
| 3/4"   | 19.00          | 36.66          | 36.60          | 36.00          | 36.42    | 36.42            | 1.46       | 1.46        | 99         | 90                           | 100 |
| 1/2"   | 12.50          | 1670.64        | 1671.22        | 1670.07        | 1670.64  | 1670.64          | 67.12      | 68.58       | 31         | 20                           | 55  |
| 3/8"   | 9.50           | 555.10         | 554.00         | 556.25         | 555.12   | 555.12           | 22.30      | 90.88       | 9.1        | 0.0                          | 15  |
| Nro. 4 | 4.75           | 210.20         | 211.35         | 209.70         | 210.42   | 210.42           | 8.45       | 99.34       | 0.7        | 0.0                          | 5.0 |
| FONDO  | 2.36           | 16.52          | 15.94          | 17.10          | 16.52    | 16.52            | 0.66       | 100.00      | 0.0        | 0.0                          | 0.0 |
| TOTAL  |                | 2489.12        | 2489.11        | 2489.12        |          | 2489.12          |            |             |            |                              |     |

Fuente: Autoría propia 2020

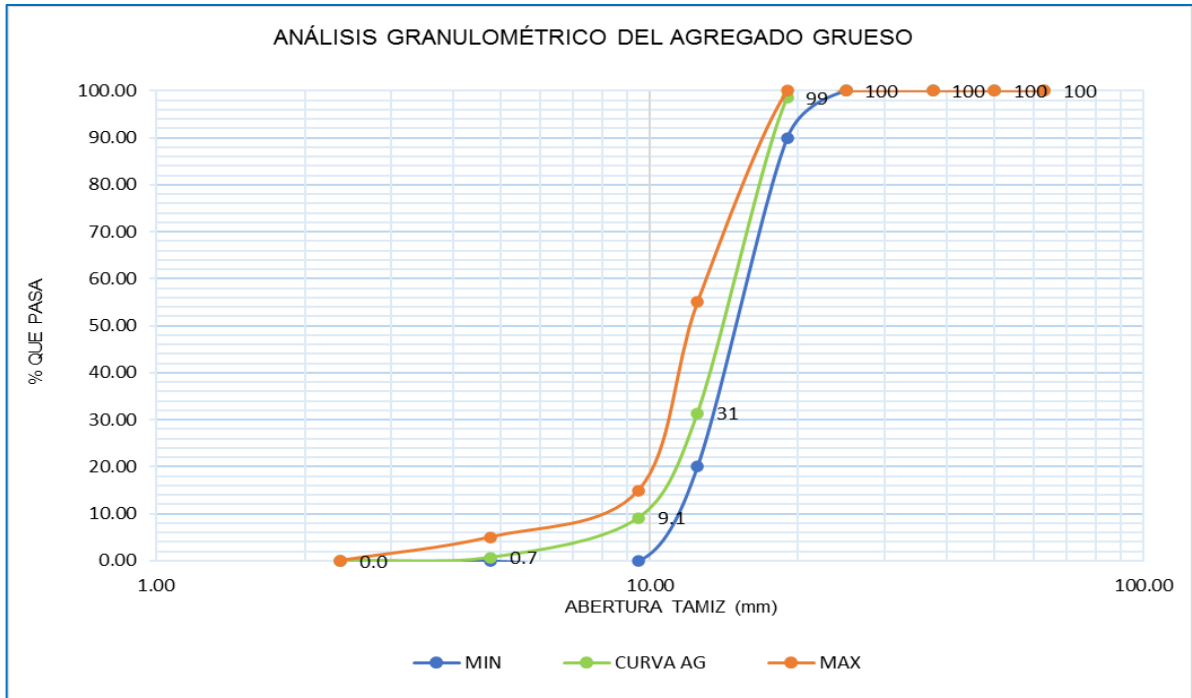


Figura 4 Piedra chancada - curva granulométrica promedio  
 Fuente: Autoría propia 2020

### Granulometría - Arena gruesa

#### Descripción

Según el análisis realizado la arena gruesa las partículas gruesas se encuentran fuera de los límites normados tiene un módulo de fineza de 3.1, se verificó que tiene un buen comportamiento en la mezcla.

Cuadro 26  
*Análisis granulométrico de la arena gruesa*

| TAMIZ    | ABERTURA<br>Mm | MUESTRA<br>N°1 | MUESTRA<br>N°2 | MUESTRA<br>N°3 | PROMEDIO PESO<br>RETENIDO | %     | %      | %     | LIMITES TOTALES |           | C        |          | M        |          | F        |          |
|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------|-------|--------|-------|-----------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|          |                |                |                |                |                           |       |        |       | %<br>ACUMULADO  | %<br>PASA | %<br>MIN | %<br>MAX | %<br>MIN | %<br>MAX | %<br>MIN | %<br>MAX |
| 3/8"     | 9.50           | 25.00          | 26.00          | 24.81          | 25.27                     | 2.12  | 2.12   | 97.88 | 100             | 100       | 100      | 100      | 100      | 100      | 100      | 100      |
| Nro. 4   | 4.75           | 150.00         | 151.00         | 151.64         | 150.88                    | 12.66 | 14.78  | 85.22 | 89              | 100       | 95       | 100      | 89       | 100      | 89       | 100      |
| Nro. 8   | 2.36           | 147.00         | 145.20         | 145.44         | 145.88                    | 12.24 | 27.01  | 72.99 | 65              | 100       | 80       | 100      | 65       | 100      | 80       | 100      |
| Nro. 16  | 1.18           | 114.30         | 114.00         | 114.51         | 114.27                    | 9.58  | 36.60  | 63.40 | 45              | 100       | 50       | 85       | 45       | 100      | 70       | 100      |
| Nro. 30  | 0.590          | 157.03         | 156.82         | 157.24         | 157.03                    | 13.17 | 49.77  | 50.23 | 25              | 100       | 25       | 60       | 25       | 80       | 55       | 100      |
| Nro. 50  | 0.295          | 401.87         | 400.20         | 400.54         | 400.87                    | 33.62 | 83.39  | 16.61 | 5               | 70        | 10       | 30       | 5        | 48       | 5        | 70       |
| Nro. 100 | 0.148          | 171.00         | 172.95         | 172.05         | 172.00                    | 14.43 | 97.82  | 2.18  | 0               | 12        | 2        | 10       | 0        | 12       | 0        | 12       |
| FONDO    | 0.07375        | 25.98          | 26.00          | 25.96          | 25.98                     | 2.18  | 100.00 | 0.00  | 0               | 0         | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| TOTAL    |                | 1192.18        | 1192.17        | 1192.19        | 1192.18                   |       |        |       |                 |           |          |          |          |          |          |          |

Fuente: Autoría propia 2020

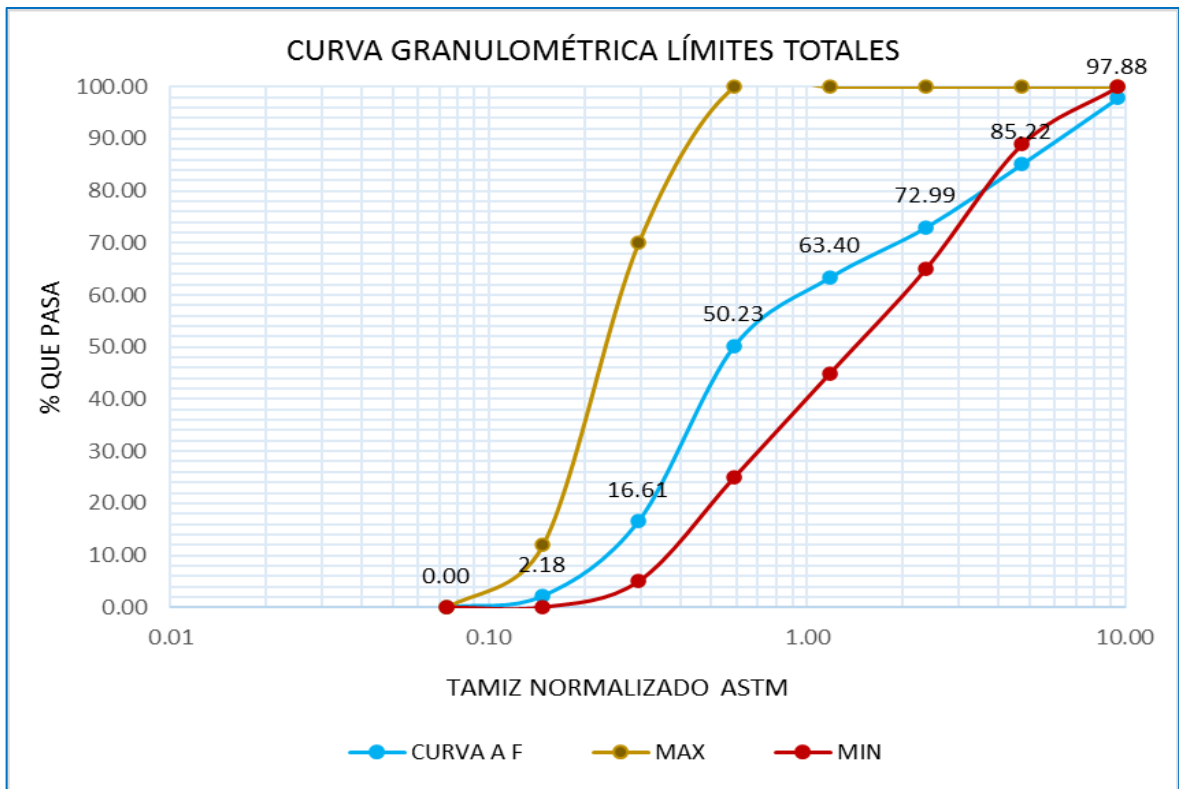


Figura 5 Arena gruesa - curva granulométrica limites totales

Fuente: Autoría propia 2020

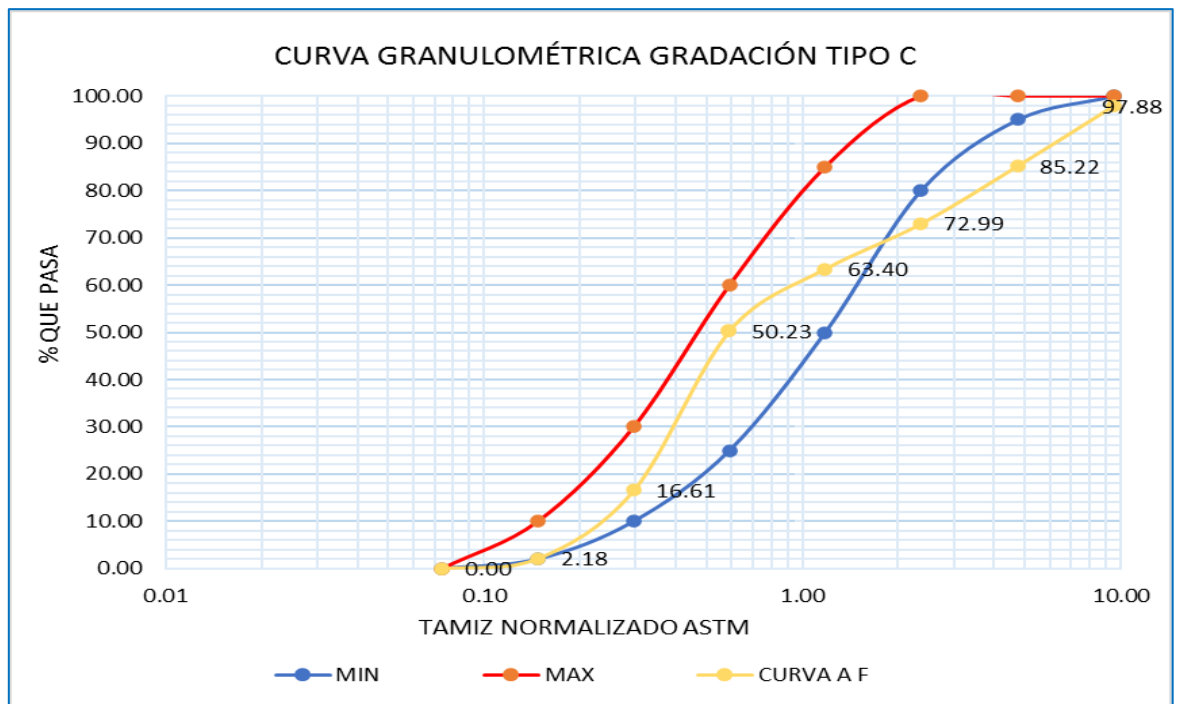


Figura 6 Arena gruesa - curva granulométrica gradación tipo C

Fuente: Autoría propia 2020

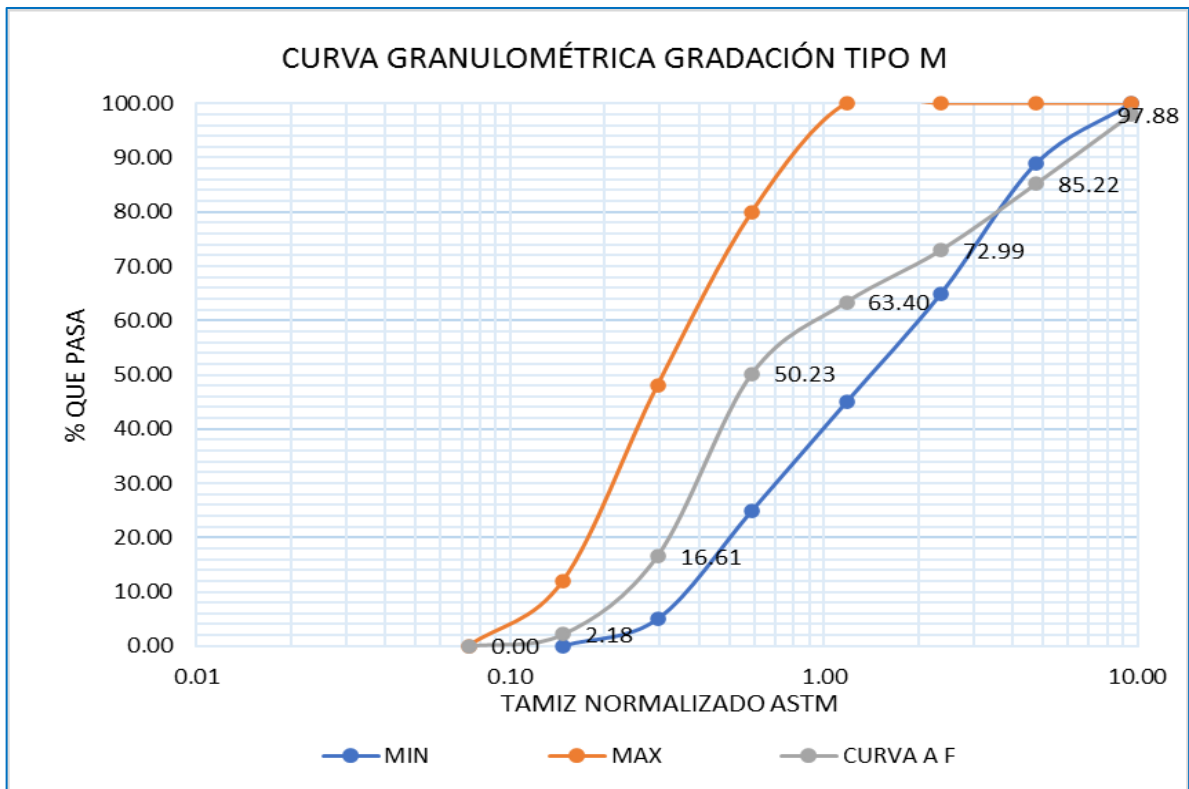


Figura 7 Arena gruesa - curva granulométrica gradación tipo M

Fuente: Autoría propia 2020

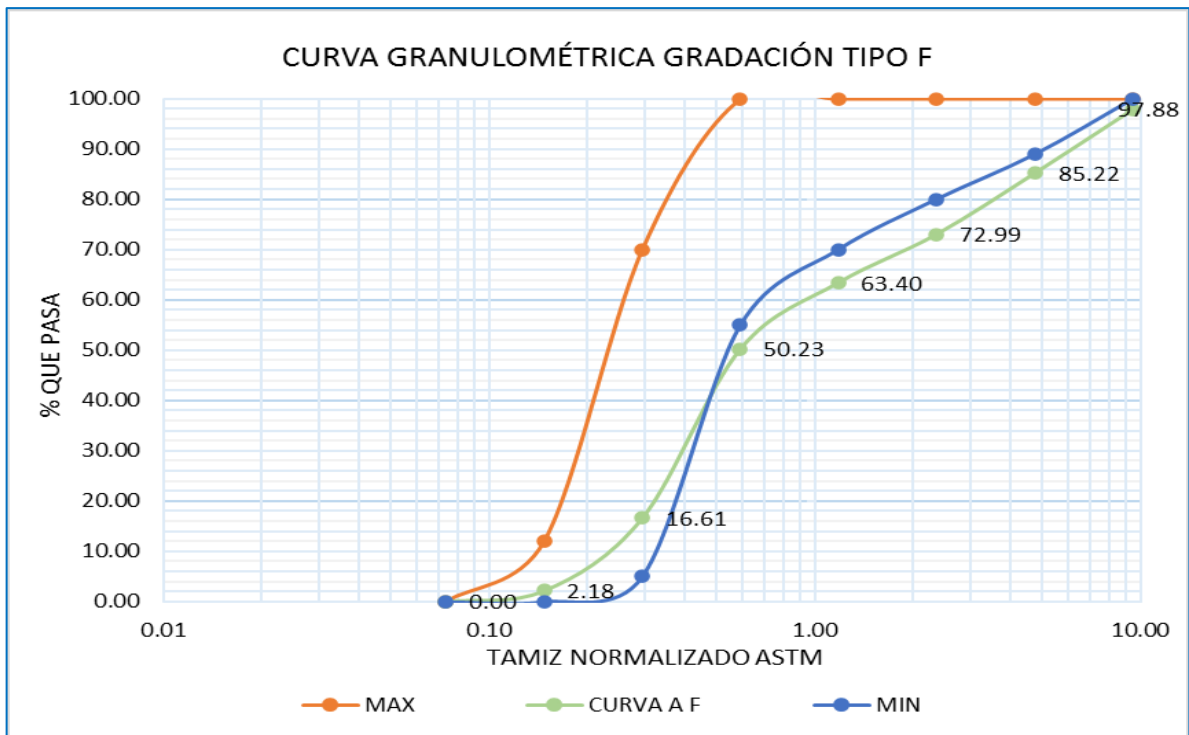


Figura 8 Arena gruesa - curva granulométrica gradación tipo F

Fuente: Autoría propia 2020

**(NTP 339.185) / (MTC) E 215 Contenido de humedad.**

*Piedra chancada*

Descripción

El ensayo del contenido de humedad se realizó para evaluar la cantidad de agua que posee la piedra chancada procedente de la cantera Matahuasi, con la finalidad de realizar el cálculo de la cantidad de agua que se tuvo que dosificar para realizar el diseño de mezcla.

Cuadro 27

*Piedra chancada - humedad*

| CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO |   |    |         |         |         |
|--------------------------------------|---|----|---------|---------|---------|
| CANTERA                              |   |    | M1      | M2      | M3      |
| N°                                   |   |    | T-0     | T-9     | T-21    |
| 1                                    | Peso de la tara                         | gr | 112.85  | 112.08  | 109.79  |
| 2                                    | Peso de la tara + Muestra humedad       | gr | 1112.95 | 1110.89 | 1109.85 |
| 3                                    | Peso de la tara + Muestra seca          | gr | 1111.10 | 1109.10 | 1107.81 |
| 4                                    | Peso del agua contenida (2-3)           | gr | 1.85    | 1.79    | 2.04    |
| 5                                    | Peso de la muestra seca (3-1)           | gr | 998.25  | 997.02  | 998.02  |
| 6                                    | Contenido de humedad (4/5) *100         | %  | 0.19    | 0.18    | 0.20    |
| 7                                    | Promedio del contenido de humedad (4/5) | %  |         | 0.19    |         |

Fuente: Autoría propia 2020

*Arena gruesa*

El ensayo del contenido de humedad se realizó para evaluar la cantidad de agua que posee la arena gruesa procedente de la cantera Pilcomayo, con la finalidad de

realizar el cálculo de la cantidad de agua que se tuvo que dosificar para la realización del diseño de mezcla.

Cuadro 28  
*Arena gruesa - humedad*

|         |   | CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO FINO |         |         |         |
|---------|---|------------------------------------|---------|---------|---------|
| CANTERA | PILCOMAYO                               |                                    | M1      | M2      | M3      |
| N°      |   |                                    | T-9     | T-12    | T-3     |
| 1       | Peso de la tara                         | gr                                 | 112.08  | 109.97  | 107.06  |
| 2       | Peso de la tara + Muestra humedad       | gr                                 | 1114.76 | 1116.87 | 1119.78 |
| 3       | Peso de la tara + Muestra seca          | gr                                 | 1103.18 | 1105.29 | 1108.10 |
| 4       | Peso del agua contenida (2-3)           | gr                                 | 11.58   | 11.58   | 11.68   |
| 5       | Peso de la muestra seca (3-1)           | gr                                 | 991.10  | 995.32  | 1001.04 |
| 6       | Contenido de humedad (4/5) *100         | %                                  | 1.17    | 1.16    | 1.17    |
| 7       | Promedio del contenido de humedad (4/5) | %                                  |         | 1.17    |         |

Fuente: Autoría propia 2020

**(NTP 400.017)/ (MTC) E 203 - *Peso Unitario.***

Descripción

Se realizó los ensayos del peso unitario de los agregados para conocer las características de la piedra chancada y la arena gruesa.

*Piedra chancada – P.U.S.*

Cuadro 29  
*P.U.S. Piedra chancada*

| PESO UNITARIO SUELTO AGREGADO GRUESO |                                 |       | M1      | M2      | M3      |
|--------------------------------------|---------------------------------|-------|---------|---------|---------|
| 1                                    | Peso de la muestra + Recipiente | gr    | 14010   | 14030   | 14020   |
| 2                                    | Peso del recipiente             | gr    | 6390    | 6390    | 6390    |
| 3                                    | Peso de la muestra (1-2)        | gr    | 7620    | 7640    | 7630    |
| 4                                    | Volumen del recipiente          | m3    | 0.0056  | 0.0056  | 0.0056  |
| 5                                    | P.U.S (3/4) /1000               | kg/m3 | 1360.71 | 1364.29 | 1362.50 |
| 6                                    | Promedio P.U.S Seco             | kg/m3 |         | 1362.50 |         |

Fuente: Autoría propia 2020

*Arena gruesa – P.U.S.*

Cuadro 30  
*P.U.S. Arena gruesa*

| PESO UNITARIO SUELTO AGREGADO FINO |                                 |       | M1      | M2      | M3      |
|------------------------------------|---------------------------------|-------|---------|---------|---------|
| 1                                  | Peso de la muestra + Recipiente | gr    | 15240   | 15230   | 15240   |
| 2                                  | Peso del recipiente             | gr    | 6390    | 6390    | 6390    |
| 3                                  | Peso de la muestra (1-2)        | gr    | 8850    | 8840    | 8850    |
| 4                                  | Volumen del recipiente          | m3    | 0.0056  | 0.0056  | 0.0056  |
| 5                                  | P.U.S (3/4) /1000               | kg/m3 | 1580.36 | 1578.57 | 1580.36 |
| 6                                  | Promedio P.U.S Seco             | kg/m3 |         | 1579.76 |         |

Fuente: Autoría propia 2020

*Piedra chancada – P.U.C.*



Cuadro 31  
*P.U.C. Piedra chancada*

| PESO UNITARIO COMPACTADO AGREGADO GRUESO |                                 |       | M1      | M2      | M3      |
|--|---------------------------------|-------|---------|---------|---------|
| 1  | Peso de la muestra + Recipiente | gr    | 15060   | 15050   | 15050   |
| 2  | Peso del recipiente             | gr    | 6390    | 6390    | 6390    |
| 3  | Peso de la muestra (1-2)        | gr    | 8670    | 8660    | 8660    |
| 4  | Volumen del recipiente          | m3    | 0.0056  | 0.0056  | 0.0056  |
| 5  | P.U.C                           | kg/m3 | 1548.21 | 1546.43 | 1546.43 |
| 6  | Promedio P.U.C Compactado       | kg/m3 |         | 1547.02 |         |

Fuente: Autoría propia 2020

*Arena gruesa P.U.C.*

Cuadro 32  
*P.U.C. Arena gruesa*

| PESO UNITARIO COMPACTADO AGREGADO FINO |                                 |       | M1      | M2      | M3      |
|--|---------------------------------|-------|---------|---------|---------|
| 1                                      | Peso de la muestra + Recipiente | Gr    | 16290   | 16290   | 16300   |
| 2                                      | Peso del recipiente             | Gr    | 6390    | 6390    | 6390    |
| 3                                      | Peso de la muestra (1-2)        | Gr    | 9900    | 9900    | 9910    |
| 4                                      | Volumen del recipiente          | m3    | 0.0056  | 0.0056  | 0.0056  |
| 5                                      | P.U.C                           | kg/m3 | 1767.86 | 1767.86 | 1769.64 |
| 6                                      | Promedio P.U.C Compactado       | kg/m3 |         | 1768.45 |         |

Fuente: Autoría propia 2020

### **Absorción y peso específico de los agregados**

**(NTP 400.021) / (MTC) E 206 *Absorción y peso específico de la piedra chancada.***

Cuadro 33  
*Piedra chancada - absorción y peso específico*

| PESO ESPECIFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO |   |        |         |      |         |       |
|---|---|--------|---------|------|---------|-------|
| DATOS   |   |        | M1      | M2   | M3      |       |
| 1   | Peso de la muestra saturada con superficie seca (A)     | gr     | 3000.1  | 3000 | 2999.68 |       |
| 2   | Peso de la canastilla dentro del agua (C)               | gr     | 860     | 860  | 860     |       |
| 3   | Peso de la muestra saturada + Peso de la canastilla (B) | gr     | 2730.20 | 2731 | 2729    |       |
| 4   | Peso de la muestra saturada sumergida ((E)= (B-C))      | gr     | 1870.20 | 1871 | 1869    |       |
| 5   | Volumen de la muestra ((F) = (A-E))                     | cm3    | 1129.90 | 1129 | 1130.68 |       |
| 6   | Peso de la tara   | gr     | 207     | 207  | 207     |       |
| 7   | Peso de la tara + Muestra seca                          | gr     | 3177    | 3177 | 3177    |       |
| 8   | Peso de la muestra seca (D)                             | gr     | 2970    | 2970 | 2970    |       |
| RESULTADOS  |   |        | M1      | M2   | M3      | Prom. |
| 9   | Gravedad especifica seca ((D/ (A-E))                    | gr/cm3 | 2.63    | 2.63 | 2.63    | 2.63  |
| 10  | Gravedad especifica saturada (S.S.S) ((A/ (A-E))        | gr/cm3 | 2.66    | 2.66 | 2.65    | 2.66  |
| 11  | Peso específico aparente ((D/(D-E))                     | gr/cm3 | 2.70    | 2.70 | 2.70    | 2.70  |
| 12  | Porcentaje de absorción ((A-D) /D) *100                 | %      | 1.01    | 1.01 | 1.00    | 1.01  |

Fuente: Autoría propia 2020

**(NTP 400.022)/ (MTC) E 205 Absorción y peso específico de la arena gruesa.**

Cuadro 34

*Arena gruesa - absorción y peso específico*

| PESO ESPECIFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCION DEL AGREGADO FINO |   |        |        |        |        |       |
|---|---|--------|--------|--------|--------|-------|
| DATOS   |   |        | M1     | M2     | M3     |       |
| A   | Peso de la muestra saturada con superficie seca | gr     | 500    | 500    | 500    |       |
| B   | Peso del frasco + agua                          | gr     | 478.23 | 478.18 | 477.68 |       |
| C   | Peso del frasco + agua + muestra                | gr     | 978.23 | 978.18 | 977.68 |       |
| D   | Peso de la muestra + agua en el frasco          | gr     | 806    | 806    | 806    |       |
| E   | Volumen de masa + volumen de vacíos             | gr     | 172.23 | 172.18 | 171.68 |       |
| F   | Peso de la muestra seca en horno                | gr     | 493.72 | 493.80 | 493.7  |       |
| G   | Volumen de masa                                 | gr     | 165.95 | 165.98 | 165.38 |       |
| RESULTADOS  |   |        | M1     | M2     | M3     | Prom. |
|   | Gravedad especifica seca (F/E)                  | gr/cm3 | 2.87   | 2.87   | 2.88   | 2.87  |
|   | Gravedad especifica saturada (A/E)              | gr/cm3 | 2.90   | 2.90   | 2.91   | 2.91  |
|   | Peso específico aparente (F/G)                  | gr/cm3 | 2.98   | 2.98   | 2.99   | 2.98  |
|   | Porcentaje de absorción $((A-F) / F) * 100$     | %      | 1.27   | 1.26   | 1.28   | 1.27  |

Fuente: Autoría propia 2020

## 5.1.2 Discusión de resultados

### **Asentamiento**

Según los resultados obtenidos se observa que con la incorporación de  $\text{SiO}_2$  tiende a disminuir de manera no significativa, manteniéndose el asentamiento de forma lineal en 4.1" respecto al concreto patrón que llega a 4" de asentamiento, por lo tanto, se puede deducir que la incorporación de  $\text{SiO}_2$  no tiene influencia significativa respecto al asentamiento en las mezclas preparadas con las diferentes dosis.

