



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**ESTUDIO CORRELACIONAL DE LA RESISTENCIA A  
COMPRESIÓN, TRACCIÓN Y FLEXIÓN DEL CONCRETO  
NORMAL, SOMETIDAS A DIFERENTES TEMPERATURAS DE  
CURADO, PUNO**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**JHON HARDY CHAVEZ FLORES**  
**LUIS ALBERTO INQUILLA APAZA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PUNO – PERÚ**

**2022**



## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis a mis padres Alberto Inquilla y Neptalia Apaza por su esfuerzo, sacrificio y apoyo incondicional en cumplir mis objetivos.

De forma muy especial a mis hermanas Erika Janet y Gisenia Pilar por su apoyo y comprensión.

A toda mi familia y amigos que me apoyaron en lograr este sueño para hacerlo realidad.

**Luis Alberto Inquilla Apaza**



## DEDICATORIA

A los forjadores de mi camino, mis padres Mario Chavez y Lucy Flores, por darme la vida, quienes me inculcaron valores y pusieron mucho esmero en la formación de mi persona, siempre con el respeto y amor a Dios.

A mi hermana Fiorella Chavez por su sincera amistad y apoyo. Y a mis familiares en general por su apoyo constante.

**Jhon Hardy Chavez Flores**



## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por concederme la fuerza y valor; y permitirme a llegar a alcanzar y cumplir esta meta en mi vida profesional.

A mis Padres por su apoyo y la confianza durante estos años de estudio y haberme apoyado en cumplir mis objetivos.

Al Ing. Samuel Huaquisto por todos los consejos que me brindó durante el proceso de elaboración de mi tesis.

A todos mis docentes de mi carrera Profesional de Ingeniería Civil por los valores e instrucción que me inculcaron para recorrer mi camino profesional.

A mis queridos compañeros de salón quienes hicieron de mi vida profesional la más divertida y productiva, estando en los buenos y malos momentos.

### **Luis Alberto Inquilla Apaza**

A Dios por darme condiciones de llegar a la meta de mis estudios superiores.

A mis padres y familiares por su motivación y apoyo.

A la Universidad Nacional del Altiplano, institución que me formó en sus ambientes como profesional, a mis docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, y en específico al director encargado de mi tesis Dr. Samuel Huaquisto Cáceres quien, con toda su sapiencia, tolerancia y consejos, estuvo predispuesto en todo momento para el asesoramiento de la presente tesis. A los ingenieros Alex Gómez y Miguel Silva por sus recomendaciones durante la ejecución de la investigación.

**Jhon Hardy Chavez Flores**



# ÍNDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
LISTA DE ACRÓNIMOS	
ÍNDICE DE ECUACIONES	
RESUMEN .....	15
ABSTRACT.....	16

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>17</b>
<b>1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>19</b>
1.2.1. Problema General.....	19
1.2.2. Problemas específicos .....	19
<b>1.3. HIPÓTESIS .....</b>	<b>19</b>
1.3.1. Hipótesis general.....	19
1.3.2. Hipótesis específicas .....	19
<b>1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>20</b>
<b>1.5. OBJETIVOS.....</b>	<b>21</b>
1.5.1. Objetivo general .....	21
1.5.2. Objetivos específicos .....	21



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

<b>2.1. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>22</b>
2.1.1. Curado del concreto .....	22
2.1.2. Desarrollo de la resistencia .....	25
2.1.3. Propiedades mecánicas del concreto .....	26
2.1.4. Propiedades físicas del concreto .....	32
<b>2.2. MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>34</b>
<b>2.3. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>36</b>
2.3.1. Antecedentes internacionales .....	36
2.3.2. Antecedentes nacionales .....	37
2.3.3. Antecedentes regionales.....	41

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO .....</b>	<b>43</b>
<b>3.2. UBICACIÓN DEL LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>44</b>
<b>3.3. PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO.....</b>	<b>44</b>
<b>3.4. MATERIALES Y METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>44</b>
3.4.1. Etapa preliminar .....	44
3.4.2. Etapa de campo .....	44
3.4.3. Etapa de laboratorio .....	45
3.4.4. Etapa de gabinete .....	57
<b>3.5. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>58</b>
3.5.1. Nivel de Investigación.....	58
3.5.2. Tipo de Investigación.....	58



3.5.3. Diseño de Investigación .....	59
3.5.4. Variables de la Investigación .....	59
3.5.5. Población .....	60
3.5.6. Muestra.....	60
3.5.7. Confiabilidad y validez .....	63
3.5.8. Prueba Estadística .....	65

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1. RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.....</b>	<b>67</b>
4.1.1. Resistencia a la compresión .....	67
4.1.2. Resistencia a la tracción .....	73
4.1.3. Resistencia a la flexión.....	78
<b>4.2. RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS.....</b>	<b>83</b>
4.2.1. Absorción del concreto .....	84
4.2.2. Peso específico del concreto .....	86
4.2.3. Volumen de Poros Permeables.....	89
<b>4.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS ESTADÍSTICA .....</b>	<b>91</b>
4.3.1. Prueba de normalidad de resistencia a compresión a 28 días ....	92
4.3.2. Correlación de Pearson para la Resistencia a la compresión ....	94
4.3.3. Prueba de normalidad de resistencia a tracción a 28 días .....	95
4.3.4. Correlación de Pearson para la resistencia a la tracción .....	96
4.3.5. Prueba de normalidad de resistencia a flexión a 28 días.....	97
4.3.6. Correlación de Pearson para la Resistencia a la flexión .....	98
4.3.7. Prueba de normalidad para los datos del ensayo de absorción ..	99
4.3.8. Prueba de correlación Pearson para la absorción a 28 días.....	100



4.3.9. Prueba de normalidad para la densidad aparente .....	101
4.3.10. Prueba de correlación Pearson para la densidad aparente.....	102
4.3.11. Prueba de normalidad para la densidad seca.....	103
4.3.12. Prueba de correlación Pearson para la densidad seca .....	104
4.3.13. Prueba de normalidad para los datos de volumen de poros .....	105
4.3.14. Prueba de correlación Pearson para el volumen de poros.....	105
<b>4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>107</b>
<b>4.5. CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS .....</b>	<b>109</b>
4.5.1. Cumplimiento del objetivo general .....	109
4.5.2. Cumplimiento de los objetivos específicos.....	109
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>112</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>114</b>
<b>VII. REFERENCIAS.....</b>	<b>115</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>118</b>