### **Peso unitario**

Según los resultados obtenidos se observa que el peso unitario del concreto no varía significativamente debido a la incorporación de  $\text{SiO}_2$  incrementándose levemente el peso unitario del concreto comparado con el concreto patrón

### **Resistencia a compresión**

Se pudo observar que al incorporar  $\text{SiO}_2$  al concreto en diferentes dosis las resistencias se incrementan hasta en un 15.54 % a 28 días y 30.05 % a los 90 días cuando se incorpora 2 % de  $\text{SiO}_2$ .

Se realizó el cálculo para determinar la cantidad optima de  $\text{SiO}_2$  con el cual se lograría una resistencia de 478 kg/cm<sup>2</sup> y una dosis de 1.85 % respecto al peso del cemento en el diseño de mezcla.

Por lo tanto, la incorporación de  $\text{SiO}_2$  influye significativamente en aumentar la resistencia del concreto, debido a que todos los grupos presentan varianzas iguales.

## 5.2 Pruebas de hipótesis

Para la validación de las hipótesis emplearemos el programa SPSS V25 para poder determinar la relación que existe entre la incorporación de dióxido de silicio proveniente de la cola de caballo (variable independiente) frente a la resistencia a la compresión (variable dependiente).

### 5.2.1 Determinación de la prueba de normalidad

Se eligió la prueba de Shapiro Wilk para ver la normalidad a fin de elegir una prueba estadística adecuada, se evaluó si las poblaciones tienen una distribución normal, debido a que el número de muestras es  $< 50$  datos.

$H_0$ : las poblaciones tienen una distribución normal.

$H_a$ : las poblaciones no tienen una población normal

Cuadro 35

*Pruebas de normalidad para las poblaciones de resistencia del concreto*

| Grupos      | Pruebas de normalidad     |                    |      |       |
|-------------|---------------------------|--------------------|------|-------|
|             | Estadístico               | Shapiro-Wilk<br>gl | Sig. |       |
| Resistencia | Concreto patrón           | 0.970              | 5    | 0.876 |
|             | CE1 0.5% SiO <sub>2</sub> | 0.913              | 5    | 0.489 |
|             | CE2 1.0% SiO <sub>2</sub> | 0.907              | 5    | 0.447 |
|             | CE3 1.5% SiO <sub>2</sub> | 0.853              | 5    | 0.203 |
|             | CE4 2.0% SiO <sub>2</sub> | 0.865              | 5    | 0.246 |
|             | CE5 5.0% SiO <sub>2</sub> | 0.972              | 5    | 0.886 |

**Fuente:** Autoría propia 2020

Si  $p < 0.05$  Rechazamos la  $H_0$  y aceptamos la  $H_a$

Si  $p > 0.05$  Aceptamos la  $H_0$  y rechazamos la  $H_a$

Según los datos obtenidos el valor p es mayor ( $p > 0.05$ ) en todos los grupos evaluados, aceptamos la  $H_0$  y rechazamos la  $H_a$ , se concluye que las poblaciones o grupos de investigación presentan distribución normal

### 5.2.2 Pruebas de homogeneidad de varianzas de los grupos

Para determinar si las varianzas de los grupos provienen de la misma población o presentan varianzas iguales, se realizó la prueba de Levene:

$H_0$ : Todas las varianzas son iguales

$H_1$ = Es diferente al menos una varianza

Los 6 grupos evaluados fueron contrastados

Cuadro 36

*Prueba de homogeneidad de varianzas - poblaciones de resistencia del concreto*

| Prueba de homogeneidad de varianzas |                       |     |     |       |
|-------------------------------------|-----------------------|-----|-----|-------|
|                                     | Estadístico de Levene | gl1 | gl2 | Sig.  |
| Resistencia                         | 1,141                 | 4   | 25  | 0.360 |

Fuente: Autoría propia 2020

Si  $p < 0.05$  Rechazamos la  $H_0$  y aceptamos la  $H_a$

Si  $p > 0.05$  Aceptamos la  $H_0$  y rechazamos la  $H_a$

Según los datos obtenidos el valor  $p = 0.360$ , aceptamos la  $H_0$  y rechazamos la  $H_a$ , se determina que las varianzas de los grupos son iguales.

### 5.2.3 Prueba de hipótesis

Una vez analizado que las poblaciones o grupos de investigación siguen una distribución normal y poseen varianzas iguales se empleara estadística paramétrica y se empleó la prueba de análisis de varianzas (Anova) debido a la evaluación de 6 grupos de estudio.

Para contrastar la hipótesis general “La incorporación de dióxido de silicio proveniente de la cola de caballo influye significativamente en aumentar la resistencia a compresión del concreto endurecido” se empleó la prueba de Anova ya que las poblaciones siguen una distribución normal, las varianzas de los grupos son iguales además los datos son cuantitativos

H<sub>0</sub>: La incorporación de dióxido de silicio proveniente de la cola de caballo no influye significativamente en aumentar la resistencia a compresión del concreto endurecido.

H<sub>1</sub>: La incorporación de dióxido de silicio proveniente de la cola de caballo influye significativamente en aumentar la resistencia a compresión del concreto endurecido.

Se empleó el programa SPSS V25 para analizar los datos obteniendo los siguientes resultados

Cuadro 37  
*Resultados prueba de Anova para las resistencias de acuerdo con la edad en días*

| ANOVA            |                   |    |                  |        |      |
|------------------|-------------------|----|------------------|--------|------|
| Resistencia      |                   |    |                  |        |      |
|                  | Suma de cuadrados | Gl | Media cuadrática | F      | Sig. |
| Entre grupos     | 178271.533        | 4  | 44567.883        | 52.438 | 0    |
| Dentro de grupos | 21247.833         | 25 | 849.913          |        |      |
| Total            | 199519.367        | 29 |                  |        |      |

Fuente: Autoría propia 2020

Se llega a concluir que, rechazamos la H<sub>0</sub> debido a que el valor  $p = 0.00 < \alpha = 0.05$  y aceptamos la H<sub>a</sub>, se prueba que la incorporación de dióxido de

silicio proveniente de la cola de caballo influye significativamente en aumentar la resistencia a compresión del concreto endurecido.

La contrastación de la hipótesis específica planteada como, “El porcentaje de incorporación de dióxido de silicio proveniente de la cola de caballo influye en aumentar la resistencia a compresión del concreto endurecido” se trabajó con la prueba T de muestras emparejadas; esto porque las varianzas de los grupos son iguales, siguen una distribución normal y los datos son cuantitativos

H<sub>0</sub>: El porcentaje de incorporación de dióxido de silicio proveniente de la cola de caballo, no influye en aumentar la resistencia a compresión del concreto endurecido

H<sub>1</sub>: El porcentaje de incorporación de dióxido de silicio proveniente de la cola de caballo, influye en aumentar la resistencia a compresión del concreto endurecido

Se empleó el programa SPSS V25 para analizar los datos obteniendo los siguientes resultados

*Cuadro 38*  
*Resultados de prueba de Anova de medidas repetidas - diferencias emparejadas de poblaciones entre Resistencia versus Porcentaje de adición de SiO<sub>2</sub>*

|  | Diferencias emparejadas |                     |                         |   |          |        | T  | gl    | Sig.<br>(bilateral) |
|--|-------------------------|---------------------|-------------------------|---|----------|--------|----|-------|---------------------|
|  | Media                   | Desv.<br>Desviación | Desv. Error<br>promedio | 95% de intervalo de<br>confianza de la diferencia |          |        |    |       |                     |
|  |                         |                     |                         | Inferior  | Superior |        |    |       |                     |
| Resistencia<br>% Adición<br>SiO <sub>2</sub> | 288.733                 | 82,579              | 15.077                  | 257.898   | 319.569  | 19.151 | 29 | 0.000 |                     |

Fuente: Autoría propia 2020



Se llega a concluir que, la hipótesis nula queda rechazada porque el valor  $p = 0.00 < \alpha = 0.05$ , se prueba que el porcentaje de incorporación de dióxido de silicio proveniente de la cola de caballo influye en aumentar la resistencia a compresión del concreto endurecido.

También se pudo determinar si “El tiempo de curado influye significativamente en incrementar la resistencia a compresión del concreto incorporado con dióxido de silicio proveniente de la cola de caballo”

H<sub>0</sub>: El tiempo de curado no influye significativamente en incrementar la resistencia a compresión del concreto incorporado con dióxido de silicio proveniente de la cola de caballo.

H<sub>1</sub>: El tiempo de curado influye significativamente en incrementar la resistencia a compresión del concreto incorporado con dióxido de silicio proveniente de la cola de caballo.

Se empleó el programa SPSS V25 para analizar los datos obteniendo los siguientes resultados

Cuadro 39

*Resultados de prueba de Anova de medidas repetidas - diferencias emparejadas de poblaciones entre Resistencia versus Edad (días)*

|                         | Diferencias emparejadas |                  |                      |  |          |        |    |                  |
|-------------------------|-------------------------|------------------|----------------------|--|----------|--------|----|------------------|
|                         | Media                   | Desv. Desviación | Desv. Error promedio | 95% de intervalo de confianza de la diferencia |          | T      | gl | Sig. (bilateral) |
|                         |                         |                  |                      | Inferior                                       | Superior |        |    |                  |
| Resistencia Edad (días) | 260.233                 | 56.197           | 10.26                | 239.249  | 281.218  | 25.364 | 29 | 0.000            |

Fuente: Autoría propia 2020

Se llega a concluir que, se rechaza la  $H_0$  debido a que el valor  $p = 0.00 < \alpha = 0.05$  por lo tanto se prueba que el tiempo de curado influye significativamente en incrementar la resistencia a compresión del concreto incorporado con dióxido de silicio proveniente de la cola de caballo

### 5.3 Presentación de los resultados

#### 5.3.1 Resultado análisis granulométrico - piedra chancada y arena gruesa.

En los cuadros 40 y 41, se muestran los resultados de las propiedades de la piedra chancada de la cantera Matahuasi y arena gruesa de la cantera Pilcomayo.

Cuadro 40

*Propiedades de la piedra chancada - cantera Matahuasi*

| <b>Ensayo realizado</b>   | <b>Valores obtenidos</b>  |
|---------------------------|---------------------------|
| Peso unitario suelto      | 1362.50 kg/m <sup>3</sup> |
| Peso unitario compactado  | 1547.02 kg/m <sup>3</sup> |
| Peso específico           | 2.63 kg/cm <sup>3</sup>   |
| Humedad                   | 0.19 %                    |
| % absorción               | 1.01 %                    |
| Tamaño máximo nominal TMN | 3/4 "                     |

Fuente: Autoría propia 2020

Cuadro 41  
*Propiedades de la arena gruesa - cantera Pilcomayo*

| <b>Ensayo realizado</b>  | <b>Valores obtenidos</b>  |
|--------------------------|---------------------------|
| Peso unitario suelto     | 1579.76 kg/m <sup>3</sup> |
| Peso unitario compactado | 1768.45 kg/m <sup>3</sup> |
| Peso específico          | 2.87 kg/cm <sup>3</sup>   |
| Humedad                  | 1.17 %                    |
| % absorción              | 1.27 %                    |
| Módulo de fineza MF      | 3.1                       |

Fuente: Autoría propia 2020

### 5.3.2 Diseños de mezclas

Cuadro 42  
*Concreto patrón (CP)*

| <b>Descripción</b>      | <b>Unidad</b>     | <b>Valor</b> |
|-------------------------|-------------------|--------------|
| Cemento Portland Tipo I | kg/m <sup>3</sup> | 366.07       |
| Agregado fino           | kg/m <sup>3</sup> | 888.49       |
| Agregado grueso         | kg/m <sup>3</sup> | 929.97       |
| Agua                    | lt/m <sup>3</sup> | 213.5        |

Fuente: Autoría propia 2020

Cuadro 43

*Concreto experimental 1 – (CE 1 - Adición 0.5 % de SiO<sub>2</sub>)*

| <b>Descripción</b>      | <b>Unidad</b>     | <b>Valor</b> |
|-------------------------|-------------------|--------------|
| Cemento Portland Tipo I | kg/m <sup>3</sup> | 364.24       |
| Agregado fino           | kg/m <sup>3</sup> | 888.49       |
| Agregado grueso         | kg/m <sup>3</sup> | 929.97       |
| Agua                    | lt/m <sup>3</sup> | 213.5        |
| Aditivo 0.5 %           | kg/m <sup>3</sup> | 1.83         |

Fuente: Autoría propia 2020

Cuadro 44

*Concreto experimental 2 – (CE 2 - Adición 1.0 % de SiO<sub>2</sub>)*

| <b>Descripción</b>      | <b>Unidad</b>     | <b>Valor</b> |
|-------------------------|-------------------|--------------|
| Cemento Portland Tipo I | kg/m <sup>3</sup> | 362.41       |
| Agregado fino           | kg/m <sup>3</sup> | 888.49       |
| Agregado grueso         | kg/m <sup>3</sup> | 929.97       |
| Agua                    | lt/m <sup>3</sup> | 213.5        |
| Aditivo 1.0 %           | kg/m <sup>3</sup> | 3.66         |

Fuente: Autoría propia 2020

Cuadro 45

*Concreto experimental 3 – (CE 3 - Adición 1.5 % de SiO<sub>2</sub>)*

| <b>Descripción</b>      | <b>Unidad</b>     | <b>Valor</b> |
|-------------------------|-------------------|--------------|
| Cemento Portland Tipo I | kg/m <sup>3</sup> | 360.58       |
| Agregado fino           | kg/m <sup>3</sup> | 888.49       |
| Agregado grueso         | kg/m <sup>3</sup> | 929.97       |
| Agua                    | lt/m <sup>3</sup> | 213.5        |
| Aditivo 1.5 %           | kg/m <sup>3</sup> | 5.49         |

Fuente: Autoría propia 2020

Cuadro 46

*Concreto experimental 4 – (CE 4 - Adición 2.0 % de SiO<sub>2</sub>)*

| Descripción             | Unidad            | Valor  |
|-------------------------|-------------------|--------|
| Cemento Portland Tipo I | kg/m <sup>3</sup> | 358.75 |
| Agregado fino           | kg/m <sup>3</sup> | 888.49 |
| Agregado grueso         | kg/m <sup>3</sup> | 929.97 |
| Agua                    | lt/m <sup>3</sup> | 213.5  |
| Aditivo 2.0 %           | kg/m <sup>3</sup> | 7.32   |

Fuente: Autoría propia 2020

Cuadro 47

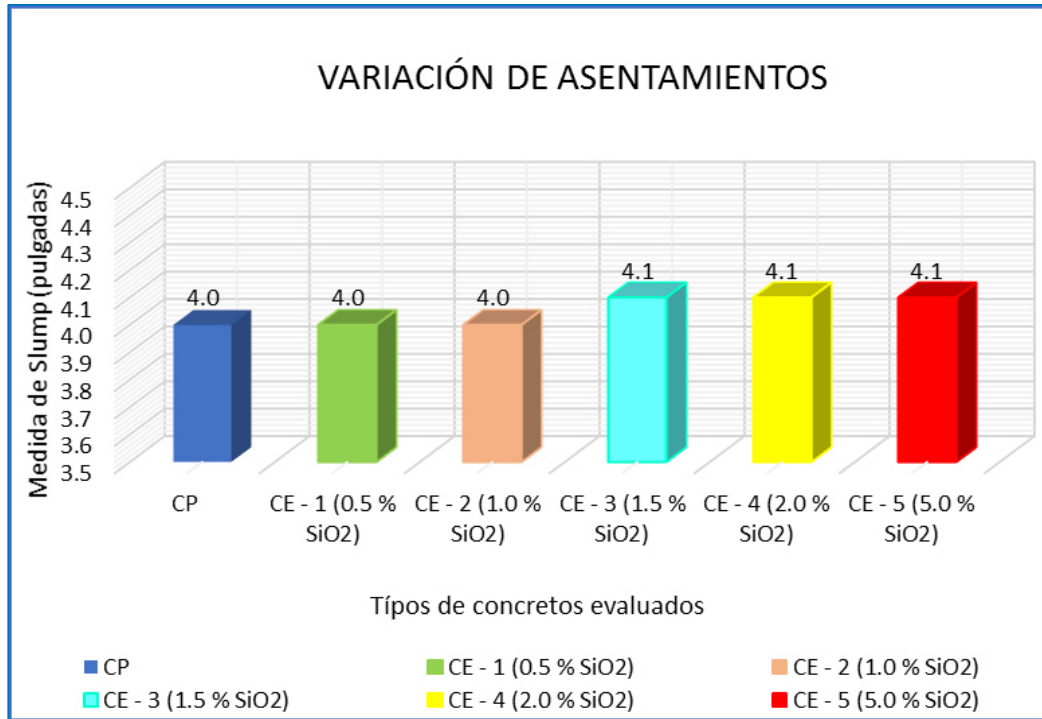
*Concreto experimental 5 – (CE 5 - Adición 5.0 % de SiO<sub>2</sub>)*

| Descripción             | Unidad            | Valor  |
|-------------------------|-------------------|--------|
| Cemento Portland Tipo I | kg/m <sup>3</sup> | 347.77 |
| Agregado fino           | kg/m <sup>3</sup> | 888.49 |
| Agregado grueso         | kg/m <sup>3</sup> | 929.97 |
| Agua                    | lt/m <sup>3</sup> | 213.5  |
| Aditivo 5.0 %           | kg/m <sup>3</sup> | 18.30  |

Fuente: Autoría propia 2020

### 5.3.3 Asentamiento

En la figura 9 se muestra la variación en los asentamientos en los diferentes grupos de concretos evaluados según porcentajes de incorporación de SiO<sub>2</sub> se observa que no existe una variación significativa.



*Figura 9* Variación de asentamientos en todos los grupos  
 Fuente: Autoría propia 2020

### 5.3.4 Resultados de ensayos a compresión.

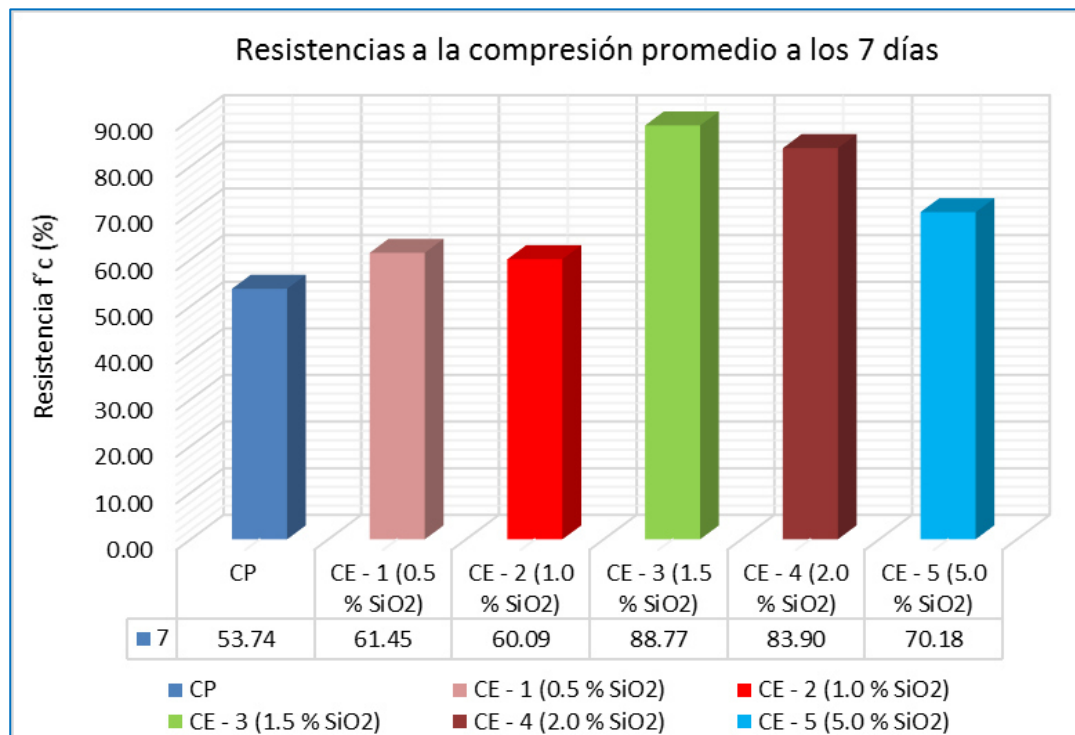
En el cuadro 48 se muestra el comportamiento de los porcentajes de incorporación de SiO<sub>2</sub> reflejados en los valores después de la rotura de las probetas a las diferentes edades de acuerdo con la NTP 339.034 - MTC E704 – ASTM C39. como a los 7, 14, 21, 28 y 90 días respectivamente.