**TEMA: Correlación de las Resistencias Mecánicas del Concreto con la Temperatura de Curado.**

**ÁREA: Tecnología del concreto**

**LINEA DE INVESTIGACIÓN: Construcciones y Gerencia.**

**FECHA DE SUSTENTACIÓN: 12 DE MAYO DE 2022**





## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Proceso de fraguado y endurecimiento del concreto.....	26
<b>Figura 2</b> Mapa de la región Puno.....	43
<b>Figura 3</b> Cantera Cutimbo .....	45
<b>Figura 4</b> Agregados extraídos de la cantera Cutimbo.....	45
<b>Figura 5</b> Procedimiento de ensayos en laboratorio .....	46
<b>Figura 6</b> Procedimiento del vaciado de probetas cilíndricas y prismáticas .....	47
<b>Figura 7</b> Equipos electrónicos (3 calentadores, 1 enfriador y 2 congeladoras) .....	49
<b>Figura 8</b> Curado de probetas y vigas a 20 °C, 15 °C, 10 °C y 5 °C .....	49
<b>Figura 9</b> Curado de probetas y vigas a 0 °C y -5 °C.....	50
<b>Figura 10</b> Verificación de temperatura con termómetro digital .....	50
<b>Figura 11</b> Rotura de probetas de acuerdo al ASTM C-39 .....	51
<b>Figura 12</b> Rotura de probetas de acuerdo al ASTM C-496 .....	53
<b>Figura 13</b> Detalle de puntos aplicación de carga para ensayo de flexión .....	54
<b>Figura 14</b> Rotura de vigas de acuerdo al ASTM C-78 .....	55
<b>Figura 15</b> Procedimiento para el cálculo de propiedades físicas del concreto .....	57
<b>Figura 16</b> Comparación de la resistencia a compresión para las seis temperaturas .....	72
<b>Figura 17</b> Comparación de la resistencia a tracción para las seis temperaturas .....	78
<b>Figura 18</b> Comparación de la resistencia a flexión para las seis temperaturas.....	83
<b>Figura 19</b> Muestra desintegrada a los 14 días de curado a -5 °C.....	84
<b>Figura 20</b> Muestra desintegrada a los 28 días de curado a -5 °C.....	84
<b>Figura 21</b> Evaluación de la absorción del concreto .....	85
<b>Figura 22</b> Evolución de la densidad aparente del concreto endurecido.....	87
<b>Figura 23</b> Evolución de la densidad seca del concreto endurecido .....	88
<b>Figura 24</b> Evolución de la densidad seca del concreto endurecido .....	90



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Periodo de inicio de un curado .....	23
<b>Tabla 2</b> Diámetros permisibles en probetas de ensayo según NTP 339.034 .....	27
<b>Tabla 3</b> Edad y tolerancia de ensayo.....	27
<b>Tabla 4</b> Relación longitud/diámetro.....	28
<b>Tabla 5</b> Cantidad de probetas para el ensayo de resistencia a la compresión .....	61
<b>Tabla 6</b> Cantidad de probetas para el ensayo de resistencia a la tracción indirecta.....	62
<b>Tabla 7</b> Cantidad de probetas para el ensayo de resistencia a la flexión .....	62
<b>Tabla 8</b> Cantidad de especímenes para los ensayos de propiedades físicas .....	63
<b>Tabla 9</b> Interpretación de la confiabilidad .....	64
<b>Tabla 10</b> Resultados del nivel de fiabilidad de las variables dependientes .....	64
<b>Tabla 11</b> Validación del instrumento mediante normas y expertos .....	65
<b>Tabla 12</b> Resistencia a compresión a una temperatura de -5 °C.....	68
<b>Tabla 13</b> Resistencia a compresión a una temperatura de 0 °C .....	68
<b>Tabla 14</b> Resistencia a compresión a una temperatura de 5 °C .....	69
<b>Tabla 15</b> Resistencia a compresión a una temperatura de 10 °C .....	69
<b>Tabla 16</b> Resistencia a compresión a una temperatura de 15 °C .....	70
<b>Tabla 17</b> Resistencia a compresión a una temperatura de 20 °C .....	70
<b>Tabla 18</b> Resistencia a tracción indirecta a una temperatura de -5 °C.....	73
<b>Tabla 19</b> Resistencia a tracción indirecta a una temperatura de 0 °C.....	74
<b>Tabla 20</b> Resistencia a tracción indirecta a una temperatura de 5 °C.....	74
<b>Tabla 21</b> Resistencia a tracción indirecta a una temperatura de 10 °C.....	75
<b>Tabla 22</b> Resistencia a tracción indirecta a una temperatura de 15 °C.....	75
<b>Tabla 23</b> Resistencia a tracción indirecta a una temperatura de 20 °C.....	76
<b>Tabla 24</b> Resistencia a la flexión a una temperatura de -5 °C .....	79
<b>Tabla 25</b> Resistencia a la flexión a una temperatura de 0 °C.....	79



<b>Tabla 26</b> Resistencia a la flexión a una temperatura de 5 °C.....	80
<b>Tabla 27</b> Resistencia a la flexión a una temperatura de 10 °C.....	80
<b>Tabla 28</b> Resistencia a la flexión a una temperatura de 15 °C.....	81
<b>Tabla 29</b> Resistencia a la flexión a una temperatura de 20 °C.....	81
<b>Tabla 30</b> Valores de coeficientes Pearson .....	92
<b>Tabla 31</b> Normalidad para la resistencia a compresión .....	93
<b>Tabla 32</b> Cálculo de valor de significancia para la resistencia a la compresión.....	94
<b>Tabla 33</b> Normalidad para la resistencia a tracción .....	95
<b>Tabla 34</b> Cálculo del valor de valor de significancia para la resistencia a la tracción ..	96
<b>Tabla 35</b> Normalidad para la resistencia a flexión.....	97
<b>Tabla 36</b> Cálculo del valor de valor de significancia para la resistencia a la flexión ....	98
<b>Tabla 37</b> Normalidad para la absorción del concreto .....	99
<b>Tabla 38</b> Cálculo del valor de valor de significancia para la absorción del concreto..	100
<b>Tabla 39</b> Normalidad para la densidad aparente.....	101
<b>Tabla 40</b> Cálculo de la significancia para la densidad aparente del concreto.....	102
<b>Tabla 41</b> Normalidad para la densidad seca .....	103
<b>Tabla 42</b> Cálculo de la significancia para la densidad seca del concreto .....	104
<b>Tabla 43</b> Normalidad para el volumen de poros del concreto .....	105
<b>Tabla 44</b> Cálculo de la significancia para el volumen de poros del concreto.....	106



## LISTA DE ACRÓNIMOS

<b>ASTM</b>	:	American Society of Testing Materials
<b>ACI</b>	:	American Concrete Institute
<b>f'c</b>	:	Resistencia a la compresión del concreto
<b>a/c</b>	:	Relación agua cemento
<b>PCA</b>	:	Portland Cement Association
<b>NTP</b>	:	Norma Técnica Peruana
<b>SENAMHI</b>	:	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
<b>°C</b>	:	Grados Celsius
<b>°F</b>	:	Grados Fahrenheit
<b>Ha</b>	:	Hipótesis alterna
<b>Ho</b>	:	Hipótesis nula
<b>SPSS</b>	:	Statistical Package for the Social Sciences (programa estadístico)
<b>N</b>	:	Número de muestras correlacionadas
<b>NRMCA</b>	:	National Ready Mixed Concrete Association (Asociación Nacional de concreto Premezclado)
<b>CIP</b>	:	Concrete In Practice (Concreto en la práctica)
<b>SI</b>	:	Sistema Internacional de Unidades
<b>M.K.S.</b>	:	Metro kilogramo segundo





## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Resistencia a la tracción del concreto .....	29
Ecuación 2: Razón de carga.....	31
Ecuación 3: Módulo de rotura .....	31
Ecuación 4: Módulo de rotura .....	32
Ecuación 5: Absorción después de la inmersión .....	33
Ecuación 6: Absorción después de la inmersión y hervido .....	34
Ecuación 7: Densidad seca .....	34
Ecuación 8: Densidad después de la inmersión .....	34
Ecuación 9: Absorción después de la inmersión y hervido .....	34
Ecuación 10: Densidad aparente.....	34
Ecuación 11: Volumen de poros permeables.....	34



## RESUMEN

La presente investigación se enfocó en el estudio del concreto endurecido sometido a diferentes temperaturas de curado, esto debido a que en la región de Puno se tiene temperaturas variadas según los reportes del SENAMHI y el Plan Regional de Gestión del Riesgo de Desastres 2016-2021, por lo que surge la siguiente interrogante: ¿Existe relación entre el curado del concreto normal a diferentes temperaturas desde  $-5^{\circ}\text{C}$  hasta los  $20^{\circ}\text{C}$  con la resistencia a la compresión, tracción y flexión? Para determinar la relación se planteó estudiar especímenes de concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  de diseño con relación agua/cemento de 0.558. Se evaluaron 198 muestras en laboratorio para medir las propiedades físicas y mecánicas. La metodología de investigación es cuantitativa, nivel correlacional de tipo básica y transversal con datos prospectivos. Los resultados a los 28 días para la resistencia a la compresión, dan valores de  $f'c$  de  $130.10 \text{ kg/cm}^2$ ,  $133.38 \text{ kg/cm}^2$ ,  $210.77 \text{ kg/cm}^2$ ,  $231.38 \text{ kg/cm}^2$ ,  $232.28 \text{ kg/cm}^2$ ,  $237.12 \text{ kg/cm}^2$ ; para la resistencia a la tracción indirecta valores de  $f'c$  de  $13.92 \text{ kg/cm}^2$ ,  $15.15 \text{ kg/cm}^2$ ,  $17.54 \text{ kg/cm}^2$ ,  $18.31 \text{ kg/cm}^2$ ,  $19.09 \text{ kg/cm}^2$ ,  $20.46 \text{ kg/cm}^2$ ; asimismo, para la resistencia a la flexión valores de  $f'c$  de  $21.95 \text{ kg/cm}^2$ ,  $31.04 \text{ kg/cm}^2$ ,  $33.17 \text{ kg/cm}^2$ ,  $33.92 \text{ kg/cm}^2$ ,  $34.66 \text{ kg/cm}^2$  y  $34.67 \text{ kg/cm}^2$  cuando la temperatura del agua en el proceso de curado fueron de  $-5^{\circ}\text{C}$ ,  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $5^{\circ}\text{C}$ ,  $10^{\circ}\text{C}$ ,  $15^{\circ}\text{C}$  y  $20^{\circ}\text{C}$  respectivamente para cada ensayo. Se concluye que las diferentes temperaturas de curado del concreto tienen una relación directa con las resistencias a la compresión, tracción y flexión del concreto.

**Palabras Clave:** Compresión, curado, concreto simple, flexión, propiedades del concreto, tracción, temperatura.



## ABSTRACT

The present investigation focused on the study of hardened concrete subjected to different curing temperatures, this is due to the fact that in the Puno region there are varied temperatures according to the Senamhi reports and the Regional Disaster Risk Management Plan 2016-2021, so the following question arises: Is there a relationship between the curing of normal concrete at different temperatures from  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  with the resistance to compression, traction and bending? To determine the relationship, it was proposed to study concrete specimens of  $f'c=210\text{ kg/cm}^2$  of design with a water/cement ratio of 0.558. To measure physical and mechanical properties, 198 samples were evaluated in the laboratory. The research methodology is quantitative, basic and cross-sectional correlational level with prospective data. The results at 28 days for the compressive strength give  $f'c$  values of  $130.10\text{ kg/cm}^2$ ,  $133.38\text{ kg/cm}^2$ ,  $210.77\text{ kg/cm}^2$ ,  $231.38\text{ kg/cm}^2$ ,  $232.28\text{ kg/cm}^2$ ,  $237.12\text{ kg/cm}^2$ ; for indirect tensile strength,  $f'c$  values of  $13.92\text{ kg/cm}^2$ ,  $15.15\text{ kg/cm}^2$ ,  $17.54\text{ kg/cm}^2$ ,  $18.31\text{ kg/cm}^2$ ,  $19.09\text{ kg/cm}^2$ ,  $20.46\text{ kg/cm}^2$ ; likewise, for the resistance to bending,  $f'c$  values of  $21.95\text{ kg/cm}^2$ ,  $31.04\text{ kg/cm}^2$ ,  $33.17\text{ kg/cm}^2$ ,  $33.92\text{ kg/cm}^2$ ,  $34.66\text{ kg/cm}^2$  and  $34.67\text{ kg/cm}^2$  when the temperature of the water in the process curing temperatures were  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  and  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respectively, for each test. It's concluded that the different curing temperatures of the concrete have a direct relationship with the compressive, tensile and flexural strengths of the concrete.

**Keywords:** Compression, curing, plain concrete, bending, concrete properties, traction, temperature.





# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

El capítulo I, presenta las consideraciones de las temperaturas a nivel regional, así como la problemática y formulación de las preguntas, hipótesis, justificación y los objetivos.

El capítulo II, informa teóricamente los temas abordados en la presente investigación y también los antecedentes internacionales, nacionales y regionales, los mismos que sirvieron como fundamento para realizar el presente trabajo.

El capítulo III, describimos el lugar geográfico del proyecto de investigación, los materiales e instrumentos empleados, los procedimientos y la metodología de investigación adoptada.

El capítulo IV, muestra los resultados de las diferentes pruebas o ensayos realizados en laboratorio adjuntando tablas y gráficos para su mejor entendimiento, también presenta la contrastación de la hipótesis estadística y el debate de los resultados.

En el capítulo V se presenta las conclusiones del proyecto conforme a los objetivos planteados; en el capítulo VI se presenta las recomendaciones en referencia a las conclusiones del proyecto y por último en el capítulo VII se indica las fuentes utilizadas en el presente trabajo de investigación.

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El concreto es uno de los materiales más utilizados en las obras de infraestructura y edificación, por lo que se requiere dar una mayor importancia a los procesos que aseguren su resistencia de diseño.

Una de las principales fuentes de variación de la resistencia a compresión del concreto, además de otros, es la variación en la temperatura y curado (Pasquel, 1998).



Kosmatka et. al (2004) señala que el objetivo del curado es mantener la humedad y temperatura adecuada, durante un periodo de tiempo el cual empieza después del vertido, de modo que el hormigón desarrolle las propiedades requeridas a la cual fue diseñada (p. 261).

Como bien se indica, el curado es una actividad muy importante y que una de las características a conocer, es la temperatura con la que se realiza este proceso. Por su parte el comité ACI 308 (2001) indica que en lo posible evitar los gradientes térmicos, ocasionados por el uso de agua fría para el curado.

En la presente investigación se ha abordado la relación directa entre las temperaturas de curado del concreto, con sus propiedades mecánicas y físicas.

Para ello, el rango de temperaturas se ha definido de acuerdo al reporte de datos del (SENAMHI) Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Puno desde el año 2017 al 2021. De las cinco estaciones meteorológicas analizadas, se obtuvo una mínima temperatura promedio registrada es de  $-7.58\text{ }^{\circ}\text{C}$  y la máxima promedio de  $19.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Los reportes completos están en el Anexo No. 9.