Cuadro 48

*Resumen de resistencias y % alcanzados a diferentes edades*

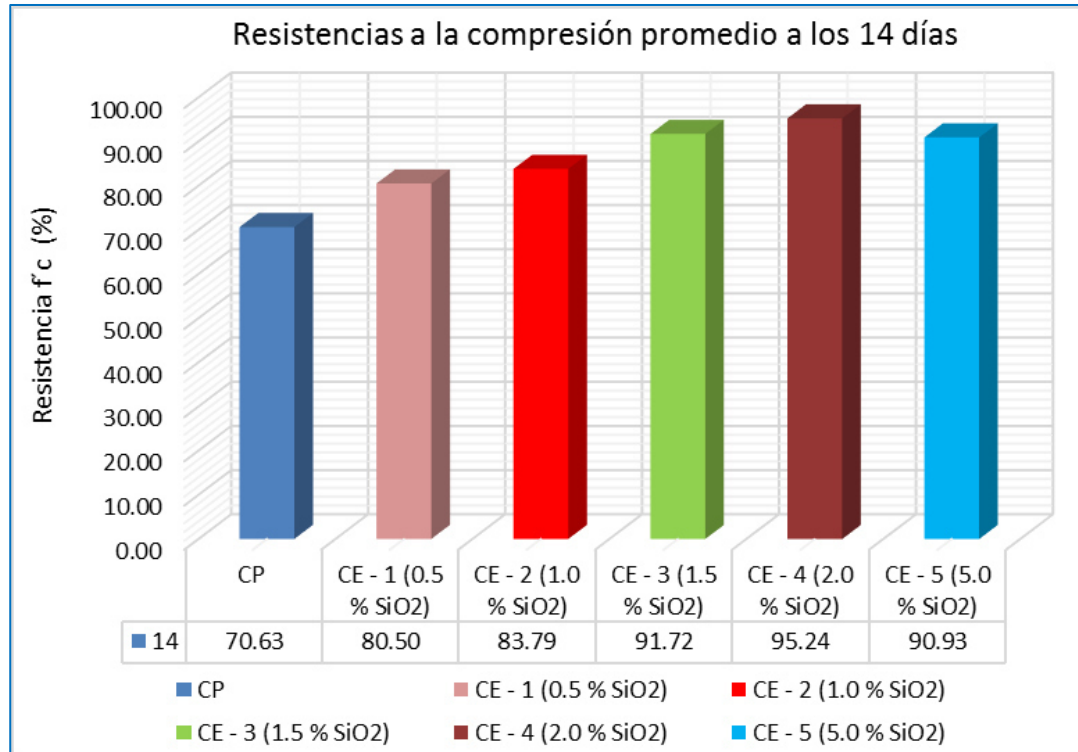
| DESCRIPCIÓN                      | 7 días |       | 14 días |       | 21 días |        | 28 días |        | 90 días |        |
|----------------------------------|--------|-------|---------|-------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
|                                  | f'c    | %     | f'c     | %     | f'c     | %      | f'c     | %      | f'c     | %      |
| CP                               | 158    | 53.74 | 208     | 70.63 | 252     | 85.60  | 281     | 95.46  | 388     | 131.97 |
| CE - 1 (0.5 % SiO <sub>2</sub> ) | 181    | 61.45 | 237     | 80.50 | 259     | 88.10  | 283     | 96.37  | 420     | 142.97 |
| CE - 2 (1.0 % SiO <sub>2</sub> ) | 177    | 60.09 | 246     | 83.79 | 264     | 89.80  | 287     | 97.51  | 440     | 149.55 |
| CE - 3 (1.5 % SiO <sub>2</sub> ) | 233    | 88.77 | 270     | 91.72 | 283     | 96.26  | 320     | 108.84 | 468     | 159.18 |
| CE - 4 (2.0 % SiO <sub>2</sub> ) | 247    | 83.90 | 280     | 95.24 | 319     | 108.50 | 326     | 111.00 | 476     | 162.02 |
| CE - 5 (5.0 % SiO <sub>2</sub> ) | 206    | 70.18 | 267     | 90.93 | 288     | 98.07  | 308     | 104.88 | 395     | 134.24 |

Fuente: Autoría propia 2020

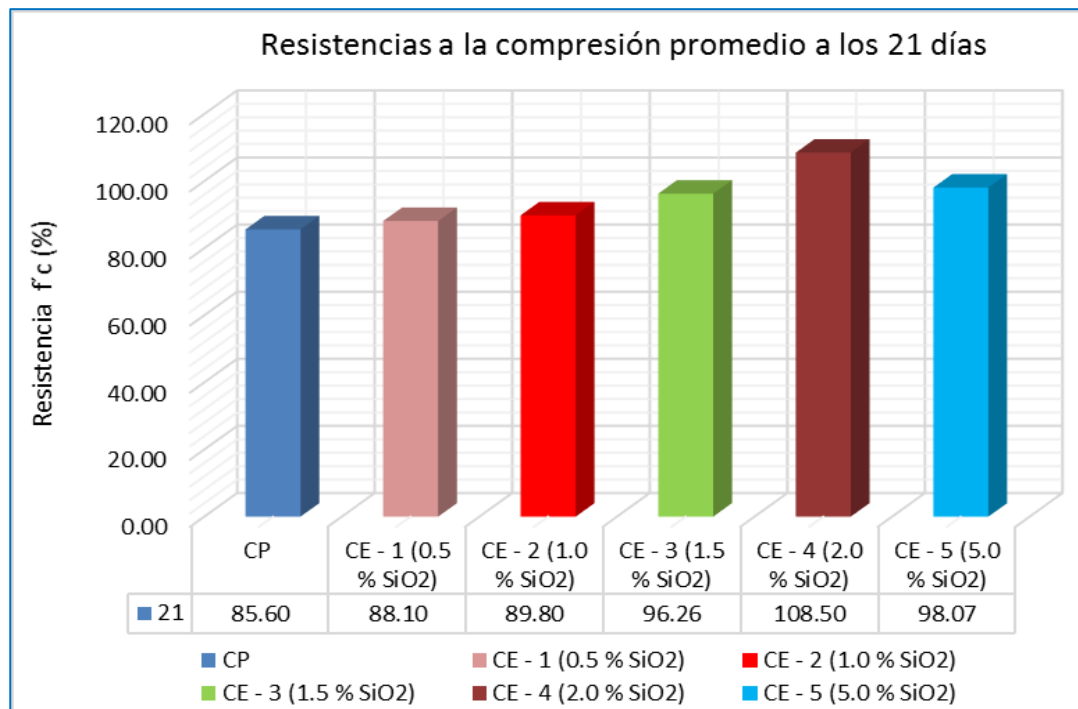


*Figura 10* Evolución de resistencias a 7 días

Fuente: Autoría propia 2020

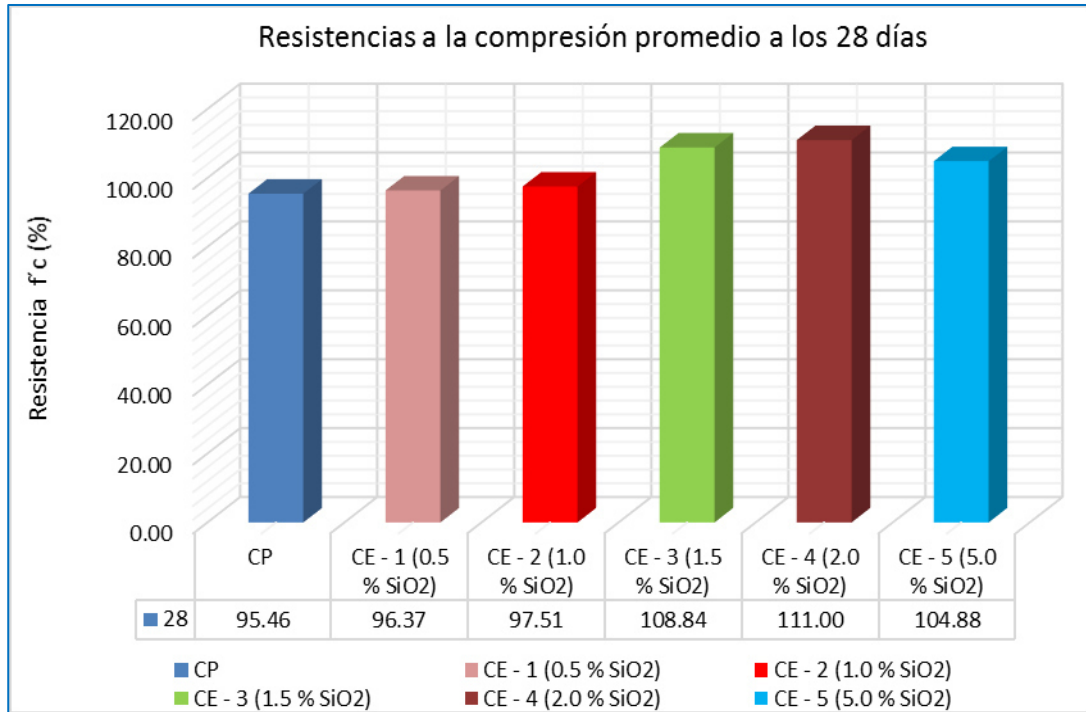


**Figura 11** Evolución de resistencias a 14 días  
Fuente: Autoría propia 2020

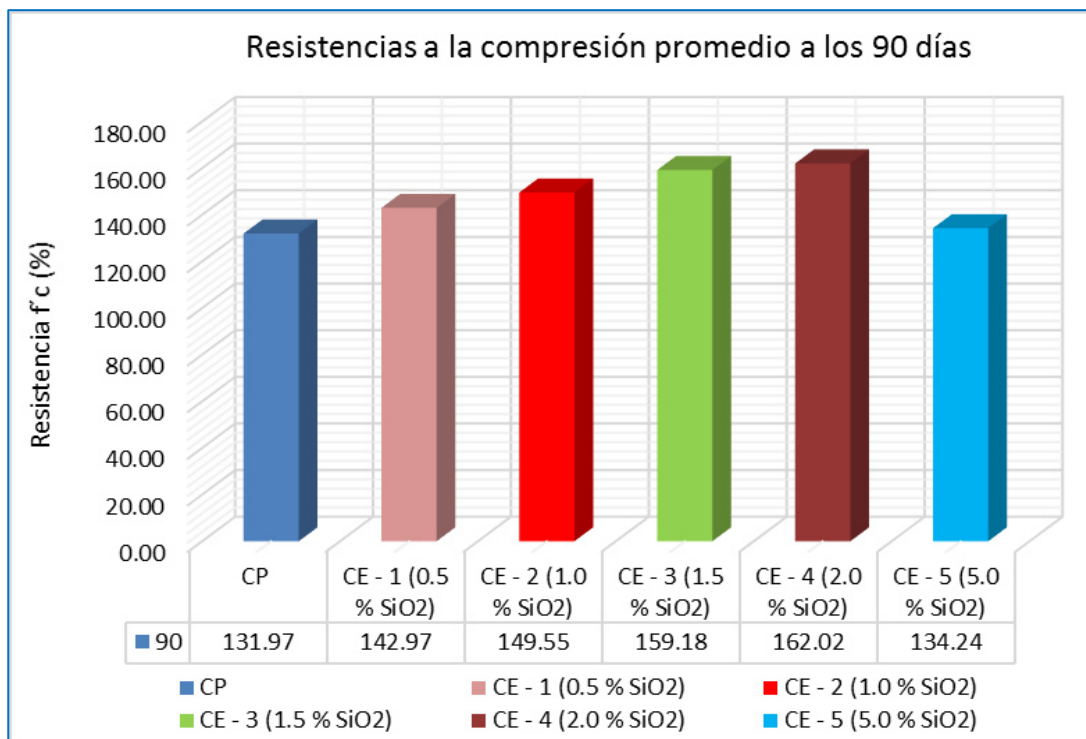


**Figura 12** Evolución de resistencias a 21 días  
Fuente: Autoría propia 2020



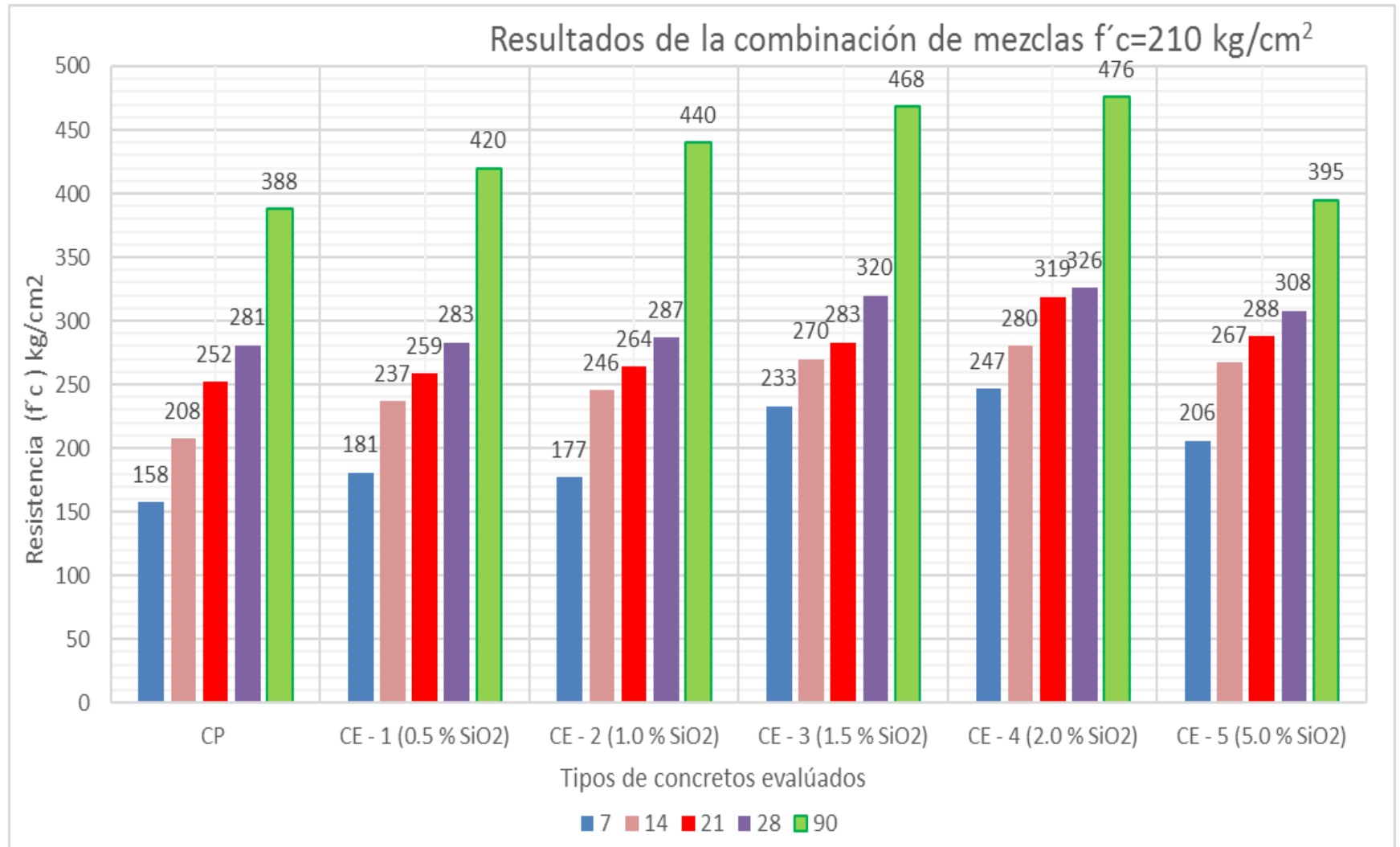


**Figura 13** Evolución de resistencias a 28 días  
Fuente: Autoría propia 2020

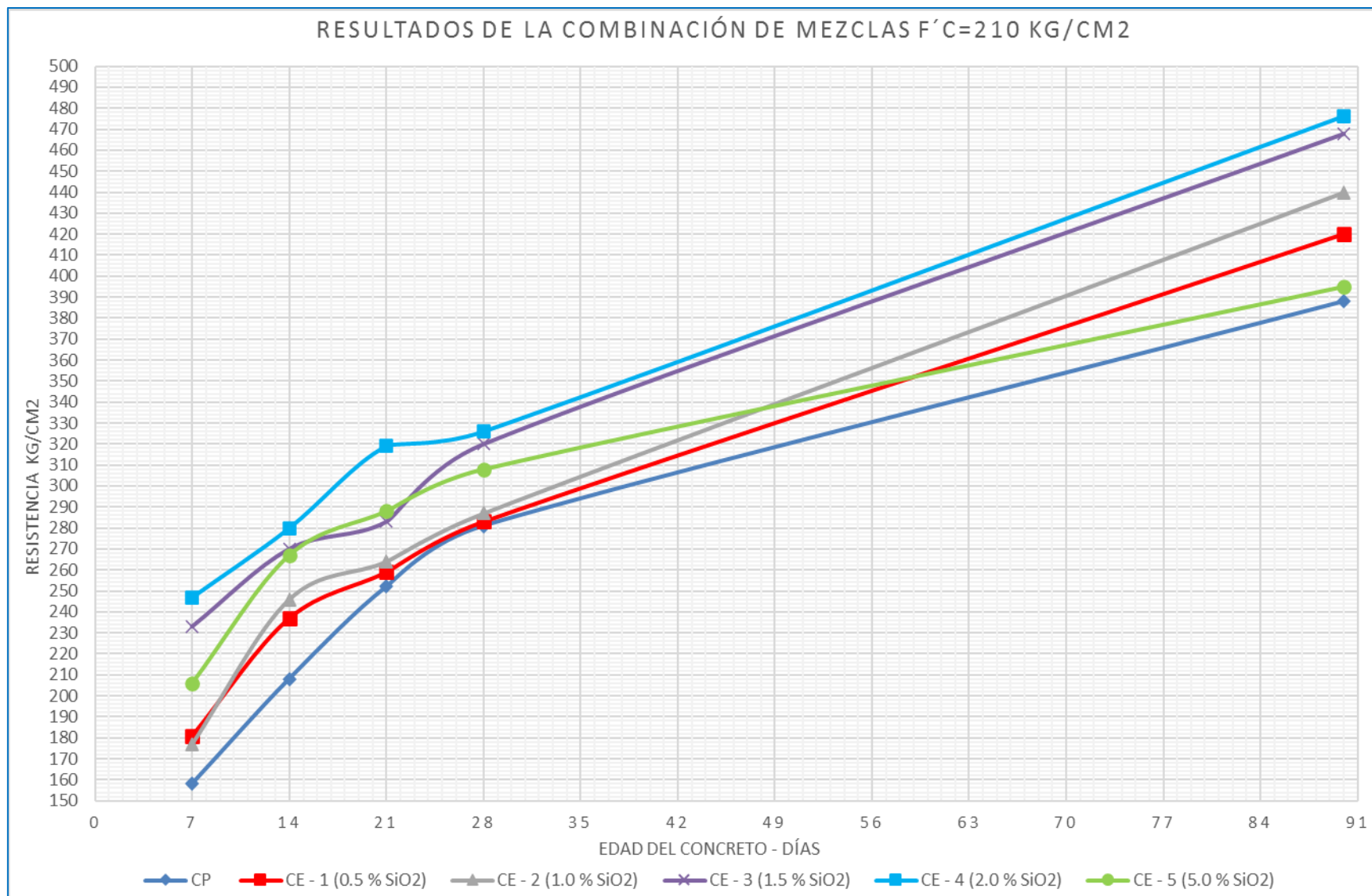


**Figura 14** Evolución de resistencias a 90 días  
Fuente: Autoría propia 2020

**5.3.4.1 Desempeño del concreto frente a la adición de SiO<sub>2</sub> y la edad.**



*Figura 15* Evoluciones de las resistencias en los diferentes grupos experimentales según la edad  
Fuente: Autoría propia 2020



**Figura 16** Evolución de las resistencias de todas las combinaciones de mezclas según edades  
 Fuente: Autoría propia 2020

### 5.3.4.2 Comparación de resistencias entre grupos evaluados

Concreto patrón – concreto experimental 1 (0.5% de SiO<sub>2</sub>)

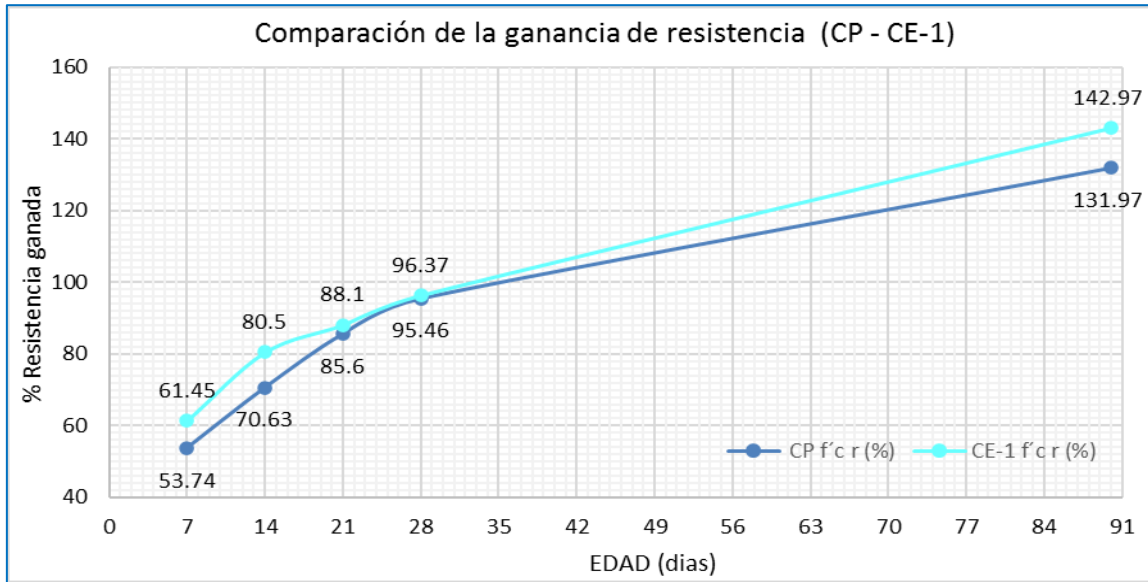


Figura 17 Comparación de ganancia de resistencias CP vs CE-1

Fuente: Autoría propia 2020

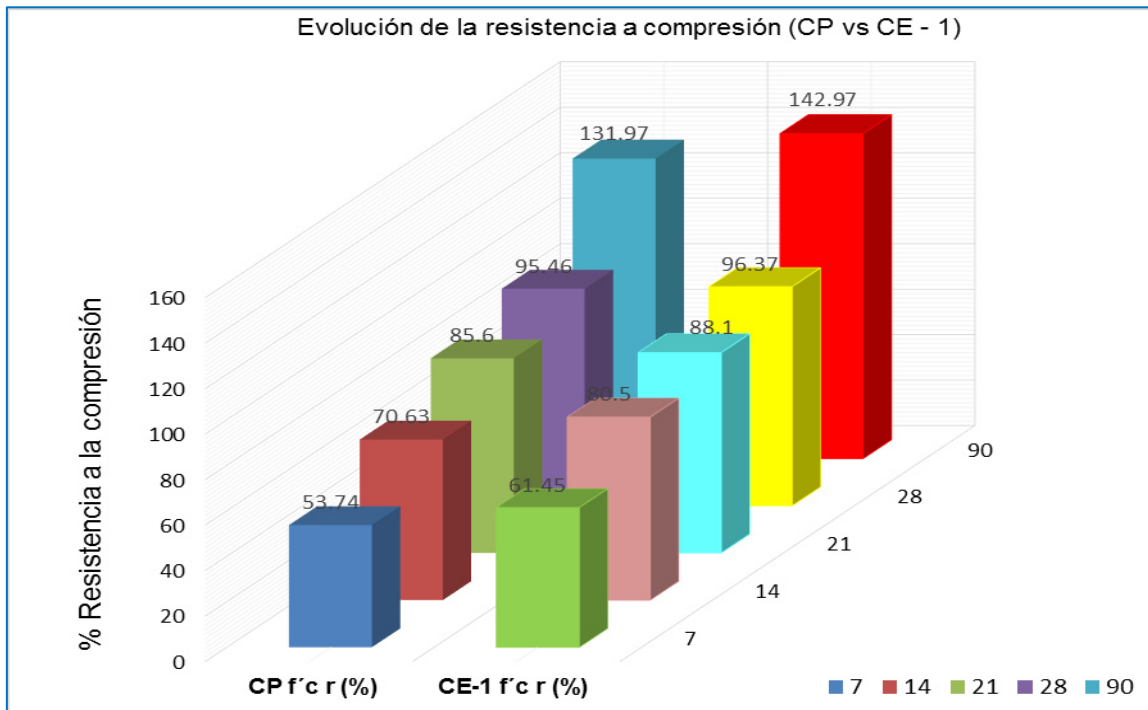
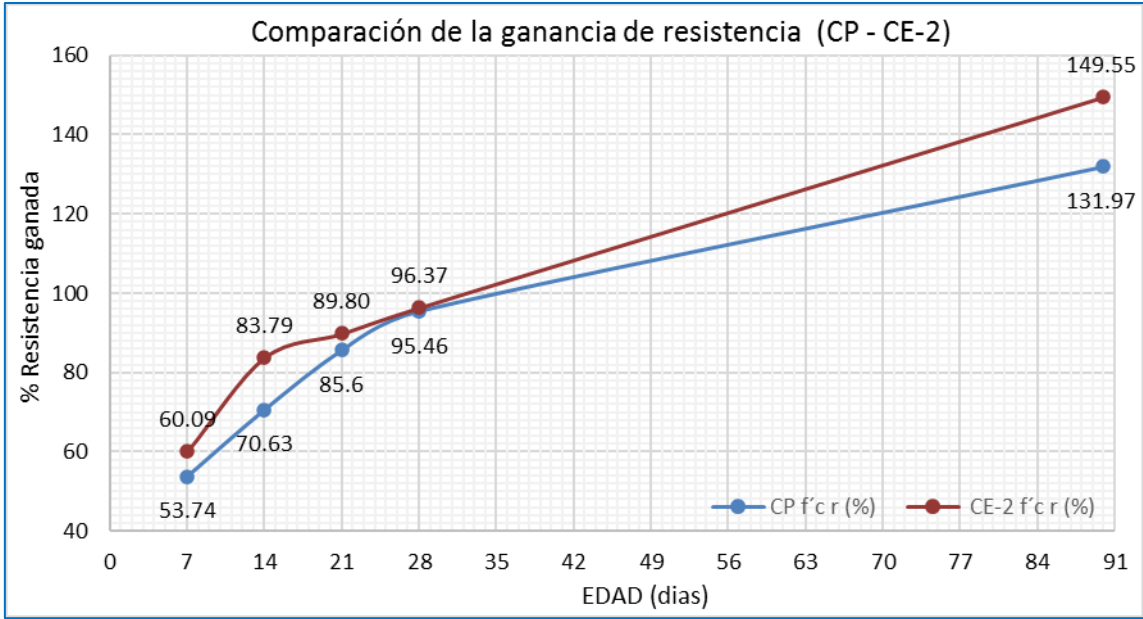
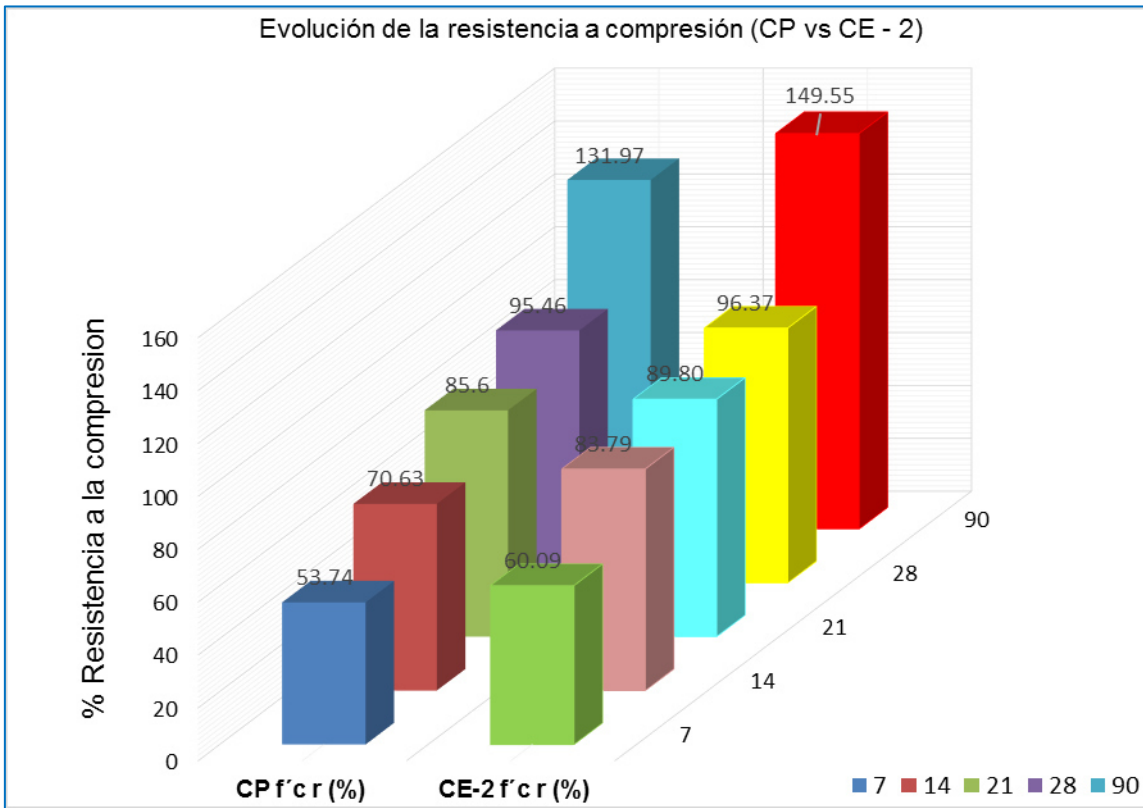