Además, el Gobierno Regional Puno, mediante Ordenanza Regional No. 021-2016-GR PUNO-CRP, suscrito el 29 de setiembre de 2016, aprobó el “Plan Regional de Gestión del Riesgo de Desastres 2016-2021”, documento que, en su capítulo II: caracterización general del departamento de Puno, indica que debido a que Puno se encuentra en el sur peruano entre la cordillera andina, donde el clima frígido seco es el que predomina (entre otoño - invierno) y húmedo templado (entre primavera - verano), con máximas temperaturas de  $14\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  y mínimas temperaturas entre  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El mapa de caracterización de temperaturas mínimas se visualiza en el Anexo No. 14.

Dado la premisa, se estableció que las temperaturas de curado para efectos de la investigación sean de  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



Por lo expuesto anteriormente surgen los siguientes cuestionamientos generales y específicos.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### ***1.2.1. Problema General***

¿Existe relación entre el curado del concreto a diferentes temperaturas desde -5 °C hasta los 20 °C con la resistencia a la compresión, tracción y flexión del concreto normal en Puno?

### ***1.2.2. Problemas específicos***

- a. ¿Cómo se relaciona la temperatura del agua durante el curado del concreto, con la resistencia a la compresión del concreto?
- b. ¿Cómo se relaciona la temperatura del agua durante el curado del concreto, con la resistencia a la tracción del concreto?
- c. ¿Cómo se relaciona la temperatura del agua durante el curado del concreto, con la resistencia a la flexión del concreto?
- d. ¿Cómo se relaciona la temperatura del agua durante el curado del concreto, con las propiedades físicas?

## **1.3. HIPÓTESIS**

### ***1.3.1. Hipótesis general***

El curado del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  de diseño a diferentes temperaturas entre -5 °C hasta 20 °C, tiene relación con la Resistencia a la Compresión, Tracción y Flexión.

### ***1.3.2. Hipótesis específicas***

- a. La temperatura del agua durante el curado, tiene relación con la resistencia a la compresión del concreto.
- b. La temperatura del agua durante el curado, tiene relación con la resistencia a la tracción indirecta del concreto.



- c. La temperatura del agua durante el curado, tiene relación con la resistencia a la flexión del concreto.
- d. La temperatura del agua durante el curado, tiene una relación con las propiedades físicas del concreto.

#### **1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Dentro de las 13 provincias que pertenecen a la jurisdicción del departamento de Puno, se puede hacer una clasificación escueta por grupos de temperaturas, podemos referir por ejemplo que se tiene climas calurosos en la zona norte de la región, provincias como Sandía y Carabaya en donde las temperaturas durante el día llegan a superar los 18 °C, por otro lado están los climas fríos como el caso de las provincias de Lampa, Puno y El Collao cuyos registros del SENAMHI muestran que se tiene temperaturas bajo cero, de hasta -7 °C.

Como se infiere del párrafo anterior, las condiciones de temperatura en la región Puno no son las mismas. Ahora bien, en las construcciones donde se utiliza el concreto como material predominante, se deben tener en cuenta esas condiciones variadas de temperatura, al momento de realizar el curado del concreto. El curado es una actividad importante, que permite continuar con la reacción química interna de hidratación el cual garantiza que el concreto cumpla con el diseño y calidad requerida. Por ello, con los resultados adquiridos de la investigación, los especialistas técnicos, personal encargado de la ejecución de obras civiles, empresarios dedicados al sector construcción y población en general, podrán beneficiarse con este aporte teórico, ya que se da a conocer de manera cuantitativa, cómo influye la temperatura de curado en las propiedades mecánicas y físicas del concreto en estado endurecido, haciendo un símil en condiciones de laboratorio.



## **1.5. OBJETIVOS**

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

Determinar la relación entre el curado a diferentes temperaturas desde  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta los  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  con la resistencia a la Compresión, Tracción y Flexión del concreto normal.

### ***1.5.2. Objetivos específicos***

- a.** Determinar si la temperatura del agua durante el curado del concreto, tiene relación con la resistencia a la compresión del concreto.
- b.** Determinar si la temperatura del agua durante el curado del concreto, tiene relación con la resistencia a la tracción del concreto.
- c.** Determinar si la temperatura del agua durante el curado del concreto, tiene relación con la resistencia a la flexión del concreto.
- d.** Determinar si la temperatura del agua durante el curado del concreto, tiene relación con las propiedades físicas del concreto.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. MARCO TEÓRICO

##### 2.1.1. *Curado del concreto*

El objetivo del curado del concreto es mantener su humedad a través de la saturación total o parcial en cuanto sea posible. (Alemán & Montoya, 2014).

El agua utilizada para curado representa una medida o suministro adicional que requiere el concreto para su hidratación óptima. El agua utilizada durante la mezcla también es satisfactoria para el curado.

En la revista Perú Construye (2019) se menciona lo siguiente:

El curado y protección del concreto debe realizarse con procedimientos y materiales apropiados en la etapa temprana de fraguado, de modo que la mezcla vertida se mantenga en un ambiente de saturación para evadir los cambios repentinos de temperatura del concreto y la pérdida de agua.

Para que el concreto desarrolle sus propiedades esperadas en el diseño de mezcla, es necesario mantener de manera adecuada el contenido de agua y la temperatura en su etapa de endurecimiento, de lo contrario el cemento no podrá activar de manera óptima su función cementante en el concreto, por lo que el concreto debe mantener una temperatura uniforme por encima de 10 °C para que durante este periodo el concreto gane resistencia mediante el curado. (NRMCA-CIP 11, 2021).

El concreto llega a un 70% de su resistencia de diseño en tan solo 7 días a temperaturas normales, por lo que si el concreto es expuesto a temperaturas bajas como 5°C esta reduce su resistencia en un 50%. Para evitar problemas en la resistencia el concreto debe ser curado al menos de 7 a 14 días. Si en caso se usan concretos de alta resistencia el curado es en los primeros días. El proceso de curado debe empezar tan

pronto como sea posible para evitar pérdidas de humedad, en la Tabla 1 se muestra el momento en el cual se inicia un curado (Abanto, 2009).

**Tabla 1**

*Periodo de inicio de un curado*

Tiempo después del vaciado	Clima
4 ½ - 7 horas	Fríos
2 ½ - 5 horas	Templados
1 - 3 horas	Calurosos y secos

Nota. (Abanto, 2009)

#### **2.1.1.1. Efectos que produce el curado al concreto**

- a. Primero, dependerá de la humedad de la intemperie para adicionar el agua, ya que esta se evapora con mayor celeridad cuando la humedad relativa es menor en la temperatura ambiente.
- b. Segundo, inicialmente los espacios que son ocupados cuando se mezcla el agua y el cemento, se llenan gradualmente con los productos de hidratación (gel).
- c. Tercero, el agua capilar tiene una menor densidad que el agua que se combina químicamente en la mezcla con el cemento (agua evaporable). Teniendo en cuenta esto, el espacio libre desocupado en los poros capilares puede ser mayor, que con los que ha contribuido a formar los productos de hidratación. El déficit de la hidratación es más lento al no existir la aportación de agua exterior. (Sánchez, 2001).

#### **2.1.1.2. Métodos de curado.**

- **Anegamiento o inmersión:** Es el método de curado más común usado en obras donde la superficie del vaciado se encuentre en una superficie plana para



poder crear un charco de agua sin excederse sobre la superficie del concreto, el agua para curado tiene que sobrepasar los 11°C, esto con motivo de que el concreto no sufra agrietamiento (Abanto, 2009).

- **Aspersión o rociado de niebla:** Es un método de curado excelente en zonas con temperaturas altas, se usan boquillas de aspersores usados para jardinería, el método es utilizado generalmente para superficies verticales por su fácil uso (Abanto, 2009).
- **Carpetas de algodón, alfombras y costales:** Uno de los métodos poco usuales que trata de la colocación de materiales como costales, alfombras y carpetas de algodón que retienen el agua sobre una superficie vertical u horizontal del concreto, esta mantiene la humedad del concreto intacta sin ser perjudicadas por agentes externos (Abanto, 2009).
- **Curado con tierra:** Trata de un curado en donde colocamos tierra húmeda sobre una superficie pequeña (Abanto, 2009).
- **Aserrín o arena:** Curado similar al anterior, consiste en mojar el aserrín o arena y colocarla en la superficie del concreto (Abanto, 2009).
- **Heno o paja:** Consiste en mojar el heno o paja para colocarlos sobre la superficie de concreto, el problema de este método es el peso ligero del material, ya que podrían ser alejados con el viento, también decolora la superficie de concreto y son expuestas a incendios si se dejan secar (Abanto, 2009).





### **2.1.1.3. Influencia de la temperatura de curado en el desarrollo de las propiedades del concreto**

En algunas investigaciones se consideraron que hay una disminución ligera a largo plazo en la resistencia a la compresión al incrementar la temperatura del curado, por otra parte, la velocidad de la reacción de hidratación del concreto disminuye cuando está expuesta a temperaturas bajas. Esta es la razón por lo que el curado del concreto se debe asegurar en condiciones apropiadas para el desarrollo óptimo de sus propiedades mecánicas, aplicando el método más accesible y de acuerdo a las necesidades del concreto (Alemán & Montoya, 2014).

### **2.1.2. Desarrollo de la resistencia**

Es el proceso en donde el concreto incrementa su resistencia empezando con la pérdida de trabajabilidad (inicio del fraguado) hasta que el concreto endurezca completamente.

#### **2.1.2.1. Temperatura y tiempo de curado**

La temperatura y tiempo de curado son dos factores importantes entre otros, para que el concreto desarrolle su resistencia óptima.

#### **2.1.2.2. Temperatura del agua para curado**

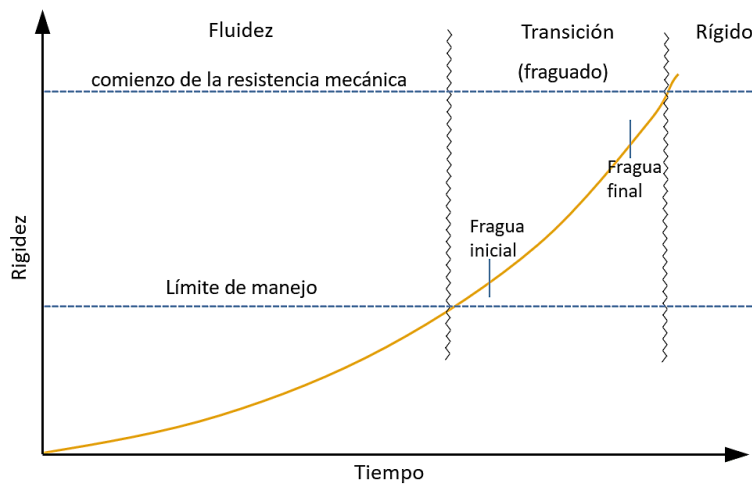
Una de las ventajas del agua es que su temperatura se puede controlar fácilmente debido a su calor específico que es  $1 \text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$ , para un curado adecuado la temperatura es un factor muy importante para que alcance la velocidad de hidratación esperada con la finalidad de mejorar la resistencia (NRMCA-CIP 11, 2021).

#### **2.1.2.3. Tiempo de fragua y endurecimiento del concreto**

Se considera fraguado cuando en el concreto fresco aparece la rigidez y el endurecimiento, es el desarrollo del concreto para una resistencia útil, como se visualiza en la Figura 1.

**Figura 1**

*Proceso de fraguado y endurecimiento del concreto*



*Nota. (Alva, 2013).*

### **2.1.3. Propiedades mecánicas del concreto**

Se considera propiedades mecánicas, a la capacidad de resistencia del concreto en donde el material es sometido a esfuerzos máximos soportando las diferentes cargas.

#### **2.1.3.1. Resistencia a la compresión del concreto**

La función principal del concreto es soportar los esfuerzos de compresión, el índice de su calidad dependerá de las solitudes de resistencia a esfuerzos del concreto.

Para determinar la propiedad mecánica principal del concreto se realiza un ensayo que consiste en colocar los especímenes de concreto en la prensa hidráulica, en la que se aplicará una fuerza de compresión axial continua hasta que ocurra la rotura de la probeta del concreto. Para determinar la compresión se realiza la división entre la carga máxima alcanzada y la sección de la probeta de concreto. (Sota, 2017).

Para la prueba de resistencia a compresión se realiza según lo establecido en la norma (NTP 339.034, 2008)

Aparatos y materiales:



- Máquina para realizar el ensayo a compresión aplicando una carga continua sin interrupción ni detenimiento.

- Bloques de concreto depende a las siguientes dimensiones indicadas en la

Tabla 2:

**Tabla 2**

*Diámetros permisibles en probetas de ensayo según NTP 339.034*

<b>Diámetro de probeta de ensayo (mm)</b>	<b>Diámetro máximo (mm)</b>
50	105
75	130
100	165
150	255
200	280

Procedimiento:

- Los ensayos serán realizados una vez sacado la probeta de su curado.
- Las probetas serán protegidas para evitar la pérdida de humedad.
- Todas las probetas que se van a ensayar para una edad de ensayo establecida tendrán que ser fracturados en el tiempo permisible que muestra la siguiente tabla:

**Tabla 3**

*Edad y tolerancia de ensayo*

<b>Tolerancia permisible</b>	<b>Edad de ensayo</b>
+48 h o 2.2%	90 d
+20 h o 3.0%	28 d
+6 h o 3.6%	7 d
+2 h o 2.8%	3 d
+0.5 h o 2.1%	24 h

*Nota.* (NTP 339.034, 2008).



- Se debe colocar el espécimen de rotura alineando los ejes sobre el cabezal de la máquina de prueba.
- Verificar que esté en cero el indicador de carga antes de ensayar la probeta.
- Con una velocidad de esfuerzo constante aplicar continuamente la carga encima de la probeta sin detenerse de  $0.25 \pm 0.05$  MPa/s.
- Calcular la resistencia de la muestra a la compresión, dividiendo la carga máxima alcanzada en el transcurso del ensayo, entre el área media de la sección diametral promedio determinado y considerar el resultado con aproximación a 0.1 MPa.
- Corregir si en caso la relación entre el diámetro y la longitud es menor a 1.75 con la siguiente tabla:

**Tabla 4**

*Relación longitud/diámetro*

<b>L/D</b>	1.00	1.25	1.50	1.75
<b>factor</b>	0.87	0.93	0.96	0.98

*Nota.* (NTP 339.034, 2008).