Figura 18 Comparación de ganancia de resistencias CP vs CE-1

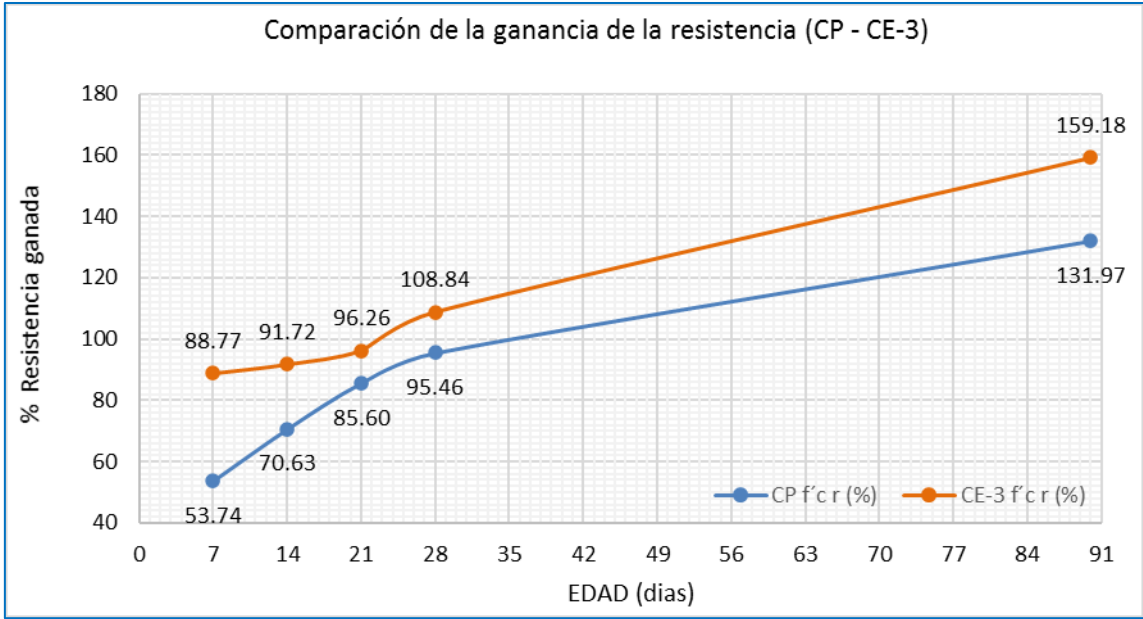
Fuente: Autoría propia 2020



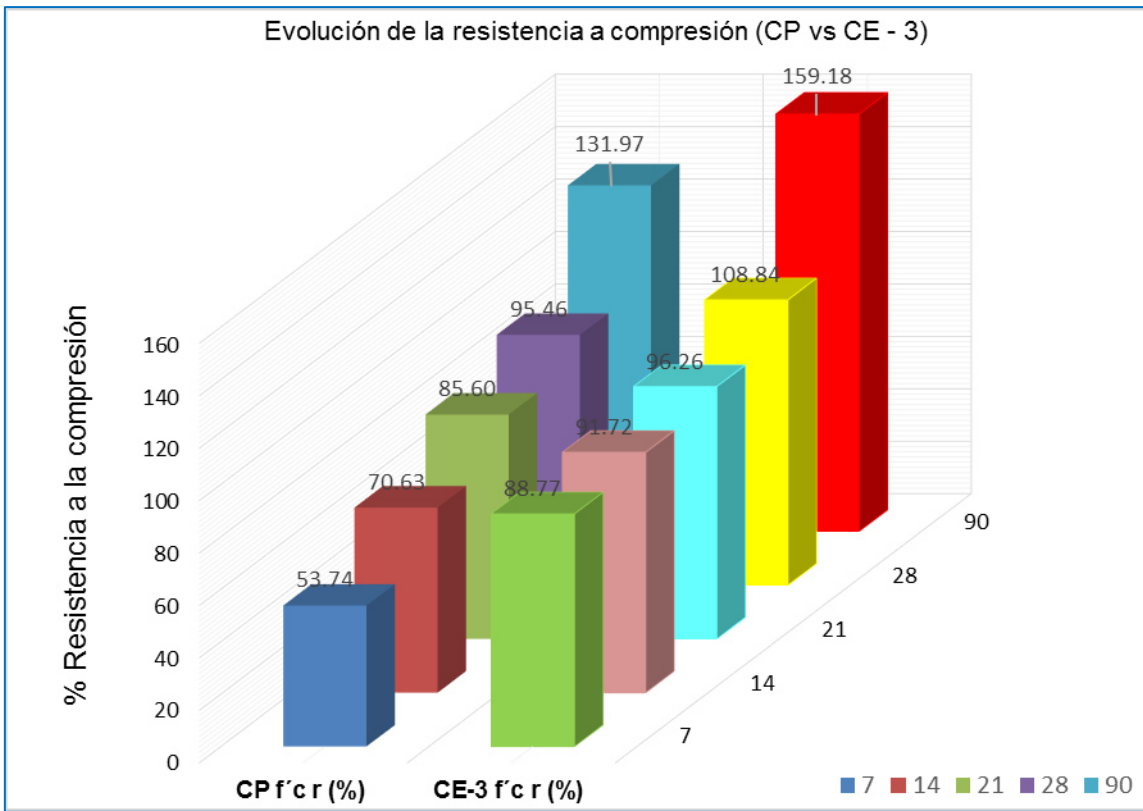
*Figura 19* Comparación de ganancia de resistencias CP vs CE-2  
Fuente: Autoría propia 2020



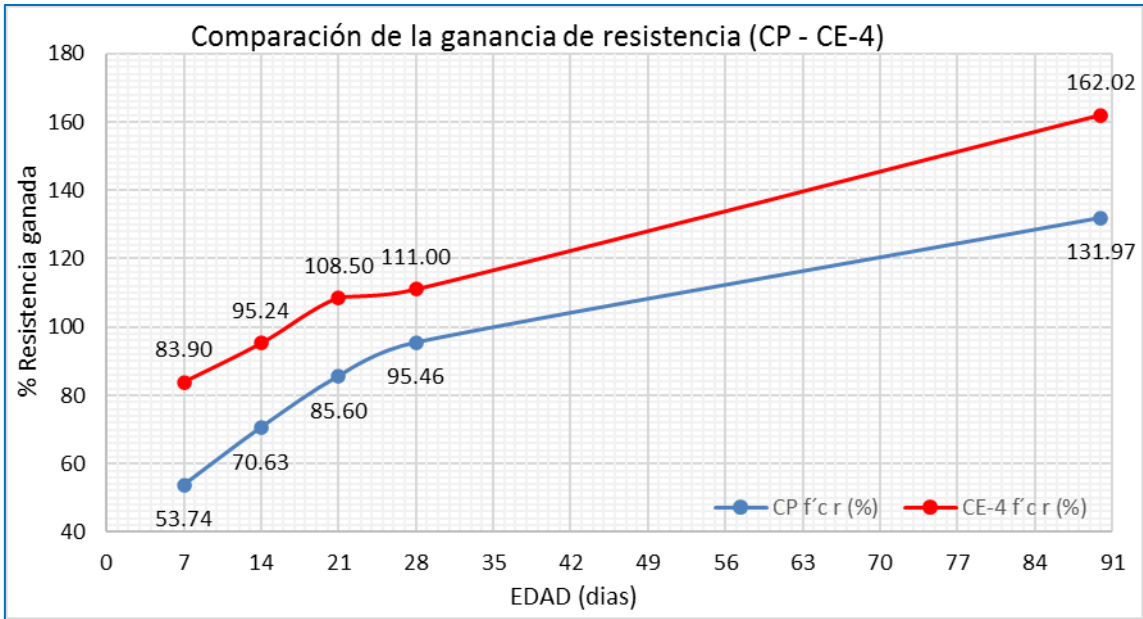
*Figura 20* Comparación de ganancia de resistencias CP vs CE-2  
Fuente: Autoría propia 2020



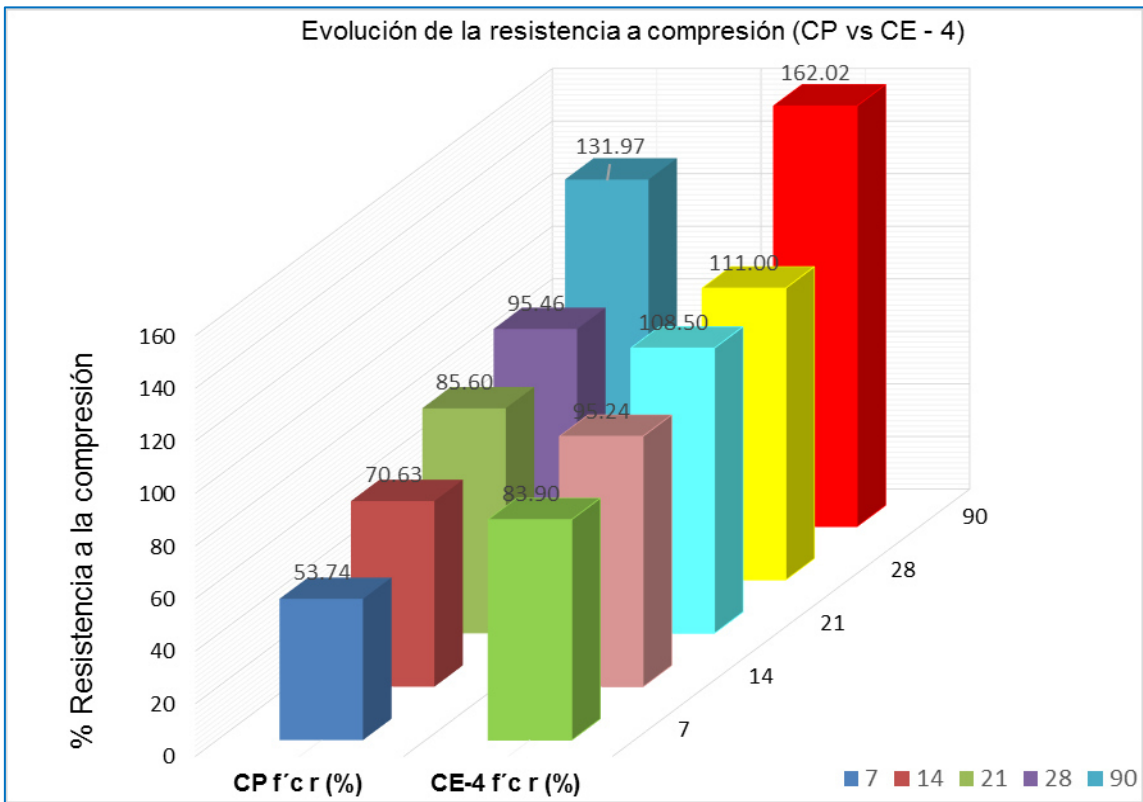
**Figura 21** Comparación de ganancia de resistencias CP vs CE-3  
Fuente: Autoría propia 2020



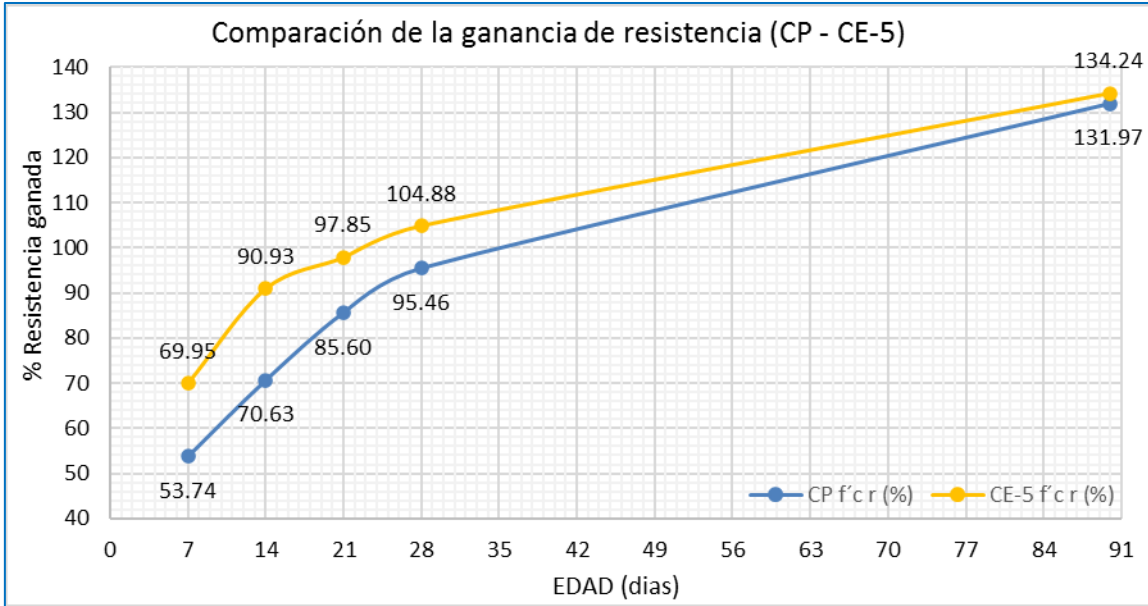
**Figura 22** Comparación de ganancia de resistencias CP vs CE-3  
Fuente: Autoría propia 2020



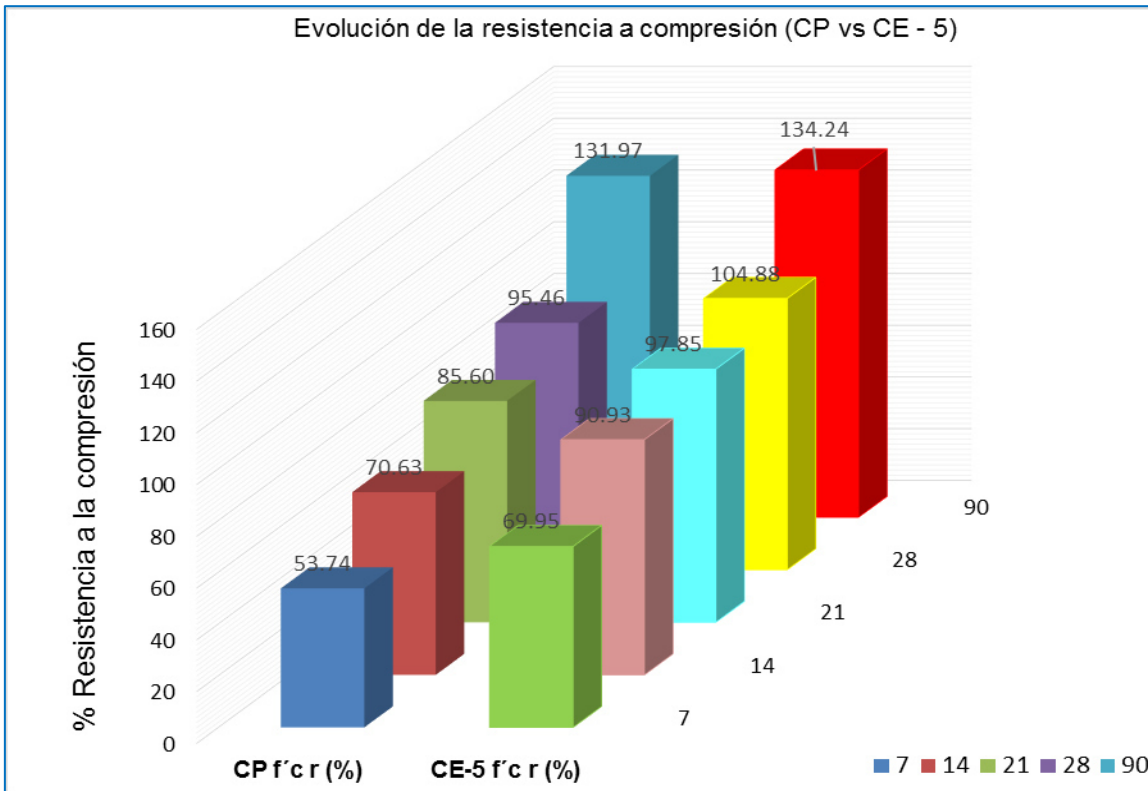
**Figura 23** Comparación de ganancia de resistencias CP vs CE-4  
Fuente: Autoría propia 2020



**Figura 24** Comparación de ganancia de resistencias CP vs CE-4  
Fuente: Autoría propia 2020



*Figura 25* Comparación de ganancia de resistencias CP vs CE-5  
 Fuente: Autoría propia 2020



*Figura 26* Comparación de ganancia de resistencias CP vs CE-5  
 Fuente: Autoría propia 2020



### 5.3.5 Cálculo del porcentaje óptimo de dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>)

De acuerdo con los resultados obtenidos mediante los diseños de mezcla y las roturas de probetas a compresión, nos permite determinar cuánto es el porcentaje óptimo de dióxido de silicio SiO<sub>2</sub>, que se puede alcanzar con el aditivo elaborado a base de la cola de caballo permitiendo saber hasta que resistencia se podría alcanzar con la incorporación de dióxido de silicio SiO<sub>2</sub> obteniendo una resistencia de 478 kg/cm<sup>2</sup> con una dosis de 1.85 kg/m<sup>3</sup> de concreto como se observa en la figura 27.

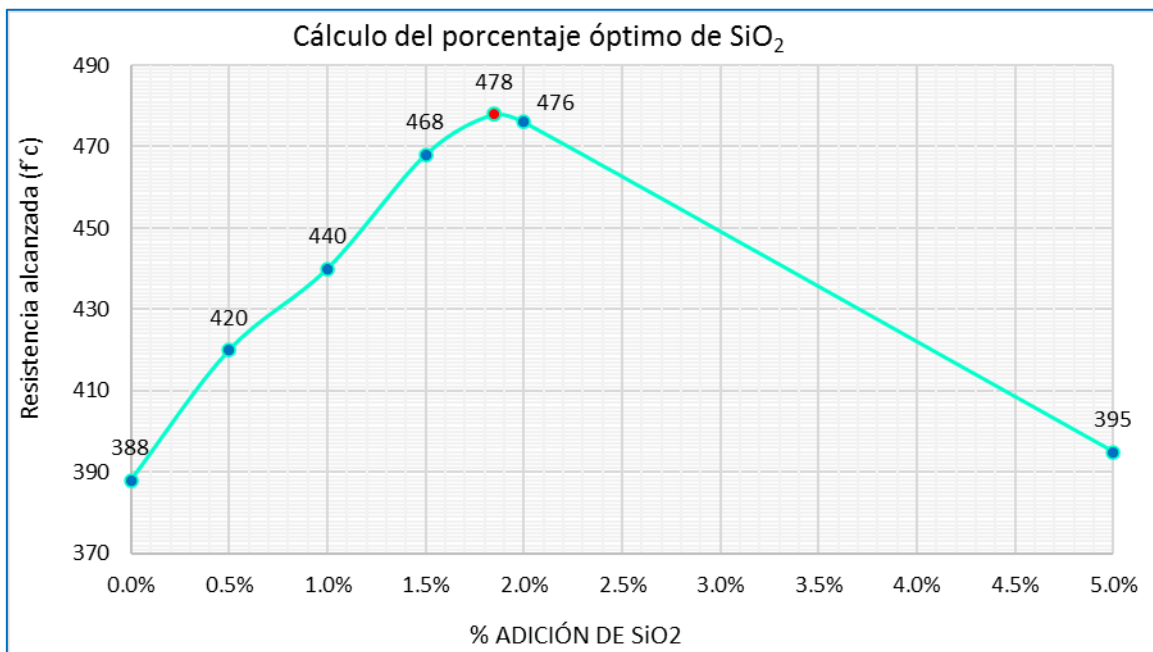


Figura 27 Cálculo del porcentaje óptimo de SiO<sub>2</sub>  
Fuente: Autoría propia 2020

## CONCLUSIONES

La incorporación de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) proveniente de la cola de caballo influyó positivamente en mejorar la resistencia en todos los grupos de concretos experimentales, según los resultados se obtuvieron incrementos del 27.21% y un 30.05% en las resistencias con adiciones del 1.5% y 2.0% de  $\text{SiO}_2$  por encima de la resistencia de diseño, se pudo evidenciar que a mayor adición de  $\text{SiO}_2$  (5.0%) la resistencia tiende a caer a un 2.27% pero continua por encima de la resistencia del concreto patrón, se validó con la prueba de Anova con un nivel de confianza del 95 % para las resistencias de acuerdo con la edad en días obteniendo un valor de significancia de 0.00, corroborando que la incorporación de dióxido de silicio tiene efectos positivos en la resistencia del concreto.

El relación al porcentaje de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) proveniente de la cola de caballo incorporado al concreto, el mejor desempeño se alcanza al adicionar 1.85 % de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) llegando a una resistencia de 324  $\text{kg/cm}^2$  a 28 días y a los 90 días llega a 478  $\text{kg/cm}^2$ , también se evidencio que con la incorporación del 5.0% de ( $\text{SiO}_2$ ) la resistencia disminuye a 308  $\text{kg/cm}^2$  a 28 días y a 90 días llega a 395  $\text{kg/cm}^2$ , comparado en las mismas edades frente al concreto patrón que alcanzaron unas resistencias de (281 y 388)  $\text{kg/cm}^2$

Referente a la relación - ganancia o modificación de la resistencia en el tiempo de acuerdo a los resultados obtenidos se observa que la incorporación de dióxido de silicio interactúa de forma sinérgica con los componentes del concreto, según los días transcurridos y en función de la edad se observa un incremento en la resistencia a compresión, conforme pasa el tiempo los porcentajes de ganancia

en resistencia se ven incrementados de manera importante, con la adición del 0.5% de ( $\text{SiO}_2$ ) la resistencia se incrementa en un 11%; con la adición de 1.0% de ( $\text{SiO}_2$ ) se incrementa en un 17.58%; con la adición del 1.5% de ( $\text{SiO}_2$ ) se incrementa en un 27.21%; con la adición del 2.0% de ( $\text{SiO}_2$ ) se obtiene el mayor incremento, llegando a un 30.05%; caso contrario ocurre al adicionar un 5.0% de ( $\text{SiO}_2$ ) tiende a caer la resistencia a un 2.27% porcentajes superiores al concreto patrón.