### **2.1.3.2. Resistencia a la tracción del concreto**

Normalmente esta propiedad no es considerada para diseñar una estructura, ya que la resistencia a la tracción que tiene es muy baja. Por otro lado, los concretos que son constituidos por agregados livianos tienden a encogerse más de la normalidad, por lo que esta propiedad es importante y en estos casos se tomaría en cuenta su diseño; también es importante en el agrietamiento del concreto debido a la restricción de la contracción provocada por la disminución de la temperatura o el secado del concreto. En esta propiedad es complejo el cálculo de la resistencia a la tracción por medio de ensayos

directos, por su incertidumbre y las dificultades para montar las muestras de concreto (Sota, 2017) .

Según, Sota (2017) hay una forma indirecta de medir la resistencia a la tensión mediante una probeta cilíndrica estándar de 0.30 m de longitud y de 0.15 m de diámetro cargándolo a compresión de forma longitudinal, los apoyos pueden ser listones de madera laminada o cartón con un ancho aproximado de 2.5 cm y un espesor aproximado de 0.3 cm, estas deben estar libres de imperfecciones. Los procedimientos del curado y la elaboración de la probeta son similares a los procedimientos de la prueba a compresión, la velocidad que se aplica en la carga de este ensayo es de 7 a 15 kg/cm<sup>2</sup>/min. Y se calcula mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 1:** Resistencia a la tracción del concreto

$$RT = \frac{2P}{\pi LD} \quad (1)$$

Dónde:

RT: Resistencia a la tracción de un cilindro (kg/cm<sup>2</sup>).

P: Máxima carga aplicada (kg).

L: Longitud del cilindro (cm).

D: Diámetro del cilindro (cm).

### **2.1.3.3. Resistencia a flexión del concreto**

Se encuentra normalmente en las losas y vigas, también es conocida como módulo de rotura (MR) y su unidad está expresada en MPa. Mediante los ensayos ASTM C78 o ASTM C293 se determina la resistencia a flexión, para medirlo se aplica cargas en vigas con una sección transversal de 100 mm x 100 mm, la longitud de su luz debe de ser tres veces su espesor como mínimo. La resistencia a flexión se expresa también como una medida de la resistencia a tracción (NRMCA, 2021).



El valor del módulo de rotura dependerá de las características del agregado empleado en el concreto, usualmente está entre el 10 % y el 20 % de la compresión (NRMCA, 2021).

### **Método de ensayo ASTM C78**

#### **a. Aparatos y materiales:**

- Para desarrollar los ensayos de flexión en el concreto las máquinas para el ensayo deben cumplir con las especificaciones requeridas en la norma, estas deben de tener la capacidad para conservar la distancia de separación especificadas entre los bloques donde se aplica la carga y los bloques que lo soportan, la variación debe ser  $\pm 1.3$  mm.
- Para el ensayo las probetas deberán estar acorde a lo que piden los métodos de ensayo C42, fines prácticos C31 o el C192 aplicados en la viga y las probetas con secciones prismáticas, con una longitud de tres veces su altura, las variaciones no deben sobrepasar el 2 %.

#### **b. Procedimiento**

- Las probetas que están con curado húmedo se deben ensayar tan pronto se los retire de su almacenamiento.
- Para ensayar las probetas que fueron moldeadas, acomodarlas en la posición en que estas fueron moldeadas, luego se centra en los bloques de soporte.
- Colocar una carga continua a la probeta sin la necesidad de golpearla.
- En la fractura, para calcular la razón en el ensayo a flexión se utiliza la siguiente fórmula.



### **Ecuación 2:** Razón de carga

$$r = \frac{Sbd^2}{L} \quad (2)$$

Dónde:

r = Es la razón de carga (MN/min)

S= La razón del aumento del esfuerzo en la fibra extrema (Mpa/min)

b = Ancho promedio del espécimen en la fractura (mm)

d= Altura promedio del espécimen (mm)

L= Longitud entre apoyos (mm)

- La siguiente ecuación es utilizada cuando la rotura se da en la superficie de tensión, dentro del tercio central de la longitud de la viga.

### **Ecuación 3:** Módulo de rotura

$$R = \frac{PL}{bd^2} \quad (3)$$

Dónde:

R = Módulo de Ruptura (Mpa)

P = Máxima carga aplicada, indicada por la máquina (N)

L = Longitud entre apoyos (mm)

b = Ancho promedio del espécimen en la fractura (mm)

d = Altura promedio del espécimen en la fractura (mm)

- La siguiente ecuación se utiliza cuando la fractura ocurra en la superficie a tensión entre apoyos a una longitud fuera del tercio medio, la distancia no debe sobrepasar el 5 % de la luz libre.



#### **Ecuación 4: Módulo de rotura**

$$R = \frac{3Pa}{bd^2} \quad (4)$$

Donde:

a = Distancia promedio entre el apoyo más próximo y la línea de fractura, que se mide en una superficie a tensión (pulg. o mm)

- Cuando la fractura ocurre a una longitud entre apoyos fuera del tercio medio de la superficie a tensión, superando el 5 % la longitud de la luz libre, el resultado obtenido en el ensayo será descartado.

#### **2.1.4. Propiedades físicas del concreto**

Dependen de las propiedades que poseen cada uno de los materiales para el mezclado.

El peso específico (masa unitaria, densidad, peso volumétrico) que se usa en el concreto convencional, aplicado en edificaciones, infraestructura vial entre otros, varía entre los 2200 kg/cm<sup>3</sup> hasta 2400 kg/cm<sup>3</sup>. Esta varía de acuerdo a la cantidad de los materiales que la componen, como el aire atrapado, la densidad del agregado y las cantidades de cemento y agua.

La densidad es la relación entre el volumen de los sólidos y el volumen total del concreto. También es conocido como el porcentaje de material sólido de un volumen de concreto. El peso unitario del concreto se manifiesta en kg/m<sup>3</sup>, esta se puede representar en una muestra de concreto. La cantidad de agregado y la gravedad específica son algunos de las propiedades que afectan el peso unitario que resulta en la mezcla en estado fresco. El peso unitario puede variar con los agregados de alta porosidad esto depende si la





absorción del pre - humedecimiento del árido esté satisfecha antes de realizar la dosificación. En los concretos pesados, el peso unitario puede llegar hasta los 5000 kg/m<sup>3</sup>, esta puede estar compuesta por los agregados artificiales o naturales con una gravedad específica alta. Por otro lado, los concretos livianos pueden tener una densidad de 480 hasta 1600 kg/m<sup>3</sup>, estos concretos pueden estar compuestos por agregados artificiales o naturales con una gravedad específica baja. (Riva, 2004).