## RECOMENDACIONES

- ✓ Se sugiere elaborar concretos incorporados con  $1.85 \text{ kg/m}^3$  de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) proveniente de la cola de caballo, producidos con agregados que se encuentren dentro de los límites granulométricos evaluados en esta investigación, teniendo en consideración la relación a/c y la caracterización de los agregados, obteniendo concretos de alta resistencia, gracias a acción y los beneficios que aporta el dióxido de silicio en el concreto endurecido ya que permite que las estructuras presenten un mayor tiempo de vida útil.
- ✓ Se sugiere continuar la investigación sobre la producción de concretos y morteros adicionados con dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) proveniente de la cola de caballo, elaborados con agregados de diferentes canteras y hormigones, para diferentes relaciones de agua cemento, diferentes granulometrías y agregados que se encuentren fuera de las mallas normalizadas, con el objetivo de verificar las ventajas y beneficios que ofrece el dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) en el concreto traducido en la ganancia de resistencia a compresión del concreto endurecido.
- ✓ Desarrollar ensayos que permitan evaluar la acción y el comportamiento del dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) proveniente de la cola de caballo en el concreto para diferentes condiciones de temperaturas que existe en la región Junín, diferentes estructuras hechas de concreto y la compatibilidad con los diferentes tipos de cementos disponibles en nuestro medio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abanto, F. (2009). *Tecnología del Concreto*. Lima: San Marcos.
2. ASOCEM . (14 de 05 de 2019). *www.asocem.org.pe/estadisticas-nacionales*. Obtenido de Reporte Estadístico Mensual Abril 2019: <http://www.asocem.org.pe>
3. Camargo Pérez Nelson Ricardo, H. S. (2017). Concreto hidráulico modificado con sílice obtenida de la cascarilla del arroz. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 27-1, 91-109. doi:<http://dx.doi.org/10.18359/rcin.1907>
4. Carneiro ME, Magalhães WLE, Muñoz GIB, Nisgoski S, & Satyanarayana KG. (2015). Preparation and Characterization of Nano Silica from Equisetum arvenses. 5, 1-7. doi:10.4172/2155-9821.1000205
5. Caro, J. (2018). *Resistencia de un concreto  $f'c=210$  kg/ cm<sup>2</sup> con sustitución de cemento en 5% y 10 % por ceniza de hoja de maíz*. Tesis de pregrado, Universidad San Pedro, Ancash, Chimbote.
6. Chileno, M. (2017). *Relación del aditivo nanosilice en la resistencia del concreto en la Urbanización Chorrillos - Ciudad de Huancayo, 2016*. Tesis de pregrado, Universidad Peruana los Andes, Junin, Huancayo.
7. Gómez, J. (s.f). *Materiales de Construcción*. Monterrey: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.
8. Gonzales , R. (2016). *Concreto de alta resistencia utilizando aditivo microsilice*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Huánuco, Huánuco.
9. Harmsen, T. (2005). *Diseño de estructuras de concreto armado*. Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
10. Ibañez, D. (2018). *Resistencia de mortero sustituyendo al cemento por la combinación de 12% de polvo de concha de coquina y 36% de cenizas de cola de caballo*. Tesis de pregrado, Universidad San Pedro, Ancash, Chimbote.

11. Lamus, F., & Andrade, S. (2015). *Concreto reforzado Fundamentos*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
12. López, J. (2017). *Caracterización y actividad puzolánica de la ceniza de corteza de bambú*. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro.
13. Mariano, k. (2019). *Comparación de las resistencias a compresión y flexión del concreto adicionado con las cenizas de bagazo de caña de azúcar con el concreto normal  $f'c = 210\text{kg/cm}^2$* . Tesis de pregrado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Huánuco, Huánuco.
14. MINAGRI. (Diciembre de 2016). Anuario Forestal 2015. *Perú Forestal en Números 2015, Primera Edición*. Lima, Perú.
15. MTC. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Lima: MTC.
16. Neville, A. (2013). *Tecnología del concreto* (Primera ed.). Mexico: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.
17. NTP 339.183. (2008). *Determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas*. INDECOPI. Lima: Comisión de Reglamentos Tecnicos y Comerciales.
18. NTP 339.183. (2013). *Elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio*. INDECOPI. Lima: Comisión de Reglamentos Tecnicos y Comerciales.
19. NTP 339.185. (2002). *Contenido de humedad total evaporable de agregados por secado*. INDECOPI. Lima: Comisión de Reglamentos Tecnicos y Comerciales.
20. NTP 400.012. (2001). *Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global*. INDECOPI. Lima: Comisión de Reglamentos Tecnicos y Comerciales.
21. NTP 400.017. (1999). *Peso unitario del agregado*. INDECOPI. Lima: Comisión de Reglamentos Tecnicos y Comerciales.

22. NTP 400.017. (1999). *Peso unitario del agregado*. INDECOPI. Lima: Comisión de Reglamentos Tecnicos y Comerciales.
23. NTP 400.021. (2002). *Peso específico y absorción del agregado grueso*. INDECOPI. Lima: Comisión de Reglamentos Tecnicos y Comerciales.
24. NTP 400.022. (2013). *Peso específico y absorción del agregado fino*. INDECOPI. Lima: Comisión de Reglamentos Tecnicos y Comerciales.
25. Pasquel Carbajal, E. (1998). *Temas de Tecnología del Concreto* (Segunda ed.). Lima: Colegio de Ingenieros del Perú.
26. Rivva López, E. (2015). *Diseño de Mezclas* (Tercera ed.). Lima: Fondo Editorial ICG.
27. RNE. (2016). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. CAPECO, Lima. APOYO GRAFICO S.A.
28. Sampieri , R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación* (Quinta edición ed.). Mexico D.F., Mexico: McGRAW-HILL.
29. Sanchez, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero* (Quinta Edición ed.). Bogotá, Colombia: BHANDAR EDITORES LTDA.
30. SBS. (2019). *Carpeta de Información del Sistema Financiero*. Carpeta de Cuadros Estadísticos - Sistema Financiero. Obtenido de [http://www.sbs.gob.pe/app/stats\\_net/stats/EstadisticaBoletinEstadistico.aspx?p=14#](http://www.sbs.gob.pe/app/stats_net/stats/EstadisticaBoletinEstadistico.aspx?p=14#)
31. Solis, C. (2018). *Resistencia de una pasta cementante sustituyendo en 5% por polvo de almeja (semele sp) y 15% por ceniza de cola de caballo*. Tesis de pregrado, Universidad San Pedro, Ancash, Chimbote.

## ANEXOS

- Panel fotográfico
- Resultados de ensayos



## PANEL FOTOGRÁFICO

### ELABORACIÓN DE ADITIVO $\text{SiO}_2$

Recolección de la cola de caballo San Ramon – Chanchamayo



Proceso de incineración para la activación de la cola de caballo



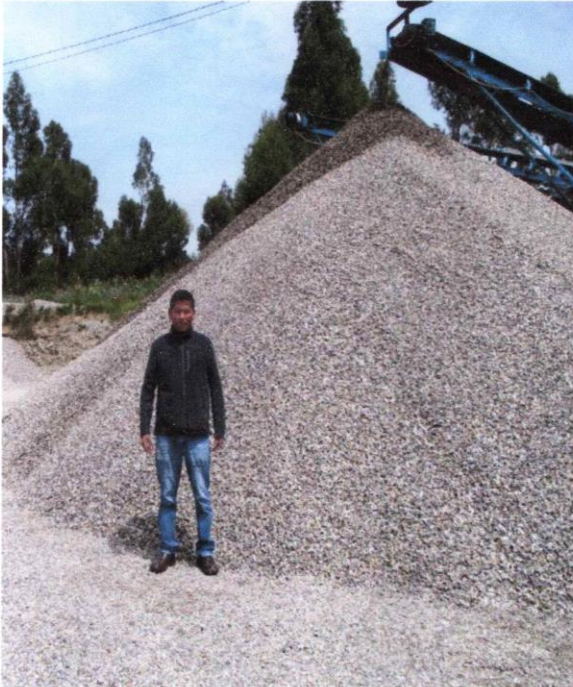
Proceso de molienda de la ceniza activada de la cola de caballo



### ENSAYOS PARA DISEÑO DE MEZCLA

Recolección de piedra chancada y arena gruesa

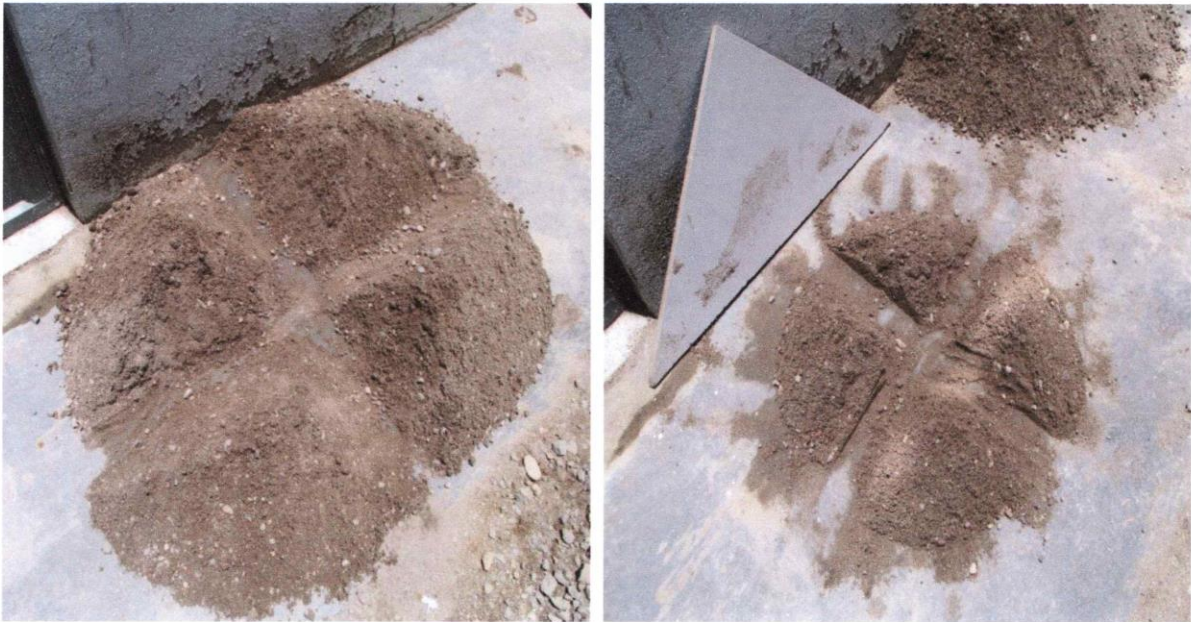




Cuarteo de la piedra chancada



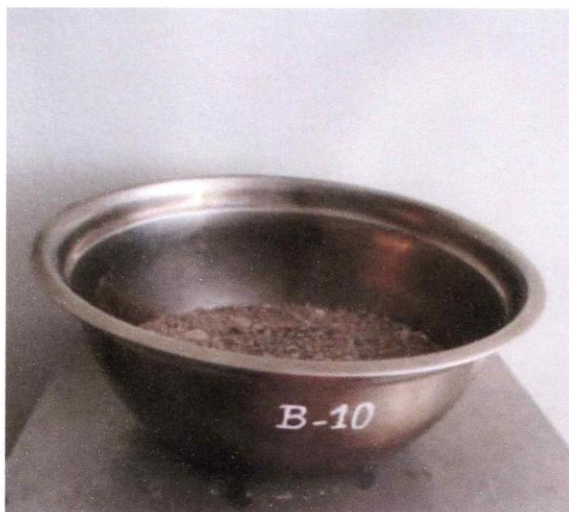
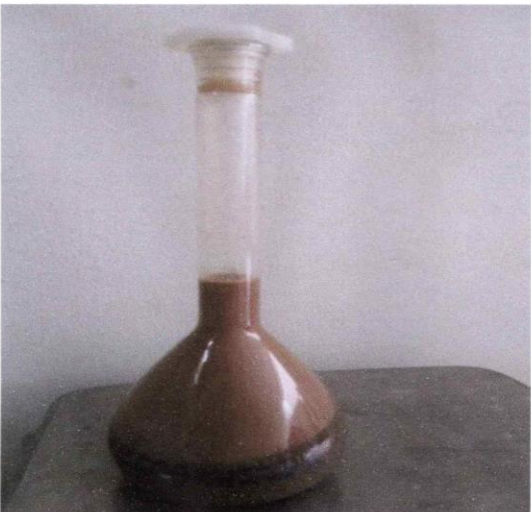
Cuarteo de la arena gruesa



Tamizado de la piedra chancada y arena gruesa



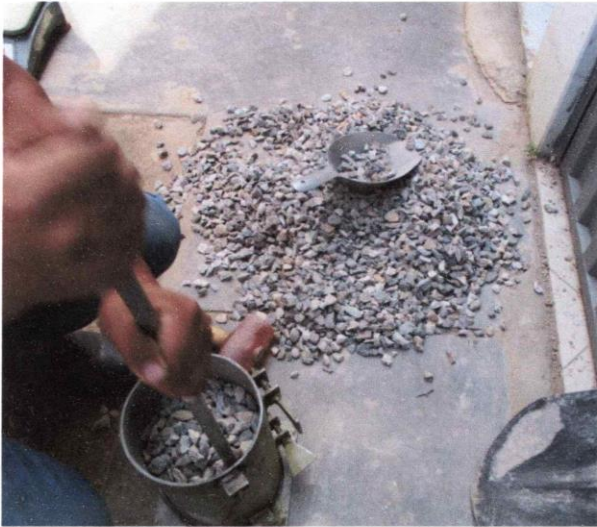
Contenido de humedad y peso específico del agregado fino



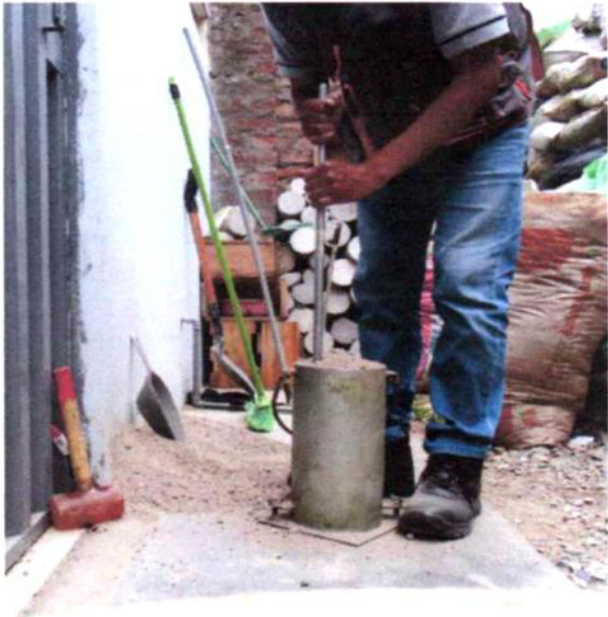
Peso específico y contenido de humedad de la piedra chancada



Peso unitario compactado del agregado grueso

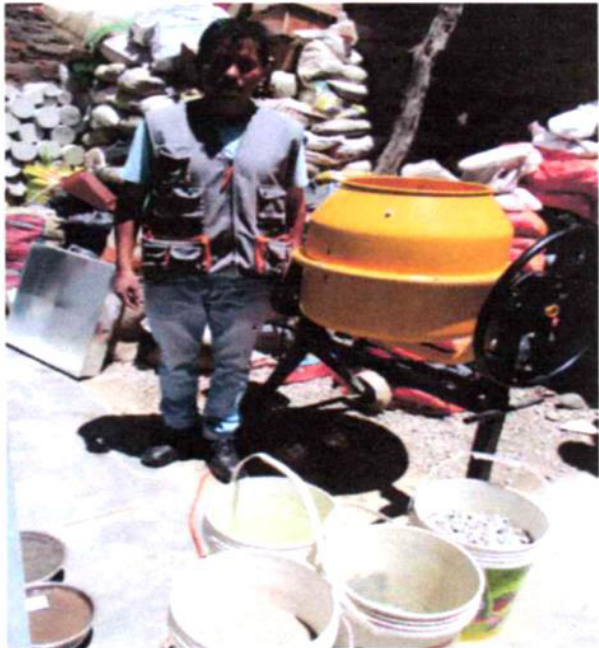
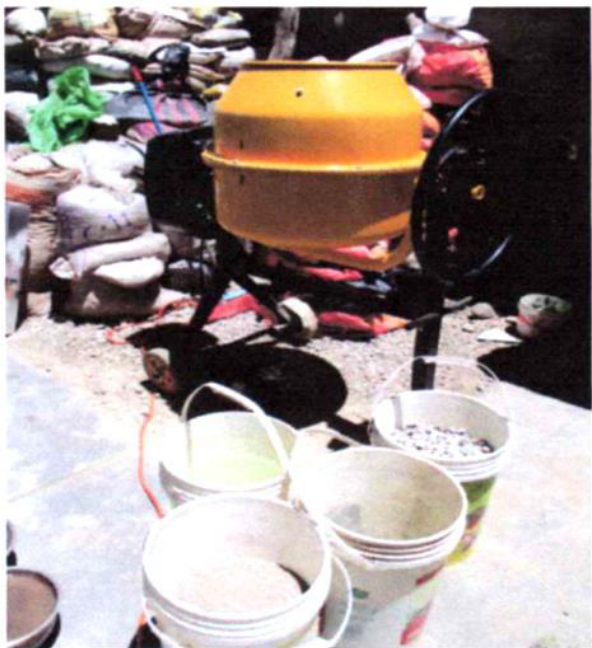


Peso unitario compactado del agregado fino



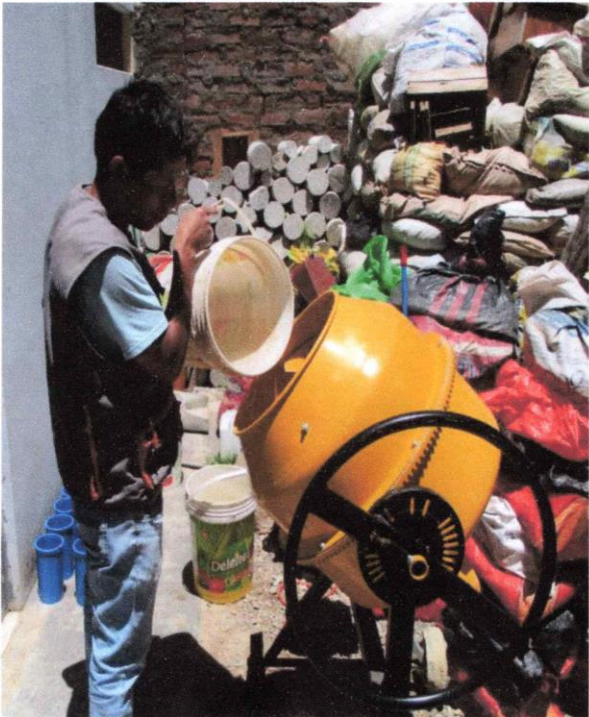
**ELABORACIÓN DE PROBETAS**

Pesado de los materiales para la elaboración del concreto

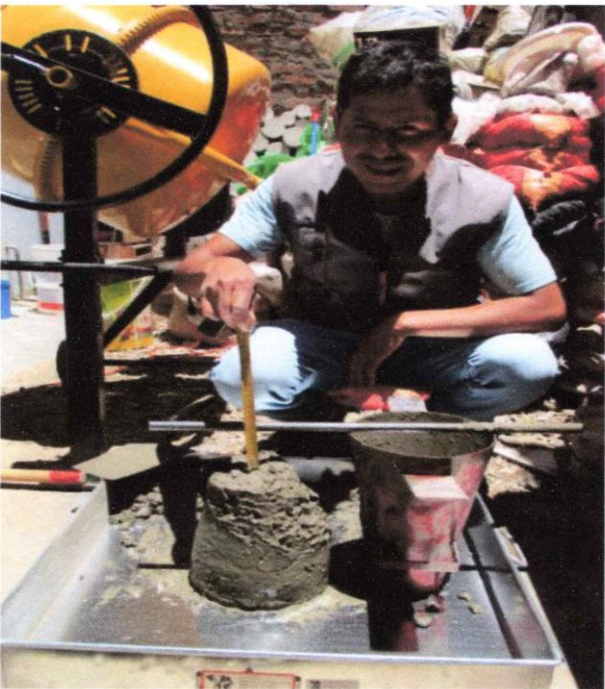




Mezclado de los materiales



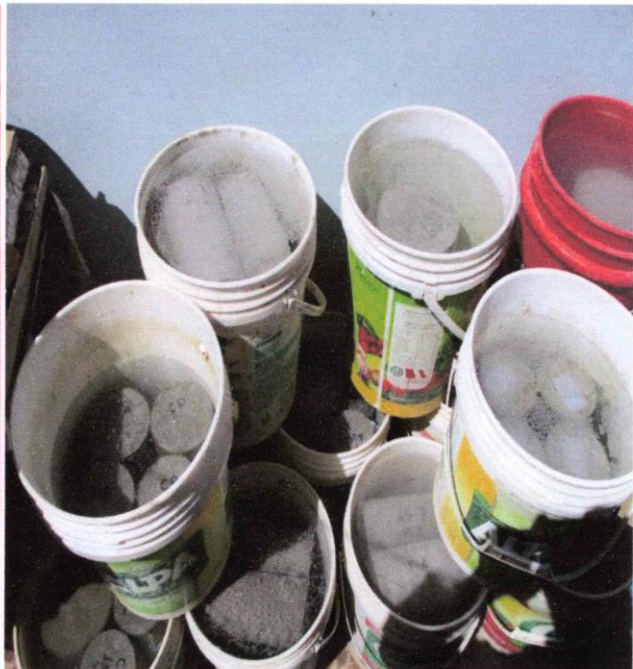
Verificación del Slump



Colocación del concreto en los moldes



Curado de las probetas



Rotura de las probetas a diferentes edades

Concreto patrón



Concreto experimental 1 - 0.5 % SiO<sub>2</sub>



Concreto experimental 2 - 1.0 % SiO<sub>2</sub>



Concreto experimental 3 - 1.5 % SiO<sub>2</sub>



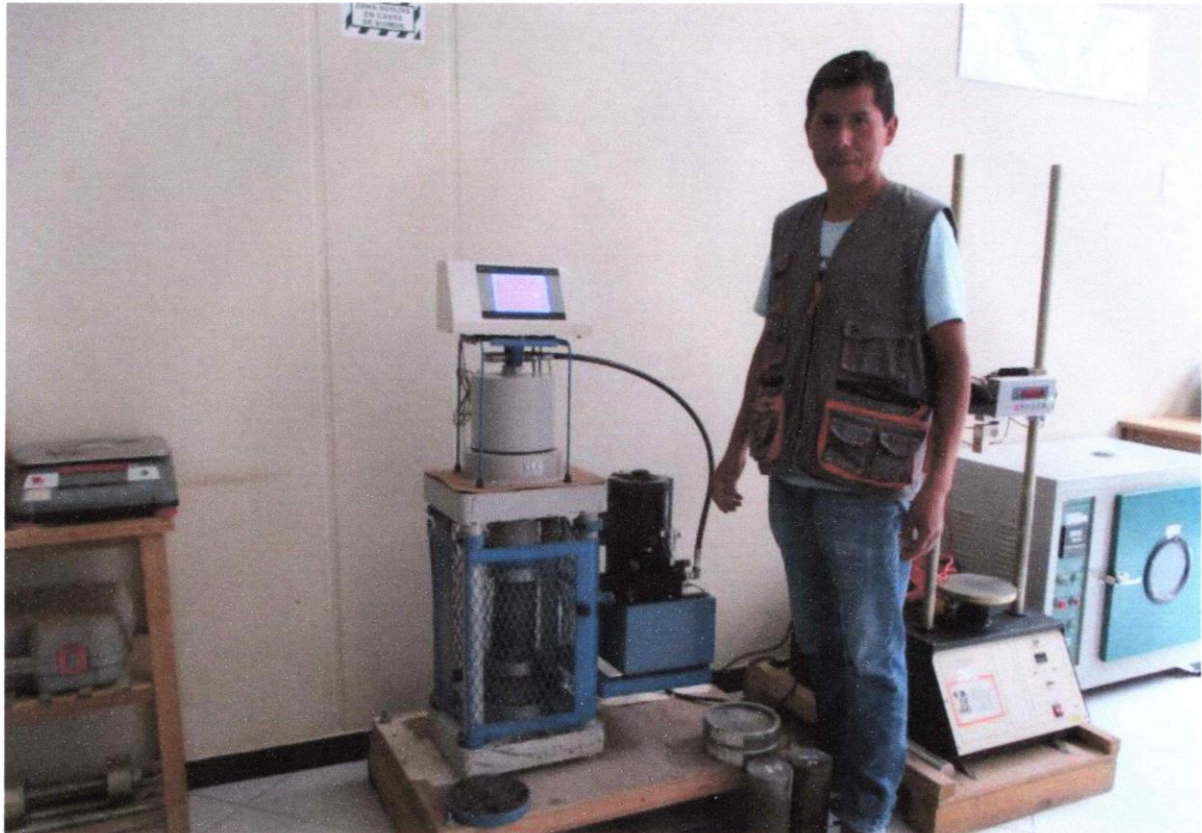
Concreto experimental 4 – 2.0 % SiO<sub>2</sub>



Concreto experimental 5 – 5.0 % SiO<sub>2</sub>



Equipo para ensayos a compresion calibrada





PROYECTO TESIS: "INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE SILICIO PROVENIENTE DE LA COLA DE CABALLO PARA AUMENTAR LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO"  
TESISTA Edson Rodrigo Garcia Cahuana  
UBICACIÓN Matahuasi - Concepción  
CANTERA Matahuasi - Concepción

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADO GRUESO (ASTM C136/ NTP. 400.012) Y ASTM C33

|                 |         |
|-----------------|---------|
| Peso Especifico | 2.63    |
| Humedad         | 0.19    |
| % Absorción     | 1.01    |
| P.U.S           | 1362.5  |
| P.U.C           | 1547.02 |
| Huso            | 6       |