Por lo general el concreto tiene un peso específico de 2400 kg/m<sup>3</sup> (150 libras/piés<sup>3</sup>). Para obtener el porcentaje de absorción, las densidades secas y húmedas y el volumen de poros permeables del concreto en estado endurecido, se retira las muestras de la posa de curado, y se lleva a un horno con una temperatura de 110 °C ± 5 °C por el tiempo no menor de 24 horas, luego se hace enfriar en un desecador hasta que la muestra esté con una temperatura aproximada de 20 °C a 25 °C, nuevamente se pesa. Se satura la muestra de concreto en agua por no menos de 48 horas, luego se retira del recipiente en el que se ha sumergido, se seca superficialmente y se pesa. Después se coloca en una olla durante 5 horas para el proceso de ebullición, al término de este procedimiento se hace enfriar las muestras por 14 horas, se seca la muestra superficialmente y se registra el peso; por último, se anota el peso aparente suspendido (ASTM C642, 2013)

A: Peso seco después de 24 horas en el horno

B: Peso del espécimen sumergido en agua durante 48 horas

C: Peso de la muestra ebullicida en una olla por un periodo de 5 horas y de ser enfriado durante 14 horas

D: Peso aparente sumergida

#### **Ecuación 5: Absorción después de la inmersión**

$$\frac{B - A}{A} \times 100 \quad (5)$$



**Ecuación 6: Absorción después de la inmersión y hervido**

$$\frac{C - A}{A} \times 100 \quad (6)$$

**Ecuación 7: Densidad seca**

$$\frac{A}{C - D} \times \gamma_{agua} \quad (7)$$

**Ecuación 8: Densidad después de la inmersión**

$$\frac{B}{C - D} \times \gamma_{agua} \quad (8)$$

**Ecuación 9: Absorción después de la inmersión y hervido**

$$\frac{C}{C - D} \times \gamma_{agua} \quad (9)$$

**Ecuación 10: Densidad aparente**

$$\frac{A}{A - D} \times \gamma_{agua} \quad (10)$$

**Ecuación 11: Volumen de poros permeables**

$$\frac{C - A}{C - D} \quad (11)$$

## 2.2. MARCO CONCEPTUAL

**El concreto.** Es un material muy manejado en el mundo, está netamente constituido de cemento portland con arena, piedra triturada y agua. En muchos países el uso de concreto excede de 10 a 1 al acero. El concreto no es tan resistente a comparación del acero, pero posee una buena resistencia al agua a diferencia de los demás materiales de construcción (Mehta & Monteiro, 1985, p. 1).

**Concreto fresco.** El hormigón es un material resultante de la aglomeración de áridos finos y grandes, por una pasta de cemento que posiblemente contenga aditivos, es llamado fresco mientras la pasta está en un estado fluido o plástico y permitir un



reordenamiento de las partículas constituyentes por una acción dinámica (Sávio, 2000, p. 5).

**Concreto endurecido.** Hoy en día aún no se hizo válido la descripción del comportamiento del concreto bajo los esfuerzos a los que es sometido una estructura, las propiedades más conocidas del concreto en estado seco son la resistencia a compresión, tracción, flexión, impermeabilidad, durabilidad, resistencia térmica (Pacheco, 2017, p. 17).

**Curado del concreto.** Es el proceso mediante el cual se evita la pérdida de humedad y controla la temperatura del concreto durante un lapso necesario para que esta pueda llegar a una resistencia adecuada (Mehta & Monteiro, 1985, p. 227).

**Curado natural.** Trata de un curado en donde las condiciones ambientales proporcionan suficiente humedad y una temperatura favorable de forma constante, sin la necesidad de requerir acción alguna (Solís & Moreno, 2005, p. 6).

**Velocidad de secado del concreto.** El concreto requiere de humedad para endurecerse e hidratarse; la resistencia deja de aumentar cuando el concreto se seca por completo, la velocidad de secado es útil para entender las condiciones físicas del concreto (Kosmatka et al. 2004, p. 7)

**Resistencia a la compresión.** Es la capacidad máxima de resistencia del concreto a carga axial y es expresado en  $\text{kg/cm}^2$  a 28 días de curado, con este ensayo se verifica la calidad del concreto y está establecido en la norma NTC 550 y 673 (Rivera, 2013, p. 9).

El valor de  $f'c$  debe fundamentarse en los resultados de las pruebas de compresión a 28 días. En caso que se requieran resultados a otra edad, deberán estar indicados en las especificaciones técnicas y planos del proyecto (RNE E.060, 2009)



**Resistencia a tracción.** El concreto no posee una alta resistencia a la tensión por lo que este parámetro no se considera en construcciones normales; sin embargo, la tensión es un factor importante para verificar el agrietamiento del concreto causado por el impedimento de la contracción provocada por el secado o reducción de temperatura (Rivera, 2013, p. 10).

**Resistencia a la flexión.** Esta propiedad es baja si lo comparamos con la resistencia a la compresión; pero muy alta a comparación de la resistencia a la tracción, el ensayo lo aplicamos especialmente en estructuras como pavimentos rígidos. También es llamado módulo de rotura (Rivera, 2013, p. 10).

## 2.3. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

### 2.3.1. *Antecedentes internacionales*

Ortiz et al. (2007) en su investigación denominada “Influencia de la temperatura ambiental en las propiedades del concreto hidráulico”, cuya finalidad fue determinar la influencia de cada componente del concreto, sobre la temperatura, resistencia a la compresión y trabajabilidad del concreto. La metodología utilizada cuenta con un diseño experimental de estudio. Los resultados logrados en 28 días para la resistencia a la compresión del concreto evaluados a 20 °C dan como resultado 43.3 MPa, las resistencias en el invierno con temperatura de 6 °C tienen una media de 45.3 MPa y las resistencias en el verano a temperatura de 38 °C tienen una media de 41.7 MPa. En dicha investigación se concluye que en el invierno se logró mayor resistencia con respecto al verano, habiendo tomado como punto de intermediación el concreto en referencia. Se tiene una mejor resistencia a las últimas horas del día, teniendo como tendencia la función de la hora de fabricación y la condición del clima.

Asimismo, Gómez & Vidal (2006) en su investigación denominada “Influencia de la resistencia a compresión de hormigones por efecto de la temperatura ambiente”,



tuvo como objetivo definir el influjo de la temperatura ambiente en la evolución de la resistencia a compresión entre 7 y 28 días. La metodología empleada cuenta con un diseño experimental. Para realizar el estudio se tomaron y analizaron 778 muestras de concreto de grado H30, H25 y H20 con un defecto de 5 % y 10 %, estas fueron sometidas a compresión en 7 y 28 días. Para lo cual las temperaturas de concreto que se consideraron están entre 5 °C y 35 °C, excluyendo así las temperaturas que corresponden a hormigones especiales (tiempo caluroso y frío). En el resultado hay una clara tendencia que nos da a entender que mientras las temperaturas de los moldes de las probetas aumentan a 35 °C, la resistencia a compresión, se reduce a 28 días. Llegando a la conclusión de que al conservar las muestras en laboratorio y mantener las muestras dos días en obra, se obtiene una mayor resistencia cuando la temperatura es cálida (20 °C); por otro lado, en temperaturas frías la resistencia merma su valor.