Peso Muestra 2489.12 gramos

| TAMIZ  | ABERTURA<br>mm | MUESTRA<br>N°1 | MUESTRA<br>N°2 | MUESTRA<br>N°3 | PROMEDIO | PESO<br>RETENIDO | %<br>RETENIDO | %<br>ACUMULADO | % QUE<br>PASA | REQUISITOS<br>GRANULOMETRICOS % |     |  |
|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------|------------------|---------------|----------------|---------------|---------------------------------|-----|--|
|        |                |                |                |                |          |                  |               |                |               | MIN                             | MAX |  |
| 2 1/2" | 63.00          | 0.00           | 0.00           | 0.00           | 0.00     | 0.00             | 0.00          | 0.00           | 100           | 100                             | 100 |  |
| 2"     | 50.00          | 0.00           | 0.00           | 0.00           | 0.00     | 0.00             | 0.00          | 0.00           | 100           | 100                             | 100 |  |
| 1 1/2" | 37.50          | 0.00           | 0.00           | 0.00           | 0.00     | 0.00             | 0.00          | 0.00           | 100           | 100                             | 100 |  |
| 1"     | 25.00          | 0.00           | 0.00           | 0.00           | 0.00     | 0.00             | 0.00          | 0.00           | 100           | 100                             | 100 |  |
| 3/4"   | 19.00          | 36.66          | 36.60          | 36.00          | 36.42    | 36.42            | 1.46          | 1.46           | 99            | 90                              | 100 |  |
| 1/2"   | 12.50          | 1670.64        | 1671.22        | 1670.07        | 1670.64  | 1670.64          | 67.12         | 68.58          | 31            | 20                              | 55  |  |
| 3/8"   | 9.50           | 555.10         | 554.00         | 556.25         | 555.12   | 555.12           | 22.30         | 90.88          | 9.1           | 0.0                             | 15  |  |
| Nro. 4 | 4.75           | 210.20         | 211.35         | 209.70         | 210.42   | 210.42           | 8.45          | 99.34          | 0.7           | 0.0                             | 5.0 |  |
| FONDO  | 2.36           | 16.52          | 15.94          | 17.10          | 16.52    | 16.52            | 0.66          | 100.00         | 0.0           | 0.0                             | 0.0 |  |
| TOTAL  |                | 2489.12        | 2489.11        | 2489.12        |          | 2489.12          |               |                |               |                                 |     |  |

Tamaño maximo nominal 3/4"  
Tamaño maximo 1"  
Modulo fineza 6.92

Services Construction and Geotechnical Engineering  
*Yonatan V. Inga Domínguez*  
Yonatan V. Inga Domínguez  
JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE  
SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

Services Construction and Geotechnical Engineering  
*Adolfo E. Camayo Ginche*  
Ing. Adolfo E. Camayo Ginche  
Gerente de Geotecnia  
REG CIP N° 153550



PROYECTO TESIS: "INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE SILICIO PROVENIENTE DE LA COLA DE CABALLO PARA AUMENTAR LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO"

TESISTA Edson Rodrigo Garcia Cahuana  
UBICACIÓN Pilcomayo - Huancayo  
CANTERA Pilcomayo - Huancayo

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADO FINO (ASTM C136/ NTP. 400.012) Y ASTM C33

|                 |         |
|-----------------|---------|
| Peso Especifico | 2.87    |
| Humedad         | 1.17    |
| % Absorción     | 1.27    |
| P.U.S           | 1579.76 |
| P.U.C           | 1768.45 |

Peso Muestra

1192.18 gramos

| TAMIZ    | ABERTURA | MUESTRA |         |         | PROMEDIO PESO | RETENIDO |             |         | % PASA | C    |      | M    |      | F    |  |
|----------|----------|---------|---------|---------|---------------|----------|-------------|---------|--------|------|------|------|------|------|--|
|          |          | N°1     | N°2     | N°3     |               | %        | % ACUMULADO | %       |        | %    | %    | %    |      |      |  |
|          | mm       |         |         |         | RETENIDO      |          |             |         | Min.   | Max. | Min. | Max. | Min. | Max. |  |
| 1/2"     | 12.50    | 0.00    | 0.00    | 0.00    | 0.00          | 0.00%    | 0.00%       | 100.00% | 100    | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |  |
| 3/8"     | 9.50     | 25.00   | 26.00   | 24.81   | 25.27         | 2.12%    | 2.12%       | 97.88%  | 95     | 100  | 89   | 100  | 89   | 100  |  |
| Nro. 4   | 4.75     | 150.00  | 151.00  | 151.64  | 150.88        | 12.66%   | 14.78%      | 85.22%  | 80     | 100  | 65   | 100  | 80   | 100  |  |
| Nro. 8   | 2.36     | 147.00  | 145.20  | 145.44  | 145.88        | 12.24%   | 27.01%      | 72.99%  | 50     | 85   | 45   | 100  | 70   | 100  |  |
| Nro. 16  | 1.18     | 114.30  | 114.00  | 114.51  | 114.27        | 9.58%    | 36.60%      | 63.40%  | 25     | 60   | 25   | 80   | 55   | 100  |  |
| Nro. 30  | 0.60     | 157.03  | 156.82  | 157.24  | 157.03        | 13.17%   | 49.77%      | 50.23%  | 10     | 30   | 5    | 48   | 5    | 70   |  |
| Nro. 50  | 0.30     | 401.87  | 400.20  | 400.54  | 400.87        | 33.62%   | 83.39%      | 16.61%  | 2      | 10   | 0    | 12   | 0    | 12   |  |
| Nro. 100 | 0.15     | 171.00  | 172.95  | 172.05  | 172.00        | 14.43%   | 97.82%      | 2.18%   | 0      | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |  |
| FONDO    |          | 25.98   | 26.00   | 25.96   | 25.98         | 2.18%    | 100.00%     | 0.00%   |        |      |      |      |      |      |  |
| TOTAL    |          | 1192.18 | 1192.17 | 1192.19 | 1192.18       |          |             |         |        |      |      |      |      |      |  |

Tamaño maximo nominal Nro. 4  
Tamaño maximo 3/8"  
Modulo fineza 3.1

Services Construction and Geotechnical Engineering  
*Yamato V. Inga Benifacio*  
JEFE DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

Services Construction and Geotechnical Engineering  
*Ing. Adolfo E. Camayo Ginche*  
Gerente de Geotecnia  
REG. CIP N° 153550





PROYECTO TESIS: "INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE SILICIO PROVENIENTE DE LA COLA DE CABALLO PARA AUMENTAR LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO"

TESISTA Edson Rodrigo Garcia Cahuana

UBICACIÓN Matahuasi - Concepción

CANTERA Matahuasi - Concepción

PESO ESPECIFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO (ASTM C127/ NTP. 400.021)

| DATOS |   |     | M1     | M2   | M3      |
|-------|---|-----|--------|------|---------|
| 1     | Peso de la muestra saturada con superficie seca (A)     | gr  | 3000.1 | 3000 | 2999.68 |
| 2     | Peso de la canastilla dentro del agua (C)               | gr  | 860    | 860  | 860     |
| 3     | Peso de la muestra saturada + Peso de la canastilla (B) | gr  | 2730.2 | 2731 | 2729    |
| 4     | Peso de la muestra saturada sumergida ((E)= (B-C))      | gr  | 1870.2 | 1871 | 1869    |
| 5     | Volumen de la muestra ((F) = (A-E))                     | cm3 | 1129.9 | 1129 | 1130.68 |
| 6     | Peso de la tara   | gr  | 207    | 207  | 207     |
| 7     | Peso de la tara + Muestra seca                          | gr  | 3177   | 3177 | 3177    |
| 8     | Peso de la muestra seca (D)                             | gr  | 2970   | 2970 | 2970    |

| RESULTADOS |  |        | M1   | M2   | M3   | Prom. |
|------------|--|--------|------|------|------|-------|
| 9          | Gravedad especifica seca ((D/ (A-E))             | gr/cm3 | 2.63 | 2.63 | 2.63 | 2.63  |
| 10         | Gravedad especifica saturada (S.S.S) ((A/ (A-E)) | gr/cm3 | 2.66 | 2.66 | 2.65 | 2.66  |
| 11         | Peso especifico aparente ((D/(D-E))              | gr/cm3 | 2.70 | 2.70 | 2.70 | 2.70  |
| 12         | Porcentaje de absorcion ((A-D)/D)*100            | %      | 1.01 | 1.01 | 1.00 | 1.01  |

Serices Construction and Geotechnical Engineering  
*Yonatan V. Inga Benavente*  
Yonatan V. Inga Benavente  
JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE  
SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

Serices Construction and Geotechnical Engineering  
*Ing. Adolfo E. Camayo Ginche*  
Ing. Adolfo E. Camayo Ginche  
Gerente de Geotecnia  
REG. CIP N° 153550



PROYECTO TESIS: "INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE SILICIO PROVENIENTE DE LA COLA DE CABALLO PARA AUMENTAR LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO"

TESISTA Edson Rodrigo Garcia Cahuana  
UBICACIÓN Pilcomayo - Huancayo  
CANTERA Pilcomayo - Huancayo

PESO ESPECIFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCION DEL AGREGADO FINO (ASTM C127/ NTP. 400.022)

| DATOS |   |    | M1     | M2     | M3     |
|-------|---|----|--------|--------|--------|
| A     | Peso de la muestra saturada con superficie seca | gr | 500    | 500    | 500    |
| B     | Peso del frasco + agua                          | gr | 478.23 | 478.18 | 477.68 |
| C     | Peso del frasco + agua + muestra                | gr | 978.23 | 978.18 | 977.68 |
| D     | Peso de la muestra + agua en el frasco          | gr | 806    | 806    | 806    |
| E     | Volumen de masa + volumen de vacios             | gr | 172.23 | 172.18 | 171.68 |
| F     | Peso de la muestra seca en horno                | gr | 493.72 | 493.80 | 493.7  |
| G     | Volumen de masa                                 | gr | 165.95 | 165.98 | 165.38 |

| RESULTADOS                            |        | M1   | M2   | M3   | Prom. |
|---------------------------------------|--------|------|------|------|-------|
| Gravedad especifica seca (F/E)        | gr/cm3 | 2.87 | 2.87 | 2.88 | 2.87  |
| Gravedad especifica saturada (A/E)    | gr/cm3 | 2.90 | 2.90 | 2.91 | 2.91  |
| Peso especifico aparente (F/G)        | gr/cm3 | 2.98 | 2.98 | 2.99 | 2.98  |
| Porcentaje de absorcion ((A-F)/F)*100 | %      | 1.27 | 1.26 | 1.28 | 1.27  |

Services Construction and Geotechnical Engineering  
  
Yanatan V. Inga Bonifacio  
JEFE DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

Services Construction and Geotechnical Engineering  
  
Ing. Adolfo E. Camayo Ginche  
Gerente de Geotecnia  
REG. CIP N° 153550



PROYECTO TESIS: "INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE SILICIO PROVENIENTE DE LA COLA DE CABALLO PARA AUMENTAR LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO"

TESISTA Edson Rodrigo Garcia Cahuana

UBICACIÓN Matahuasi - Concepción

CANTERA Matahuasi - Concepción

PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO (ASTM C29/ NTP. 400.017)

| PESO UNITARIO SUELTO |                                 |       | M1      | M2      | M3      |
|----------------------|---------------------------------|-------|---------|---------|---------|
| 1                    | Peso de la muestra + Recipiente | gr    | 14010   | 14080   | 14020   |
| 2                    | Peso del recipiente             | gr    | 6390    | 6390    | 6390    |
| 3                    | Peso de la muestra (1-2)        | gr    | 7620    | 7640    | 7630    |
| 4                    | Volumen del recipiente          | m3    | 0.0056  | 0.0056  | 0.0056  |
| 5                    | P.U.S (3/4)/1000                | kg/m3 | 1360.71 | 1364.29 | 1362.50 |
| 6                    | Promedio P.U.S Seco             | kg/m3 | 1362.50 |         |         |

| PESO UNITARIO COMPACTADO |                                 |       | M1      | M2      | M3      |
|--------------------------|---------------------------------|-------|---------|---------|---------|
| 1                        | Peso de la muestra + Recipiente | gr    | 15060   | 15050   | 15050   |
| 2                        | Peso del recipiente             | gr    | 6390    | 6390    | 6390    |
| 3                        | Peso de la muestra (1-2)        | gr    | 8670    | 8660    | 8660    |
| 4                        | Volumen del recipiente          | m3    | 0.0056  | 0.0056  | 0.0056  |
| 5                        | P.U.C                           | kg/m3 | 1548.21 | 1546.43 | 1546.43 |
| 6                        | Promedio P.U.C                  | kg/m3 | 1547.02 |         |         |

| CONTENIDO DE HUMEDAD |   |    | M1      | M2      | M3      |
|----------------------|---|----|---------|---------|---------|
|                      |   | Nº | T-0     | T-9     | T-21    |
| 1                    | Peso de la tara                         | gr | 112.85  | 112.08  | 109.79  |
| 2                    | Peso de la tara + Muestra humeda        | gr | 1112.95 | 1110.89 | 1109.85 |
| 3                    | Peso de la tara + Muestra seca          | gr | 1111.1  | 1109.1  | 1107.81 |
| 4                    | Peso del agua contenida (2-3)           | gr | 1.85    | 1.79    | 2.04    |
| 5                    | Peso de la muestra seca (3-1)           | gr | 998.25  | 997.02  | 998.02  |
| 6                    | Contenido de humedad (4/5)*100          | %  | 0.19    | 0.18    | 0.20    |
| 7                    | Promedio del contenido de humedad (4/5) | %  | 0.19    |         |         |

Services Construction and Geotechnical Engineering  
*Tomatan V. Inga Benifacio*  
JEFÉ DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

Services Construction and Geotechnical Engineering  
*Ing. Adolfo E. Camayo Ginche*  
Gerente de Geotécnica  
REG. CIP. N° 153550



PROYECTO TESIS: "INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE SILICIO PROVENIENTE DE LA COLA DE CABALLO PARA AUMENTAR LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO"

TESISTA Edson Rodrigo Garcia Cahuana

UBICACIÓN Pilcomayo - Huancayo

CANTERA Pilcomayo - Huancayo

PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO (ASTM C29/ NTP. 400.017)

PESO UNITARIO SUELTO

|   |                                 |       | M1      | M2      | M3      |
|---|---------------------------------|-------|---------|---------|---------|
| 1 | Peso de la muestra + Recipiente | gr    | 15240   | 15230   | 15240   |
| 2 | Peso del recipiente             | gr    | 6390    | 6390    | 6390    |
| 3 | Peso de la muestra (1-2)        | gr    | 8850    | 8840    | 8850    |
| 4 | Volumen del recipiente          | m3    | 0.0056  | 0.0056  | 0.0056  |
| 5 | P.U.S (3/4)/1000                | kg/m3 | 1580.36 | 1578.57 | 1580.36 |
| 6 | Promedio P.U.S Seco             | kg/m3 | 1579.76 |         |         |

PESO UNITARIO COMPACTADO

|   |                                 |       | M1      | M2      | M3      |
|---|---------------------------------|-------|---------|---------|---------|
| 1 | Peso de la muestra + Recipiente | gr    | 16290   | 16290   | 16300   |
| 2 | Peso del recipiente             | gr    | 6390    | 6390    | 6390    |
| 3 | Peso de la muestra (1-2)        | gr    | 9900    | 9900    | 9910    |
| 4 | Volumen del recipiente          | m3    | 0.0056  | 0.0056  | 0.0056  |
| 5 | P.U.C                           | kg/m3 | 1767.86 | 1767.86 | 1769.64 |
| 6 | Promedio P.U.C Compactado       | kg/m3 | 1768.45 |         |         |

CONTENIDO DE HUMEDAD

|   |   | N° | M1      | M2      | M3      |
|---|---|----|---------|---------|---------|
|   |   |    | T-9     | T-12    | T-3     |
| 1 | Peso de la tara                         | gr | 112.08  | 109.97  | 107.06  |
| 2 | Peso de la tara + Muestra humeda        | gr | 1114.76 | 1116.87 | 1119.78 |
| 3 | Peso de la tara + Muestra seca          | gr | 1103.18 | 1105.29 | 1108.1  |
| 4 | Peso del agua contenida (2-3)           | gr | 11.58   | 11.58   | 11.68   |
| 5 | Peso de la muestra seca (3-1)           | gr | 991.1   | 995.32  | 1001.04 |
| 6 | Contenido de humedad (4/5)*100          | %  | 1.17    | 1.16    | 1.17    |
| 7 | Promedio del contenido de humedad (4/5) | %  | 1.17    |         |         |

Services Construction and Geotechnical Engineering

Yonatan V. Inga Bonifacio  
JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE  
SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

Services Construction and Geotechnical Engineering

Ing. Adolfo E. Camayo Ginche  
Gerente de Geotecnia  
REG. DIP. N° 193550



PROYECTO TESIS: "INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE SILICIO PROVENIENTE DE LA COLA DE CABALLO PARA AUMENTAR LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO"

TESISTA Edson Rodrigo Garcia Cahuana

UBICACIÓN El Tambo - Huancayo

CANTERA Matahuasi - Concepcion / Pilcomayo - Huancayo

ASENTAMIENTO (ASTM C143/ NTP. 339.035) Y ASTM C33

| DESCRIPCION             | f'c = 210 kg/cm2     |                      |                          |
|-------------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|
|                         | ASENTAMIENTO (pulg.) | VALOR PORCENTUAL (%) | VARIACION PORCENTUAL (%) |
| Concreto patron         | 4.0                  | 100.00               | 0.00                     |
| Concreto experimental 1 | 4.0                  | 100.00               | 0.00                     |
| Concreto experimental 2 | 4.0                  | 100.00               | 0.00                     |
| Concreto experimental 3 | 4.1                  | 97.56                | -2.44                    |
| Concreto experimental 4 | 4.1                  | 97.56                | -2.44                    |
| Concreto experimental 5 | 4.1                  | 97.56                | -2.44                    |

Servicios Construction and Geotechnical Engineering  
*Yonatan V. Inga Benifacio*  
JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

Servicios Construction and Geotechnical Engineering  
*Ing. Adolfo E. Camayo Ginche*  
Gerente de Geotecnia  
REG. CIP N° 153550



DISEÑO DE MEZCLA  $f'c = 210 \text{ Kg/m}^3$  (METODO COMITÉ 211 -ACI)  
CONCRETO PATRON

PROYECTO TESIS: "INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE SILICIO PROVENIENTE DE LA COLA DE CABALLO PARA AUMENTAR LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO"

TESISTA Edson Rodrigo Garcia Cahuana  
CANTERA Matahuasi - Concepcion / Pilcomayo - Huancayo

| Agregado grueso         |                           | Agregado Fino           |                           |
|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Tamaño max. nominal     | 3/4"                      | Peso seco compactado    | 1768.45 Kg/m <sup>3</sup> |
| Peso seco compactado    | 1547.02 Kg/m <sup>3</sup> | Peso seco suelto        | 1579.76 Kg/m <sup>3</sup> |
| Peso seco suelto        | 1362.50 Kg/m <sup>3</sup> | Peso específico de masa | 2.87                      |
| Peso específico de masa | 2.63                      | Absorción               | 1.27%                     |
| Absorción               | 1.01%                     | Contenido de humedad    | 1.17%                     |
| Contenido de humedad    | 0.19%                     | Modulo de fineza        | 3.1                       |

| Cemento         |      |
|-----------------|------|
| Peso específico | 3.15 |

Calculo de la resistencia a la compresión promedio

| $f'c$       | $f'cr$     |
|-------------|------------|
| menor a 210 | $f'c + 70$ |
| 210 a 350   | $f'c + 84$ |
| sobre 350   | $f'c + 98$ |

Selección de asentamiento  
Asentamiento

$f'c$  210.00 Kg/cm<sup>2</sup>  
 $f'cr$   $f'c + 84$  294.00 Kg/cm<sup>2</sup>

Plastica 3" a 4"

Volumen unitario de agua  
Volumen de acuerdo a la tabla

Vol. Unit. Agua 205 L/m<sup>3</sup>

Contenido de aire  
Contenido de aire de acuerdo a la tabla

Cont. Aire 2.0%

Relacion agua cemento por resistencia  
Relacion agua - cemento por resistencia según tabla

Para  $f'cr$  294 Kg/cm<sup>2</sup>  
a/c 0.56

Factor cemento

Factor cemento  $\frac{366.07 \text{ Kg/m}^3}{42.5 \text{ kg}}$  8.61 Bols/m<sup>3</sup>

Services Construction and Geotechnical Engineering  
*Yonatan V. Angas Obregón*  
Yonatan V. Angas Obregón  
JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

Services Construction and Geotechnical Engineering  
*Ing. Adolfo E. Camayo Ginche*  
Ing. Adolfo E. Camayo Ginche  
Gerente de Geotecnia  
REG. CIP N° 153550



**Contenido agregado grueso**

|   |                           |
|---|---------------------------|
| Tamaño máximo nominal del agregado grueso | 3/4"                      |
| Modulo de fineza del agregado fino        | 3.1                       |
| Peso seco compactado                      | 1547.02 Kg/m <sup>3</sup> |
| b/bo                                      | 0.60 m <sup>3</sup>       |
| Peso agreg. Grueso                        | 928.21 Kg/m <sup>3</sup>  |

**Volumenes absolutos**

|                 |                            |
|-----------------|----------------------------|
| Cemento         | 0.116 m <sup>3</sup>       |
| Agua            | 0.205 m <sup>3</sup>       |
| Aire            | 0.020 m <sup>3</sup>       |
| Agregado grueso | 0.353 m <sup>3</sup>       |
| <b>Total</b>    | <b>0.694 m<sup>3</sup></b> |

**Contenido de agregado fino**

|                                   |                          |
|-----------------------------------|--------------------------|
| Volumen absoluto de agregado fino | 0.306 m <sup>3</sup>     |
| Peso del agregado fino seco       | 878.22 Kg/m <sup>3</sup> |

**Valores de diseño en estado seco**

|                      |                           |
|----------------------|---------------------------|
| Cemento              | 366.07 Kg/ m <sup>3</sup> |
| Agua                 | 205 L/m <sup>3</sup>      |
| Agregado Fino seco   | 878.22 Kg/m <sup>3</sup>  |
| Agregado Grueso seco | 928.21 Kg/m <sup>3</sup>  |

**Correccion por humedad del agregado**

|                          |                 |                                  |
|--------------------------|-----------------|----------------------------------|
| Peso humedo del:         | Agregado Fino   | 888.49 Kg/m <sup>3</sup>         |
|                          | Agregado Grueso | 929.97 Kg/m <sup>3</sup>         |
| Humedad superficial del: | Agregado Fino   | 1.17%                            |
|                          | Agregado Grueso | 0.19%                            |
| Aporte de humedad del:   | Agregado Fino   | (-) 0.888 L/m <sup>3</sup>       |
|                          | Agregado Grueso | (-) 7.626 L/m <sup>3</sup>       |
|                          | <b>Total</b>    | <b>(-) 8.514 L/m<sup>3</sup></b> |
|                          | Agua efectiva   | 213.5 L/m <sup>3</sup>           |

**Cantidad de materiales corregidos por humedad por m<sup>3</sup>**

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| Cemento                | 366.07 Kg |
| Agua                   | 213.5 Lt  |
| Agregado fino humedo   | 888.49 Kg |
| Agregado grueso humedo | 929.97 Kg |

**Proporcionamiento**

|   |      |      |      |
|---|------|------|------|
| C | A.F  | A.G  | Agua |
| 1 | 2.43 | 2.54 | 24.8 |

Services Construction and Geotechnical Engineering  
*Yonatan V. Inga Benifacio*  
Yonatan V. Inga Benifacio  
JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

Services Construction and Geotechnical Engineering  
*Ing. Adolfo E. Camayo Ginche*  
Ing. Adolfo E. Camayo Ginche  
Gerente de Geotécnica  
REG. CIP N° 153550



DISEÑO DE MEZCLA  $f'_c = 210 \text{ Kg/m}^3$  (METODO COMITÉ 211 -ACI)  
CONCRETO EXPERIMENTAL 1 - (ADICION DE 0.5 % DE  $\text{SiO}_2$ )

PROYECTO TESIS: "INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE SILICIO PROVENIENTE DE LA COLA DE CABALLO PARA AUMENTAR LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO"

TESISTA Edson Rodrigo Garcia Cahuana  
CANTERA Matahuasi - Concepcion / Pilcomayo - Huancayo

| Agregado grueso         |                           | Agregado Fino           |                           |
|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Tamaño max. nominal     | 3/4"                      | Peso seco compactado    | 1768.45 Kg/m <sup>3</sup> |
| Peso seco compactado    | 1547.02 Kg/m <sup>3</sup> | Peso seco suelto        | 1579.76 Kg/m <sup>3</sup> |
| Peso seco suelto        | 1362.50 Kg/m <sup>3</sup> | Peso específico de masa | 2.87                      |
| Peso específico de masa | 2.63                      | Absorción               | 1.27%                     |
| Absorción               | 1.01%                     | Contenido de humedad    | 1.17%                     |
| Contenido de humedad    | 0.19%                     | Modulo de fineza        | 3.1                       |

| Cemento         |      |
|-----------------|------|
| Peso específico | 3.15 |

Calculo de la resistencia a la compresión promedio

| $f'_c$      | $f'_{cr}$   |
|-------------|-------------|
| menor a 210 | $f'_c + 70$ |
| 210 a 350   | $f'_c + 84$ |
| sobre 350   | $f'_c + 98$ |

$f'_c$  210.00 Kg/cm<sup>2</sup>  
 $f'_{cr}$   $f'_c + 84$  294.00 Kg/cm<sup>2</sup>

Selección de asentamiento  
Asentamiento

Plastica 3" a 4"

Volumen unitario de agua

Volumen de acuerdo a la tabla

Vol. Unit. Agua 205 L/m<sup>3</sup>

Contenido de aire

Contenido de aire de acuerdo a la tabla

Cont. Aire 2.0%

Relacion agua cemento por resistencia

Relacion agua - cemento por resistencia según tabla

Para  $f'_{cr}$  294 Kg/cm<sup>2</sup>  
a/c 0.56

Factor cemento

Factor cemento  $\frac{364.24 \text{ Kg/m}^3}{42.5 \text{ kg}}$  8.57 Bols/m<sup>3</sup>

Services Construction and Geotechnical Engineering  
Edson R. Garcia Cahuana  
JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASPHALTO

Services Construction and Geotechnical Engineering  
Ing. Adolfo E. Camayo Ginche  
Gerente de Geotecnia  
REG. CIP. N° 153950





**Contenido agregado grueso**

|   |                           |
|---|---------------------------|
| Tamaño máximo nominal del agregado grueso | 3/4"                      |
| Modulo de fineza del agregado fino        | 3.1                       |
| Peso seco compactado                      | 1547.02 Kg/m <sup>3</sup> |
| b/bo                                      | 0.60 m <sup>3</sup>       |
| Peso agreg. Grueso                        | 928.21 Kg/m <sup>3</sup>  |

**Volumenes absolutos**

|                                |                            |
|--------------------------------|----------------------------|
| Cemento                        | 0.116 m <sup>3</sup>       |
| Aditivo SiO <sub>2</sub> 0.5 % | 0.0004 m <sup>3</sup>      |
| Agua                           | 0.205 m <sup>3</sup>       |
| Aire                           | 0.020 m <sup>3</sup>       |
| Agregado grueso                | 0.353 m <sup>3</sup>       |
| <b>Total</b>                   | <b>0.694 m<sup>3</sup></b> |

**Contenido de agregado fino**

|                                   |                          |
|-----------------------------------|--------------------------|
| Volumen absoluto de agregado fino | 0.306 m <sup>3</sup>     |
| Peso del agregado fino seco       | 878.22 Kg/m <sup>3</sup> |

**Valores de diseño en estado seco**

|                                |                           |
|--------------------------------|---------------------------|
| Cemento                        | 364.24 Kg/ m <sup>3</sup> |
| Aditivo SiO <sub>2</sub> 0.5 % | 1.83 kg/m <sup>3</sup>    |
| Agua                           | 205 L/m <sup>3</sup>      |
| Agregado Fino seco             | 878.22 Kg/m <sup>3</sup>  |
| Agregado Grueso seco           | 928.21 Kg/m <sup>3</sup>  |

**Correccion por humedad del agregado**

|                          |                 |                                  |
|--------------------------|-----------------|----------------------------------|
| Peso humedo del:         | Agregado Fino   | 888.49 Kg/m <sup>3</sup>         |
|                          | Agregado Grueso | 929.97 Kg/m <sup>3</sup>         |
| Humedad superficial del: | Agregado Fino   | 1.17%                            |
|                          | Agregado Grueso | 0.19%                            |
| Aporte de humedad del:   | Agregado Fino   | (-) 0.888 L/m <sup>3</sup>       |
|                          | Agregado Grueso | (-) 7.626 L/m <sup>3</sup>       |
|                          | <b>Total</b>    | <b>(-) 8.514 L/m<sup>3</sup></b> |
|                          | Agua efectiva   | 213.5 L/m <sup>3</sup>           |

**Cantidad de materiales corregidos por humedad por m<sup>3</sup>**

|                                |           |
|--------------------------------|-----------|
| Cemento                        | 364.24 Kg |
| Aditivo SiO <sub>2</sub> 0.5 % | 1.83 kg   |
| Agua                           | 213.5 Lt  |
| Agregado fino humedo           | 888.49 Kg |
| Agregado grueso humedo         | 929.97 Kg |

**Proporcionamiento**

|   |      |      |      |
|---|------|------|------|
| C | A.F  | A.G  | Agua |
| 1 | 2.43 | 2.54 | 24.8 |

Services Construction and Geotechnical Engineering  
*Yonatan V. Inga Benjafón*  
Yonatan V. Inga Benjafón  
JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE  
SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

Services Construction and Geotechnical Engineering  
*Ing. Adolfo E. Camayo Ginche*  
Ing. Adolfo E. Camayo Ginche  
Gerente de Geotecnia  
REG. CIP N° 153550

DISEÑO DE MEZCLA  $f'_c = 210 \text{ Kg/m}^3$  (METODO COMITÉ 211 -ACI)  
 CONCRETO EXPERIMENTAL 2 - (ADICION DE 1.0 % DE  $\text{SiO}_2$ )

PROYECTO TESIS: "INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE SILICIO PROVENIENTE DE LA COLA DE CABALLO PARA AUMENTAR LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO"

TESISTA Edson Rodrigo Garcia Cahuana

CANTERA Matahuasi - Concepcion / Pilcomayo - Huancayo

| Agregado grueso         |                           | Agregado Fino           |                           |
|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Tamaño max. nominal     | 3/4"                      | Peso seco compactado    | 1768.45 Kg/m <sup>3</sup> |
| Peso seco compactado    | 1547.02 Kg/m <sup>3</sup> | Peso seco suelto        | 1579.76 Kg/m <sup>3</sup> |
| Peso seco suelto        | 1362.50 Kg/m <sup>3</sup> | Peso especifico de masa | 2.87                      |
| Peso especifico de masa | 2.63                      | Absorción               | 1.27%                     |
| Absorción               | 1.01%                     | Contenido de humedad    | 1.17%                     |
| Contenido de humedad    | 0.19%                     | Modulo de fineza        | 3.1                       |

| Cemento         |      |
|-----------------|------|
| Peso especifico | 3.15 |

Calculo de la resistencia a la compresión promedio

| $f'_c$      | $f'_{cr}$   |
|-------------|-------------|
| menor a 210 | $f'_c + 70$ |
| 210 a 350   | $f'_c + 84$ |
| sobre 350   | $f'_c + 98$ |

$f'_c$  210.00 Kg/cm<sup>2</sup>

$f'_{cr}$   $f'_c + 84$  294.00 Kg/cm<sup>2</sup>

Selección de asentamiento

Asentamiento

Plastica 3" a 4"

Volumen unitario de agua

Volumen de acuerdo a la tabla

Vol. Unit. Agua 205 L/m<sup>3</sup>

Contenido de aire

Contenido de aire de acuerdo a la tabla

Cont. Aire 2.0%

Relacion agua cemento por resistencia

Relacion agua - cemento por resistencia según tabla

Para  $f'_{cr}$  294 Kg/cm<sup>2</sup>

a/c 0.57

Factor cemento

Factor cemento  $\frac{362.41 \text{ Kg/m}^3}{42.5 \text{ kg}}$  8.52 Bols/m<sup>3</sup>

Services Construction and Geotechnical Engineering

Yonatan V. Inga Benjafio  
 JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

Services Construction and Geotechnical Engineering

Ing. Adolfo E. Camayo Ginche  
 Gerente de Geotecnia  
 REG. CIP. N° 153550



**Contenido agregado grueso**

|   |               |
|---|---------------|
| Tamaño maximo nominal del agregado grueso | 3/4"          |
| Modulo de fineza del agregado fino        | 3.1           |
| Peso seco compactado                      | 1547.02 Kg/m3 |
| b/bo                                      | 0.60          |
| Peso agreg. Grueso                        | 928.21 Kg/m3  |

**Volumenes absolutos**

|                      |                 |
|----------------------|-----------------|
| Cemento              | 0.115 m3        |
| Aditivo SiO2 (1.0 %) | 0.001 m3        |
| Agua                 | 0.205 m3        |
| Aire                 | 0.020 m3        |
| Agregado grueso      | 0.353 m3        |
| <b>Total</b>         | <b>0.694 m3</b> |

**Contenido de agregado fino**

|                                   |              |
|-----------------------------------|--------------|
| Volumen absoluto de agregado fino | 0.306 m3     |
| Peso del agregado fino seco       | 878.22 Kg/m3 |

**Valores de diseño en estado seco**

|                      |               |
|----------------------|---------------|
| Cemento              | 362.41 Kg/ m3 |
| Aditivo SiO2 (1.0 %) | 3.66 kg/m3    |
| Agua                 | 205 L/m3      |
| Agregado Fino seco   | 878.22 Kg/m3  |
| Agregado Grueso seco | 928.21 Kg/m3  |

**Correccion por humedad del agregado**

|                          |                 |                       |
|--------------------------|-----------------|-----------------------|
| Peso humedo del:         | Agregado Fino   | 888.49 Kg/m3          |
|                          | Agregado Grueso | 929.97 Kg/m3          |
| Humedad superficial del: | Agregado Fino   | 1.17%                 |
|                          | Agregado Grueso | 0.19%                 |
| Aporte de humedad del:   | Agregado Fino   | (-) 0.888 L/m3        |
|                          | Agregado Grueso | (-) 7.626 L/m3        |
|                          | <b>Total</b>    | <b>(-) 8.514 L/m3</b> |
|                          | Agua efectiva   | 213.5 L/m3            |

**Cantidad de materiales corregidos por humedad por m3**

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| Cemento                | 362.41 Kg |
| Aditivo SiO2 (1.0 %)   | 3.66 kg   |
| Agua                   | 213.5 Lt  |
| Agregado fino humedo   | 888.49 Kg |
| Agregado grueso humedo | 929.97 Kg |

**Proporcionamiento**

|   |      |      |      |
|---|------|------|------|
| C | A.F  | A.G  | Agua |
| 1 | 2.43 | 2.54 | 24.8 |

Servicios Construction and Geotechnical Engineering  
*Yonatan V. Inga Obregón*  
Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos Concreto y Asfalto

Servicios Construction and Geotechnical Engineering  
*Ing. Adolfo E. Camayo Ginche*  
Gerente de Geotecnia  
REG. CIP N° 153550



## SERVICES CONSTRUCTION AND GEOTECHNICAL ENGINEERING E.I.R.L.

DISEÑO DE MEZCLA  $f'c = 210 \text{ Kg/m}^3$  (METODO COMITÉ 211 -ACI)  
CONCRETO EXPERIMENTAL 3 - (ADICION DE 1.5 % DE  $\text{SiO}_2$ )

PROYECTO TESIS: "INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE SILICIO PROVENIENTE DE LA COLA DE CABALLO PARA AUMENTAR LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO"

TESISTA Edson Rodrigo Garcia Cahuana  
CANTERA Matahuasi - Concepcion / Pilcomayo - Huancayo

| Agregado grueso         |                           | Agregado Fino           |                           |
|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Tamaño max. nominal     | 3/4"                      | Peso seco compactado    | 1768.45 Kg/m <sup>3</sup> |
| Peso seco compactado    | 1547.02 Kg/m <sup>3</sup> | Peso seco suelto        | 1579.76 Kg/m <sup>3</sup> |
| Peso seco suelto        | 1362.50 Kg/m <sup>3</sup> | Peso específico de masa | 2.87                      |
| Peso específico de masa | 2.63                      | Absorción               | 1.27%                     |
| Absorción               | 1.01%                     | Contenido de humedad    | 1.17%                     |
| Contenido de humedad    | 0.19%                     | Modulo de fineza        | 3.1                       |

| Cemento         |      |
|-----------------|------|
| Peso específico | 3.15 |

### Calculo de la resistencia a la compresión promedio

| $f'c$       | $f'cr$     |
|-------------|------------|
| menor a 210 | $f'c + 70$ |
| 210 a 350   | $f'c + 84$ |
| sobre 350   | $f'c + 98$ |

$f'c$  210.00 Kg/cm<sup>2</sup>  
 $f'cr$   $f'c + 84$  294.00 Kg/cm<sup>2</sup>

### Selección de asentamiento

Asentamiento

Plastica 3" a 4"

### Volumen unitario de agua

Volumen de acuerdo a la tabla

Vol. Unit. Agua 205 L/m<sup>3</sup>

### Contenido de aire

Contenido de aire de acuerdo a la tabla

Cont. Aire 2.0%

### Relacion agua cemento por resistencia

Relacion agua - cemento por resistencia según tabla

Para  $f'cr$  294 Kg/cm<sup>2</sup>  
a/c 0.57

### Factor cemento

Factor cemento  $\frac{360.58 \text{ Kg/m}^3}{42.5 \text{ kg}}$  8.48 Bols/m<sup>3</sup>

Services Construction and Geotechnical Engineering  
*Yohanan P. Inga Benavente*  
JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

Services Construction and Geotechnical Engineering  
*Ing. Adolfo E. Camayo Ginche*  
Gerente de Geotecnia  
REG. CIP N° 153550



**Contenido agregado grueso**

|   |               |
|---|---------------|
| Tamaño maximo nominal del agregado grueso | 3/4"          |
| Modulo de fineza del agregado fino        | 3.1           |
| Peso seco compactado                      | 1547.02 Kg/m3 |
| b/bo                                      | 0.60 m3       |
| Peso agreg. Grueso                        | 928.21 Kg/m3  |

**Volumenes absolutos**

|                      |           |
|----------------------|-----------|
| Cemento              | 0.1145 m3 |
| Aditivo SiO2 (1.5 %) | 0.0015 m3 |
| Agua                 | 0.205 m3  |
| Aire                 | 0.020 m3  |
| Agregado grueso      | 0.353 m3  |
| Total                | 0.694 m3  |

**Contenido de agregado fino**

|                                   |              |
|-----------------------------------|--------------|
| Volumen absoluto de agregado fino | 0.306 m3     |
| Peso del agregado fino seco       | 878.22 Kg/m3 |

**Valores de diseño en estado seco**

|                      |               |
|----------------------|---------------|
| Cemento              | 360.58 Kg/ m3 |
| Aditivo SiO2 (1.5 %) | 5.49 kg/m3    |
| Agua                 | 205 L/m3      |
| Agregado Fino seco   | 878.22 Kg/m3  |
| Agregado Grueso seco | 928.21 Kg/m3  |

**Correccion por humedad del agregado**

|                          |                 |                |
|--------------------------|-----------------|----------------|
| Peso humedo del:         | Agregado Fino   | 888.49 Kg/m3   |
|                          | Agregado Grueso | 929.97 Kg/m3   |
| Humedad superficial del: | Agregado Fino   | 1.17%          |
|                          | Agregado Grueso | 0.19%          |
| Aporte de humedad del:   | Agregado Fino   | (-) 0.888 L/m3 |
|                          | Agregado Grueso | (-) 7.626 L/m3 |
|                          | Total           | (-) 8.514 L/m3 |
|                          | Agua efectiva   | 213.5 L/m3     |

**Cantidad de materiales corregidos por humedad por m3**

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| Cemento                | 360.58 Kg |
| Aditivo SiO2 (1.5 %)   | 5.49 kg   |
| Agua                   | 213.5 Lt  |
| Agregado fino humedo   | 888.49 Kg |
| Agregado grueso humedo | 929.97 Kg |

**Proporcionamiento**

|   |      |      |      |
|---|------|------|------|
| C | A.F  | A.G  | Agua |
| 1 | 2.43 | 2.54 | 24.8 |

Services Construction and Geotechnical Engineering  
*Yonatan P. Inga Benjacio*  
Yonatan P. Inga Benjacio  
JEFE DE LABORATORIO DE MECANICA DE  
SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

Services Construction and Geotechnical Engineering  
*Ing. Adolfo E. Camayo Ginche*  
Gerente de Geotecnia  
REG. CIP N° 153550

DISEÑO DE MEZCLA  $f'c = 210 \text{ Kg/m}^3$  (METODO COMITÉ 211 -ACI)  
 CONCRETO EXPERIMENTAL 4 - (ADICION DE 2.0 % DE  $\text{SiO}_2$ )

PROYECTO TESIS: "INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE SILICIO PROVENIENTE DE LA COLA DE CABALLO PARA AUMENTAR LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO

TESISTA Edson Rodrigo Garcia Cahuana  
 CANTERA Matahuasi - Concepcion / Pilcomayo - Huancayo

| Agregado grueso         |                           | Agregado Fino           |                           |
|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Tamaño max. nominal     | 3/4"                      | Peso seco compactado    | 1768.45 Kg/m <sup>3</sup> |
| Peso seco compactado    | 1547.02 Kg/m <sup>3</sup> | Peso seco suelto        | 1579.76 Kg/m <sup>3</sup> |
| Peso seco suelto        | 1362.50 Kg/m <sup>3</sup> | Peso específico de masa | 2.87                      |
| Peso específico de masa | 2.63                      | Absorción               | 1.27%                     |
| Absorción               | 1.01%                     | Contenido de humedad    | 1.17%                     |
| Contenido de humedad    | 0.19%                     | Modulo de fineza        | 3.1                       |

| Cemento         |      |
|-----------------|------|
| Peso específico | 3.15 |

**Calculo de la resistencia a la compresión promedio**

| $f'c$       | $f'cr$     |
|-------------|------------|
| menor a 210 | $f'c + 70$ |
| 210 a 350   | $f'c + 84$ |
| sobre 350   | $f'c + 98$ |

$f'c$  210.00 Kg/cm<sup>2</sup>  
 $f'cr$   $f'c + 84$  294.00 Kg/cm<sup>2</sup>

**Selección de asentamiento**  
 Asentamiento

Plastica 3" a 4"

**Volumen unitario de agua**

Volumen de acuerdo a la tabla

Vol. Unit. Agua 205 L/m<sup>3</sup>

**Contenido de aire**

Contenido de aire de acuerdo a la tabla

Cont. Aire 2.0%

**Relacion agua cemento por resistencia**

Relacion agua - cemento por resistencia según tabla

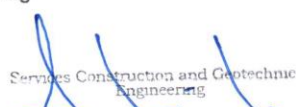
Para  $f'cr$  294 Kg/cm<sup>2</sup>  
 a/c 0.57

**Factor cemento**

Factor cemento

$\frac{358.75 \text{ Kg/m}^3}{42.5 \text{ kg}}$  8.44 Bols/m<sup>3</sup>

Services Construction and Geotechnical Engineering  
  
**Yonatan V. Inga Bonifacio**  
 JEFE DE LABORATORIO DE MECANICA DE  
 SUELOS CONCRETO Y ASPHALTO

Services Construction and Geotechnical Engineering  
  
**Ing. Adolfo E. Camayo Ginche**  
 Gerente de Geotecnia  
 REG. CIP N° 153550

**Contenido agregado grueso**

|   |                           |
|---|---------------------------|
| Tamaño máximo nominal del agregado grueso | 3/4"                      |
| Modulo de fineza del agregado fino        | 3.1                       |
| Peso seco compactado                      | 1547.02 Kg/m <sup>3</sup> |
| b/bo                                      | 0.60 m <sup>3</sup>       |
| Peso agreg. Grueso                        | 928.21 Kg/m <sup>3</sup>  |

**Volumenes absolutos**

|                                  |                            |
|----------------------------------|----------------------------|
| Cemento                          | 0.114 m <sup>3</sup>       |
| Aditivo SiO <sub>2</sub> (2.0 %) | 0.002 m <sup>3</sup>       |
| Agua                             | 0.205 m <sup>3</sup>       |
| Aire                             | 0.020 m <sup>3</sup>       |
| <u>Agregado grueso</u>           | <u>0.353 m<sup>3</sup></u> |
| Total                            | 0.694 m <sup>3</sup>       |

**Contenido de agregado fino**

|                                   |                          |
|-----------------------------------|--------------------------|
| Volumen absoluto de agregado fino | 0.306 m <sup>3</sup>     |
| Peso del agregado fino seco       | 878.22 Kg/m <sup>3</sup> |

**Valores de diseño en estado seco**

|                                  |                           |
|----------------------------------|---------------------------|
| Cemento                          | 358.75 Kg/ m <sup>3</sup> |
| Aditivo SiO <sub>2</sub> (2.0 %) | 7.32 kg/m <sup>3</sup>    |
| Agua                             | 205 L/m <sup>3</sup>      |
| Agregado Fino seco               | 878.22 Kg/m <sup>3</sup>  |
| Agregado Grueso seco             | 928.21 Kg/m <sup>3</sup>  |

**Correccion por humedad del agregado**


|                          |                 |                                  |
|--------------------------|-----------------|----------------------------------|
| Peso humedo del:         | Agregado Fino   | 888.49 Kg/m <sup>3</sup>         |
|                          | Agregado Grueso | 929.97 Kg/m <sup>3</sup>         |
| Humedad superficial del: | Agregado Fino   | 1.17%                            |
|                          | Agregado Grueso | 0.19%                            |
| Aporte de humedad del:   | Agregado Fino   | (-) 0.888 L/m <sup>3</sup>       |
|                          | Agregado Grueso | (-) 7.626 L/m <sup>3</sup>       |
|                          | <u>Total</u>    | <u>(-) 8.514 L/m<sup>3</sup></u> |
|                          | Agua efectiva   | 213.5 L/m <sup>3</sup>           |

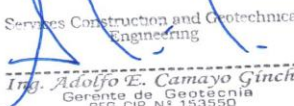
**Cantidad de materiales corregidos por humedad por m<sup>3</sup>**

|                                  |           |
|----------------------------------|-----------|
| Cemento                          | 358.75 Kg |
| Aditivo SiO <sub>2</sub> (2.0 %) | 7.32 kg   |
| Agua                             | 213.5 Lt  |
| Agregado fino humedo             | 888.49 Kg |
| Agregado grueso humedo           | 929.97 Kg |

**Proporcionamiento**

|   |      |      |      |
|---|------|------|------|
| C | A.F  | A.G  | Agua |
| 1 | 2.43 | 2.54 | 24.8 |

Services Construction and Geotechnical Engineering  
  
**Yanatan V. Inga Bonifacio**  
 JEFE DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

Services Construction and Geotechnical Engineering  
  
**Ing. Adolfo E. Camayo Ginche**  
 Gerente de Geotecnia  
 REG. DIP. N° 153550

DISEÑO DE MEZCLA  $f'c = 210 \text{ Kg/m}^3$  (METODO COMITÉ 211 -ACI) CONCRETO  
 EXPERIMENTAL 5 - (ADICION DE 5.0 % DE  $\text{SiO}_2$ )

PROYECTO TESIS: "INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE SILICIO PROVENIENTE DE LA COLA DE CABALLO PARA AUMENTAR LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO"

TESISTA Edson Rodrigo Garcia Cahuana  
 CANTERA Matahuasi - Concepcion / Pilcomayo - Huancayo

| Agregado grueso         |                           | Agregado Fino           |                           |
|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Tamaño max. nominal     | 3/4"                      | Peso seco compactado    | 1768.45 Kg/m <sup>3</sup> |
| Peso seco compactado    | 1547.02 Kg/m <sup>3</sup> | Peso seco suelto        | 1579.76 Kg/m <sup>3</sup> |
| Peso seco suelto        | 1362.50 Kg/m <sup>3</sup> | Peso especifico de masa | 2.87                      |
| Peso especifico de masa | 2.63                      | Absorcion               | 1.27%                     |
| Absorcion               | 1.01%                     | Contenido de humedad    | 1.17%                     |
| Contenido de humedad    | 0.19%                     | Modulo de fineza        | 3.1                       |

| Cemento         |      |
|-----------------|------|
| Peso especifico | 3.15 |

Calculo de la resistencia a la compresión promedio

| $f'c$       | $f'cr$     |
|-------------|------------|
| menor a 210 | $f'c + 70$ |
| 210 a 350   | $f'c + 84$ |
| sobre 350   | $f'c + 98$ |

$f'c$  210.00 Kg/cm<sup>2</sup>  
 $f'cr$   $f'c + 84$  294.00 Kg/cm<sup>2</sup>

Selección de asentamiento

Asentamiento

Plastica 3" a 4"

Volumen unitario de agua

Volumen de acuerdo a la tabla

Vol. Unit. Agua 205 L/m<sup>3</sup>

Contenido de aire

Contenido de aire de acuerdo a la tabla

Cont. Aire 2.0%

Relacion agua cemento por resistencia

Relacion agua - cemento por resistencia según tabla

Para  $f'cr$  294 Kg/cm<sup>2</sup>  
 a/c 0.57

Factor cemento

Factor cemento  $\frac{347.77 \text{ Kg/m}^3}{42.5 \text{ kg}}$  8.18 Bols/m<sup>3</sup>

Services Construction and Geotechnical Engineering

Yonatan V. Inga Benifacio  
 JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE  
 SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

Services Construction and Geotechnical Engineering

Ing. Adolfo E. Camayo Ginche  
 Gerente de Geotecnia  
 REG. CIP N° 153550





**Contenido agregado grueso**

|   |               |
|---|---------------|
| Tamaño maximo nominal del agregado grueso | 3/4"          |
| Modulo de fineza del agregado fino        | 3.1           |
| Peso seco compactado                      | 1547.02 Kg/m3 |
| b/bo                                      | 0.60 m3       |
| Peso agreg. Grueso                        | 928.21 Kg/m3  |

**Volumenes absolutos**

|                      |          |
|----------------------|----------|
| Cemento              | 0.110 m3 |
| Aditivo SiO2 (5.0 %) | 0.006 m3 |
| Agua                 | 0.205 m3 |
| Aire                 | 0.020 m3 |
| Agregado grueso      | 0.353 m3 |
| Total                | 0.694 m3 |

**Contenido de agregado fino**

|                                   |              |
|-----------------------------------|--------------|
| Volumen absoluto de agregado fino | 0.306 m3     |
| Peso del agregado fino seco       | 878.22 Kg/m3 |

**Valores de diseño en estado seco**

|                      |               |
|----------------------|---------------|
| Cemento              | 347.77 Kg/ m3 |
| Aditivo SiO2 (2.0 %) | 18.30 kg/m3   |
| Agua                 | 205 L/m3      |
| Agregado Fino seco   | 878.22 Kg/m3  |
| Agregado Grueso seco | 928.21 Kg/m3  |

**Correccion por humedad del agregado**

|                          |                 |                |
|--------------------------|-----------------|----------------|
| Peso humedo del:         | Agregado Fino   | 888.49 Kg/m3   |
|                          | Agregado Grueso | 929.97 Kg/m3   |
| Humedad superficial del: | Agregado Fino   | 1.17%          |
|                          | Agregado Grueso | 0.19%          |
| Aporte de humedad del:   | Agregado Fino   | (-) 0.888 L/m3 |
|                          | Agregado Grueso | (-) 7.626 L/m3 |
|                          | Total           | (-) 8.514 L/m3 |
|                          | Agua efectiva   | 213.5 L/m3     |

**Cantidad de materiales corregidos por humedad por m3**

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| Cemento                | 347.77 Kg |
| Aditivo SiO2 (2.0 %)   | 18.30 kg  |
| Agua                   | 213.5 Lt  |
| Agregado fino humedo   | 888.49 Kg |
| Agregado grueso humedo | 929.97 Kg |

**Proporcionamiento**

|   |      |      |      |
|---|------|------|------|
| C | A.F  | A.G  | Agua |
| 1 | 2.43 | 2.54 | 24.8 |

Services Construction and Geotechnical Engineering

*Yotatan V. Inga Benjacio*  
Yotatan V. Inga Benjacio  
JEFE DE LABORATORIO DE MECANICA DE  
SUELOS CONCRETO Y ASPALTO

Services Construction and Geotechnical Engineering

*Ing. Adolfo E. Camayo Ginche*  
Ing. Adolfo E. Camayo Ginche  
Gerente de Geotecnia  
REG. CIP N° 153550



PROYECTO TESIS: "INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE SILICIO PROVENIENTE DE LA COLA DE CABALLO PARA AUMENTAR LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO"  
TESISTA Edson Rodrigo Garcia Cahuana  
UBICACIÓN Huancayo

| CONCRETO PATRON $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ |  |  |                  |                 |             |                         |                       |  |
|---|--|--|------------------|-----------------|-------------|-------------------------|-----------------------|--|
| MUESTRA                                     | DESCRIPCION                                | RESISTENCIA ESPECIFICADA (kg/cm <sup>2</sup> ) | FECHA DE VACEADO | FECHA DE ROTURA | EDAD (días) | AREA (cm <sup>2</sup> ) | CARGA DE RUPTURA (Kg) | RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm <sup>2</sup> ) |
| CP-1  | f'c=210 kg/cm <sup>2</sup> concreto patron | 210  | 10/07/2020       | 16/07/2020      | 7           | 78.56                   | 12288                 | 156  |
| CP-2  | f'c=210 kg/cm <sup>2</sup> concreto patron | 210  | 10/07/2020       | 16/07/2020      | 7           | 78.56                   | 12616                 | 160  |
| CP-3  | f'c=210 kg/cm <sup>2</sup> concreto patron | 210  | 10/07/2020       | 16/07/2020      | 7           | 80.11                   | 12458                 | 158  |
| CP-4  | f'c=210 kg/cm <sup>2</sup> concreto patron | 210  | 10/07/2020       | 23/07/2020      | 14          | 78.56                   | 16347                 | 208  |
| CP-5  | f'c=210 kg/cm <sup>2</sup> concreto patron | 210  | 10/07/2020       | 23/07/2020      | 14          | 80.11                   | 16260                 | 205  |
| CP-6  | f'c=210 kg/cm <sup>2</sup> concreto patron | 210  | 10/07/2020       | 23/07/2020      | 14          | 78.56                   | 16495                 | 210  |
| CP-7  | f'c=210 kg/cm <sup>2</sup> concreto patron | 210  | 10/07/2020       | 30/07/2020      | 21          | 81.70                   | 19743                 | 251  |
| CP-8  | f'c=210 kg/cm <sup>2</sup> concreto patron | 210  | 10/07/2020       | 30/07/2020      | 21          | 78.56                   | 19985                 | 254  |
| CP-9  | f'c=210 kg/cm <sup>2</sup> concreto patron | 210  | 10/07/2020       | 30/07/2020      | 21          | 78.56                   | 19675                 | 250  |
| CP-10                                       | f'c=210 kg/cm <sup>2</sup> concreto patron | 210  | 10/07/2020       | 6/08/2020       | 28          | 78.56                   | 22160                 | 282  |
| CP-11                                       | f'c=210 kg/cm <sup>2</sup> concreto patron | 210  | 10/07/2020       | 6/08/2020       | 28          | 80.11                   | 21930                 | 279  |
| CP-12                                       | f'c=210 kg/cm <sup>2</sup> concreto patron | 210  | 10/07/2020       | 6/08/2020       | 28          | 78.56                   | 22081                 | 281  |
| CP-13                                       | f'c=210 kg/cm <sup>2</sup> concreto patron | 210  | 10/07/2020       | 7/10/2020       | 90          | 78.56                   | 30125                 | 383  |
| CP-14                                       | f'c=210 kg/cm <sup>2</sup> concreto patron | 210  | 10/07/2020       | 7/10/2020       | 90          | 78.56                   | 30780                 | 391  |
| CP-15                                       | f'c=210 kg/cm <sup>2</sup> concreto patron | 210  | 10/07/2020       | 7/10/2020       | 90          | 78.56                   | 30706                 | 390  |

Services Construction and Geotechnical Engineering  
*Yonatan V. Inga Benjacio*  
Yonatan V. Inga Benjacio  
JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASPHALTO

Services Construction and Geotechnical Engineering  
*Ing. Adolfo E. Camayo Ginche*  
Ing. Adolfo E. Camayo Ginche  
Gerente de Geotecnia  
REG. DIP. N° 153550



PROYECTO TESIS: "INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE SILICIO PROVENIENTE DE LA COLA DE CABALLO PARA AUMENTAR LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO"  
TESISTA Edson Rodrigo Garcia Cahuana  
UBICACIÓN Huancayo

| CONCRETO EXPERIMENTAL 1 (CP + ADICION DE 0.5 % DE SiO2) |  |                                   |                  |                 |             |            |                       |                               |
|---|--|-----------------------------------|------------------|-----------------|-------------|------------|-----------------------|-------------------------------|
| MUESTRA   | DESCRIPCION                            | RESISTENCIA ESPECIFICADA (kg/cm2) | FECHA DE VACEADO | FECHA DE ROTURA | EDAD (días) | AREA (cm2) | CARGA DE RUPTURA (Kg) | RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm2) |
| CE-1 (0.5%) - 1   | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 0.5% SiO2 | 210                               | 11/07/2020       | 17/07/2020      | 7           | 78.56      | 14504                 | 184                           |
| CE-1 (0.5%) - 2   | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 0.5% SiO2 | 210                               | 11/07/2020       | 17/07/2020      | 7           | 78.56      | 14193                 | 180                           |
| CE-1 (0.5%) - 3   | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 0.5% SiO2 | 210                               | 11/07/2020       | 17/07/2020      | 7           | 80.11      | 14036                 | 178                           |
| CE-1 (0.5%) - 4   | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 0.5% SiO2 | 210                               | 11/07/2020       | 24/07/2020      | 14          | 78.56      | 18623                 | 237                           |
| CE-1 (0.5%) - 5   | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 0.5% SiO2 | 210                               | 11/07/2020       | 24/07/2020      | 14          | 80.11      | 18596                 | 236                           |
| CE-1 (0.5%) - 6   | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 0.5% SiO2 | 210                               | 11/07/2020       | 24/07/2020      | 14          | 80.11      | 18620                 | 237                           |
| CE-1 (0.5%) - 7   | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 0.5% SiO2 | 210                               | 11/07/2020       | 31/07/2020      | 21          | 78.56      | 20423                 | 260                           |
| CE-1 (0.5%) - 8   | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 0.5% SiO2 | 210                               | 11/07/2020       | 31/07/2020      | 21          | 78.56      | 20416                 | 259                           |
| CE-1 (0.5%) - 9   | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 0.5% SiO2 | 210                               | 11/07/2020       | 31/07/2020      | 21          | 80.11      | 20345                 | 258                           |
| CE-1 (0.5%) - 10  | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 0.5% SiO2 | 210                               | 11/07/2020       | 7/08/2020       | 28          | 80.11      | 22537                 | 286                           |
| CE-1 (0.5%) - 11  | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 0.5% SiO2 | 210                               | 11/07/2020       | 7/08/2020       | 28          | 78.56      | 22300                 | 283                           |
| CE-1 (0.5%) - 12  | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 0.5% SiO2 | 210                               | 11/07/2020       | 7/08/2020       | 28          | 78.56      | 22143                 | 281                           |
| CE-1 (0.5%) - 13  | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 0.5% SiO2 | 210                               | 11/07/2020       | 8/10/2020       | 90          | 78.56      | 32343                 | 411                           |
| CE-1 (0.5%) - 14  | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 0.5% SiO2 | 210                               | 11/07/2020       | 8/10/2020       | 90          | 80.11      | 33987                 | 432                           |
| CE-1 (0.5%) - 15  | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 0.5% SiO2 | 210                               | 11/07/2020       | 8/10/2020       | 90          | 78.56      | 32880                 | 418                           |

Services Construction and Geotechnical Engineering  
*Yonatan V. Inga Bonifacio*  
Yonatan V. Inga Bonifacio  
JEFE DE LABORATORIO DE MECANICA DE  
SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

Services Construction and Geotechnical Engineering  
*Ing. Adolfo E. Camayo Ginche*  
Gerente de Geotecnia  
REG. DIP. N° 153550



PROYECTO TESIS: "INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE SILICIO PROVENIENTE DE LA COLA DE CABALLO PARA AUMENTAR LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO"  
TESISTA Edson Rodrigo Garcia Cahuana  
UBICACIÓN Huancayo

CONCRETO EXPERIMENTAL 2 (CP + ADICION DE 1.0 % DE SiO2)

| MUESTRA          | DESCRIPCION                             | RESISTENCIA ESPECIFICADA (kg/cm2) | FECHA DE VACEADO | FECHA DE ROTURA | EDAD (días) | AREA (cm2) | CARGA DE RUPTURA (Kg) | RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm2) |
|------------------|---|-----------------------------------|------------------|-----------------|-------------|------------|-----------------------|-------------------------------|
| CE-2 (1.0%) - 1  | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 1.0 % SiO2 | 210                               | 13/07/2020       | 19/07/2020      | 7           | 78.56      | 13732                 | 174                           |
| CE-2 (1.0%) - 2  | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 1.0 % SiO2 | 210                               | 13/07/2020       | 19/07/2020      | 7           | 78.56      | 14196                 | 180                           |
| CE-2 (1.0%) - 3  | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 1.0 % SiO2 | 210                               | 13/07/2020       | 19/07/2020      | 7           | 80.11      | 13892                 | 176                           |
| CE-2 (1.0%) - 4  | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 1.0 % SiO2 | 210                               | 13/07/2020       | 26/07/2020      | 14          | 80.11      | 19192                 | 244                           |
| CE-2 (1.0%) - 5  | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 1.0 % SiO2 | 210                               | 13/07/2020       | 26/07/2020      | 14          | 78.56      | 19456                 | 247                           |
| CE-2 (1.0%) - 6  | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 1.0 % SiO2 | 210                               | 13/07/2020       | 26/07/2020      | 14          | 78.56      | 19460                 | 248                           |
| CE-2 (1.0%) - 7  | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 1.0 % SiO2 | 210                               | 13/07/2020       | 2/08/2020       | 21          | 78.56      | 20765                 | 264                           |
| CE-2 (1.0%) - 8  | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 1.0 % SiO2 | 210                               | 13/07/2020       | 2/08/2020       | 21          | 78.56      | 20934                 | 266                           |
| CE-2 (1.0%) - 9  | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 1.0 % SiO2 | 210                               | 13/07/2020       | 2/08/2020       | 21          | 80.11      | 20620                 | 262                           |
| CE-2 (1.0%) - 10 | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 1.0 % SiO2 | 210                               | 13/07/2020       | 9/08/2020       | 28          | 78.56      | 22382                 | 284                           |
| CE-2 (1.0%) - 11 | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 1.0 % SiO2 | 210                               | 13/07/2020       | 9/08/2020       | 28          | 80.11      | 22956                 | 290                           |
| CE-2 (1.0%) - 12 | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 1.0 % SiO2 | 210                               | 13/07/2020       | 9/08/2020       | 28          | 78.56      | 22541                 | 286                           |
| CE-2 (1.0%) - 13 | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 1.0 % SiO2 | 210                               | 13/07/2020       | 10/10/2020      | 90          | 78.56      | 34082                 | 433                           |
| CE-2 (1.0%) - 14 | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 1.0 % SiO2 | 210                               | 13/07/2020       | 10/10/2020      | 90          | 78.56      | 34692                 | 441                           |
| CE-2 (1.0%) - 15 | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 1.0 % SiO2 | 210                               | 13/07/2020       | 10/10/2020      | 90          | 80.11      | 34981                 | 445                           |

Services Construction and Geotechnical Engineering  
*Tonatan T. Inga Bonifacio*  
Tonatan T. Inga Bonifacio  
JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

Services Construction and Geotechnical Engineering  
*Adolfo E. Camayo Ginche*  
Ing. Adolfo E. Camayo Ginche  
Gerente de Geotécnica  
REG. CIP. N° 153550



PROYECTO TESIS: "INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE SILICIO PROVENIENTE DE LA COLA DE CABALLO PARA AUMENTAR LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO"  
TESISTA Edson Rodrigo Garcia Cahuana  
UBICACIÓN Huancayo

| CONCRETO EXPERIMENTAL 3 (CP + ADICION DE 1.5 % DE SiO2) |   |                                   |                  |                 |             |            |                       |                               |
|---|---|-----------------------------------|------------------|-----------------|-------------|------------|-----------------------|-------------------------------|
| MUESTRA   | DESCRIPCION                             | RESISTENCIA ESPECIFICADA (kg/cm2) | FECHA DE VACEADO | FECHA DE ROTURA | EDAD (dias) | AREA (cm2) | CARGA DE RUPTURA (Kg) | RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm2) |
| CE-3 (1.5%) - 1   | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 1.5 % SiO2 | 210                               | 14/07/2020       | 20/07/2020      | 7           | 80.11      | 18596                 | 236                           |
| CE-3 (1.5%) - 2   | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 1.5 % SiO2 | 210                               | 14/07/2020       | 20/07/2020      | 7           | 78.56      | 17936                 | 228                           |
| CE-3 (1.5%) - 3   | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 1.5 % SiO2 | 210                               | 14/07/2020       | 20/07/2020      | 7           | 81.70      | 18470                 | 235                           |
| CE-3 (1.5%) - 4   | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 1.5 % SiO2 | 210                               | 14/07/2020       | 27/07/2020      | 14          | 80.11      | 20945                 | 266                           |
| CE-3 (1.5%) - 5   | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 1.5 % SiO2 | 210                               | 14/07/2020       | 27/07/2020      | 14          | 81.70      | 22241                 | 283                           |
| CE-3 (1.5%) - 6   | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 1.5 % SiO2 | 210                               | 14/07/2020       | 27/07/2020      | 14          | 78.56      | 20437                 | 260                           |
| CE-3 (1.5%) - 7   | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 1.5 % SiO2 | 210                               | 14/07/2020       | 3/08/2020       | 21          | 81.70      | 21874                 | 278                           |
| CE-3 (1.5%) - 8   | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 1.5 % SiO2 | 210                               | 14/07/2020       | 3/08/2020       | 21          | 81.70      | 23068                 | 293                           |
| CE-3 (1.5%) - 9   | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 1.5 % SiO2 | 210                               | 14/07/2020       | 3/08/2020       | 21          | 80.11      | 21873                 | 278                           |
| CE-3 (1.5%) - 10  | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 1.5 % SiO2 | 210                               | 14/07/2020       | 10/08/2020      | 28          | 80.11      | 25090                 | 319                           |
| CE-3 (1.5%) - 11  | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 1.5 % SiO2 | 210                               | 14/07/2020       | 10/08/2020      | 28          | 80.11      | 25256                 | 321                           |
| CE-3 (1.5%) - 12  | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 1.5 % SiO2 | 210                               | 14/07/2020       | 10/08/2020      | 28          | 81.70      | 25145                 | 320                           |
| CE-3 (1.5%) - 13  | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 1.5 % SiO2 | 210                               | 14/07/2020       | 11/10/2020      | 90          | 78.56      | 36817                 | 468                           |
| CE-3 (1.5%) - 14  | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 1.5 % SiO2 | 210                               | 14/07/2020       | 11/10/2020      | 90          | 80.11      | 36974                 | 470                           |
| CE-3 (1.5%) - 15  | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 1.5 % SiO2 | 210                               | 14/07/2020       | 11/10/2020      | 90          | 80.11      | 36660                 | 466                           |

Services Construction and Geotechnical Engineering  
*Yonatan V. Inga Bonifacio*  
Yonatan V. Inga Bonifacio  
JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE  
SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

Services Construction and Geotechnical Engineering  
*Ing. Adolfo E. Camayo Ginche*  
Ing. Adolfo E. Camayo Ginche  
Gerente de Geotécnica  
REG. CIP. N° 153550



PROYECTO TESIS: "INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE SILICIO PROVENIENTE DE LA COLA DE CABALLO PARA AUMENTAR LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO"  
TESISTA Edson Rodrigo Garcia Cahuana  
UBICACIÓN Huancayo

| CONCRETO EXPERIMENTAL 4 (CP + ADICION DE 2.0 % DE SiO2) |   |                                   |                  |                 |             |            |                       |                               |
|---|---|-----------------------------------|------------------|-----------------|-------------|------------|-----------------------|-------------------------------|
| MUESTRA   | DESCRIPCION                             | RESISTENCIA ESPECIFICADA (kg/cm2) | FECHA DE VACEADO | FECHA DE ROTURA | EDAD (dias) | AREA (cm2) | CARGA DE RUPTURA (Kg) | RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm2) |
| CE-4 (2.0%) - 1   | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 2.0 % SiO2 | 210                               | 15/07/2020       | 21/07/2020      | 7           | 80.11      | 19456                 | 247                           |
| CE-4 (2.0%) - 2   | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 2.0 % SiO2 | 210                               | 15/07/2020       | 21/07/2020      | 7           | 78.56      | 18313                 | 233                           |
| CE-4 (2.0%) - 3   | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 2.0 % SiO2 | 210                               | 15/07/2020       | 21/07/2020      | 7           | 78.56      | 20437                 | 260                           |
| CE-4 (2.0%) - 4   | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 2.0 % SiO2 | 210                               | 15/07/2020       | 28/07/2020      | 14          | 80.11      | 22379                 | 284                           |
| CE-4 (2.0%) - 5   | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 2.0 % SiO2 | 210                               | 15/07/2020       | 28/07/2020      | 14          | 80.11      | 22104                 | 281                           |
| CE-4 (2.0%) - 6   | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 2.0 % SiO2 | 210                               | 15/07/2020       | 28/07/2020      | 14          | 78.56      | 21646                 | 275                           |
| CE-4 (2.0%) - 7   | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 2.0 % SiO2 | 210                               | 15/07/2020       | 4/08/2020       | 21          | 81.70      | 25144                 | 320                           |
| CE-4 (2.0%) - 8   | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 2.0 % SiO2 | 210                               | 15/07/2020       | 4/08/2020       | 21          | 78.56      | 24962                 | 317                           |
| CE-4 (2.0%) - 9   | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 2.0 % SiO2 | 210                               | 15/07/2020       | 4/08/2020       | 21          | 78.56      | 25143                 | 320                           |
| CE-4 (2.0%) - 10  | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 2.0 % SiO2 | 210                               | 15/07/2020       | 11/08/2020      | 28          | 80.11      | 25752                 | 327                           |
| CE-4 (2.0%) - 11  | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 2.0 % SiO2 | 210                               | 15/07/2020       | 11/08/2020      | 28          | 80.11      | 25622                 | 326                           |
| CE-4 (2.0%) - 12  | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 2.0 % SiO2 | 210                               | 15/07/2020       | 11/08/2020      | 28          | 78.56      | 25620                 | 326                           |
| CE-4 (2.0%) - 13  | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 2.0 % SiO2 | 210                               | 15/07/2020       | 12/10/2020      | 90          | 78.56      | 37446                 | 476                           |
| CE-4 (2.0%) - 14  | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 2.0 % SiO2 | 210                               | 15/07/2020       | 12/10/2020      | 90          | 78.56      | 37604                 | 478                           |
| CE-4 (2.0%) - 15  | f'c=210 kg/cm2<br>adicion de 2.0 % SiO2 | 210                               | 15/07/2020       | 12/10/2020      | 90          | 78.56      | 37368                 | 475                           |

Services Construction and Geotechnical Engineering  
*Yonatan V. Inga Bonifacio*  
Yonatan V. Inga Bonifacio  
JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

Services Construction and Geotechnical Engineering  
*Adolfo E. Camayo Ginche*  
Ing. Adolfo E. Camayo Ginche  
Gerente de Geotecnia  
REG. CIP N° 153550



PROYECTO TESIS: "INCORPORACIÓN DE DIÓXIDO DE SILICIO PROVENIENTE DE LA COLA DE CABALLO PARA AUMENTAR LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO"  
TESISTA Edson Rodrigo Garcia Cahuana  
UBICACIÓN Huancayo

| CONCRETO EXPERIMENTAL 5 (CP + ADICION DE 5.0 % DE SiO2) |   |                                   |                  |                 |             |            |                       |                               |
|---|---|-----------------------------------|------------------|-----------------|-------------|------------|-----------------------|-------------------------------|
| MUESTRA   | DESCRIPCION   | RESISTENCIA ESPECIFICADA (kg/cm2) | FECHA DE VACEADO | FECHA DE ROTURA | EDAD (dias) | AREA (cm2) | CARGA DE RUPTURA (Kg) | RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm2) |
| CE-5 (5.0%) - 1   | f <sub>c</sub> =210 kg/cm2<br>adicion de 5.0 % SiO2 | 210                               | 6/08/2020        | 12/08/2020      | 7           | 78.56      | 15887                 | 204                           |
| CE-5 (5.0%) - 2   | f <sub>c</sub> =210 kg/cm2<br>adicion de 5.0 % SiO2 | 210                               | 6/08/2020        | 12/08/2020      | 7           | 78.56      | 16157                 | 205                           |
| CE-5 (5.0%) - 3   | f <sub>c</sub> =210 kg/cm2<br>adicion de 5.0 % SiO2 | 210                               | 6/08/2020        | 12/08/2020      | 7           | 78.56      | 16500                 | 210                           |
| CE-5 (5.0%) - 4   | f <sub>c</sub> =210 kg/cm2<br>adicion de 5.0 % SiO2 | 210                               | 6/08/2020        | 19/08/2020      | 14          | 80.11      | 20765                 | 264                           |
| CE-5 (5.0%) - 5   | f <sub>c</sub> =210 kg/cm2<br>adicion de 5.0 % SiO2 | 210                               | 6/08/2020        | 19/08/2020      | 14          | 80.11      | 21246                 | 270                           |
| CE-5 (5.0%) - 6   | f <sub>c</sub> =210 kg/cm2<br>adicion de 5.0 % SiO2 | 210                               | 6/08/2020        | 19/08/2020      | 14          | 78.56      | 20950                 | 268                           |
| CE-5 (5.0%) - 7   | f <sub>c</sub> =210 kg/cm2<br>adicion de 5.0 % SiO2 | 210                               | 6/08/2020        | 26/08/2020      | 21          | 78.56      | 22853                 | 290                           |
| CE-5 (5.0%) - 8   | f <sub>c</sub> =210 kg/cm2<br>adicion de 5.0 % SiO2 | 210                               | 6/08/2020        | 26/08/2020      | 21          | 78.56      | 22694                 | 288                           |
| CE-5 (5.0%) - 9   | f <sub>c</sub> =210 kg/cm2<br>adicion de 5.0 % SiO2 | 210                               | 6/08/2020        | 26/08/2020      | 21          | 80.11      | 22615                 | 287                           |
| CE-5 (5.0%) - 10  | f <sub>c</sub> =210 kg/cm2<br>adicion de 5.0 % SiO2 | 210                               | 6/08/2020        | 2/09/2020       | 28          | 78.56      | 24169                 | 307                           |
| CE-5 (5.0%) - 11  | f <sub>c</sub> =210 kg/cm2<br>adicion de 5.0 % SiO2 | 210                               | 6/08/2020        | 2/09/2020       | 28          | 78.56      | 24423                 | 310                           |
| CE-5 (5.0%) - 12  | f <sub>c</sub> =210 kg/cm2<br>adicion de 5.0 % SiO2 | 210                               | 6/08/2020        | 2/09/2020       | 28          | 78.56      | 24247                 | 308                           |
| CE-5 (5.0%) - 13  | f <sub>c</sub> =210 kg/cm2<br>adicion de 5.0 % SiO2 | 210                               | 6/08/2020        | 3/11/2020       | 90          | 78.56      | 30681                 | 390                           |
| CE-5 (5.0%) - 14  | f <sub>c</sub> =210 kg/cm2<br>adicion de 5.0 % SiO2 | 210                               | 6/08/2020        | 3/11/2020       | 90          | 78.56      | 31150                 | 396                           |
| CE-5 (5.0%) - 15  | f <sub>c</sub> =210 kg/cm2<br>adicion de 5.0 % SiO2 | 210                               | 6/08/2020        | 3/11/2020       | 90          | 80.11      | 31310                 | 398                           |

Services Construction and Geotechnical Engineering  
*Yonatan V. Inga Benifacio*  
Yonatan V. Inga Benifacio  
JEFE DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

Services Construction and Geotechnical Engineering  
*Ing. Adolfo E. Camayo Ginche*  
Ing. Adolfo E. Camayo Ginche  
Gerente de Geotecnia  
REG. CIP N° 153550