### **2.3.2. Antecedentes nacionales**

Según Gálvez (2019) en su tesis denominada “Influencia de la temperatura en la resistencia del concreto a la compresión”, tuvo como finalidad especificar la influencia que existe en la resistencia a la compresión del concreto, las bajas temperaturas 5 °C, temperaturas habituales 20 °C y altas temperaturas 35 °C. La metodología empleada cuenta con un método inductivo, analítico y sintético, enfocado cualitativamente, un tipo aplicado de estudio y el diseño experimental de investigación ya que las pruebas se realizan a temperaturas bajas, normales y altas. Los resultados obtenidos muestran una resistencia media a los 28 días de curado y a temperaturas de 5 °C, 20 °C y 35 °C de 148 kg/cm<sup>2</sup>, 215 kg/cm<sup>2</sup> y 190.4 kg/cm<sup>2</sup>, deduciéndose que la resistencia a la compresión es más eficiente a temperaturas óptimas de 20 °C, siendo deficiente e incumpliendo la resistencia de diseño a temperaturas bajas faltando un 27 % para llegar a la resistencia de diseño, y a altas temperaturas se tiene una disminución del 10 % según la resistencia de



diseño. En dicha investigación se concluye que a 20 °C y a los 28 días se logra un promedio de 215 kg/cm<sup>2</sup> en la resistencia.

Asimismo, Salvador (2019) en su tesis titulada “Análisis de la influencia de la temperatura del agua en la resistencia a la compresión en elementos estructurales a 4380 m.s.n.m. – Chaupimarca - Pasco”, tiene como objetivo calcular si el agua tiene influencia en la resistencia a la compresión de cada elemento estructural en una altura elevada. La metodología empleada fue del tipo descriptivo y explicativo, teniendo como resultado que a una temperatura de 4 °C desarrolla una resistencia de 279.17 kg/cm<sup>2</sup>, para 15.5 °C presenta 306.43 kg/cm<sup>2</sup>, para 30 °C 332.29 kg/cm<sup>2</sup>, para 60 °C presenta 357.48 kg/cm<sup>2</sup> y para 80 °C presenta 258.89 kg/cm<sup>2</sup>, concluyendo que las probetas ensayadas a temperaturas altas presentan una resistencia a la compresión ascendente salvo al llegar a un punto de ebullición en donde la resistencia decae.

Al igual que, Huaricancha (2018) en su tesis denominada “Influencia de la temperatura ambiente en la resistencia a la compresión del concreto  $f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup> en más de 4380 m.s.n.m. Yanacancha - Pasco”, tuvo por objetivo determinar si la temperatura tiene influencia en la resistencia a compresión del concreto a una elevada temperatura. La metodología aplicada en dicha tesis fue del tipo aplicada con un nivel descriptivo, cuyos resultados obtenidos fueron que a la temperatura ambiente de 5 °C, 7 °C, 8 °C, 9 °C, 10 °C y 11 °C se obtuvieron resistencias de 214 kg/cm<sup>2</sup>, 224 kg/cm<sup>2</sup>, 238 kg/cm<sup>2</sup>, 261 kg/cm<sup>2</sup>, 267 kg/cm<sup>2</sup> y 271 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, concluyendo que la temperatura influye directamente con la resistencia, ya que a mayor temperatura las resistencias están en aumento.

También, Aguinaga (2019) en su tesis denominada “Mitigación de los efectos negativos en el concreto de  $f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup>, producidos por las altas temperaturas en la ciudad de Tarapoto”, tuvo por objetivo efectuar un análisis de comparación entre el



cambio de la resistencia a compresión del hormigón con las temperaturas ambientales altas existentes. La metodología que se utiliza en esta investigación es experimental y explicativo, pues se realizó determinadas pruebas con tres condiciones, el concreto Patrón como condición No. 01 será elaborado y curado en laboratorio, en la condición No. 02 el curado del concreto se realizó en campo bajo en condiciones extremas y, por último la condición No. 03 se realizó el curado en campo, con condiciones extremas con agua helada, esto se realizará con el fin de dar a conocer los efectos que causan las temperaturas altas en la resistencia del concreto en compresión que se prepara y se hace el vaciado en la obra, y se buscó reducir estos efectos. Los resultados encontrados en condiciones de elaboración y curado en laboratorio obtuvieron una resistencia de  $f'c = 221.37 \text{ kg/cm}^2$ . Por otro lado, la resistencia a compresión en 28 días de las 2 muestras restantes es menor, donde el curado fue uno de los factores con más relevancia, con esto podemos decir que el curado es de vital importancia para el concreto; evidenciando una variación considerable que presenta la resistencia promedio del concreto patrón el mismo que fue curado en laboratorio con respecto a los concretos expuestos a las condiciones reales y extremas en obra. Pero en la condición No. 03 con curado en campo, con condiciones extremas con agua helada, se presenta una mejora en la resistencia promedio un 83.40 % de la resistencia diseñada que es de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  y con respecto a la condición No. 02 en el que se utilizó agua de temperatura ambiente, solo tiene una resistencia de 68.96 %. Se concluye que el curado realizado en condiciones de laboratorio tiene un mejor desempeño, comparándolo con las otras muestras en las que el curado fue realizado en condiciones de intemperie, con el clima que presenta la ciudad de Tarapoto; con esto se llegó a la conclusión, que el curado es de vital importancia para la resistencia del concreto, por lo que es necesario su control adecuado.



Barzola (2018) en su investigación denominada “Análisis de la influencia del gradiente térmico en la resistencia a la compresión en elementos estructurales en el distrito de Chaupimarca - Pasco – 2018”, tuvo como objetivo analizar la influencia que tiene el gradiente térmico en la resistencia a compresión en algunos elementos estructurales. La metodología fue de carácter descriptivo y explicativo, adecuándonos a un diseño no experimental ya que se trabajaron a temperaturas desde  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Los resultados obtenidos a temperatura óptima según norma ASTM C31 del curado a los 28 días, hubo una resistencia media de  $f'c = 214.72\text{ kg/cm}^2$  y a temperaturas bajas en la zona en mención a 28 días se tuvo la resistencia media de  $174.21\text{ kg/cm}^2$ . Por lo que se concluyó que la resistencia que se alcanzó al realizar los ensayos para el óptimo gradiente térmico están dentro de los límites que se requiere en la realización de los ensayos en los diferentes días y en el distrito de Chaupimarca en los ensayos que se realizaron para la gradiente térmica, la resistencia que se obtuvo está por debajo de las resistencias que se requieren en los diferentes días ensayados.

Finalmente, Álvarez & Coriat (2021) en su tesis denominada “Estudio de la densidad, porcentaje de absorción y vacíos del concreto cemento – arena empleando norma ASTM C642, Iquitos - 2021” presentado para la Universidad Científica del Perú, tiene por objetivo calcular el grado en el que influye un agregado fino en la absorción, densidades y volumen de poros de un concreto endurecido. La metodología del proyecto es de diseño experimental y de tipo correlacional. Se elaboraron especímenes de concreto, obteniendo como resultado para 0.60 de relación agua-cemento a la edad de 28 días un valor de 10.26% en la absorción después de la inmersión;  $2.41\text{ gr/cm}^3$  para la densidad aparente;  $1.93\text{ gr/cm}^3$  para la densidad seca y 19.95% para el volumen de poros permeables, concluyendo que el agregado fino afecta de manera mínima a la absorción,





densidad y vacíos de un concreto endurecido y que las densidades aumentan de 7 a 28 días, la absorción disminuye y el porcentaje de poros disminuyen.

### 2.3.3. *Antecedentes regionales*

Según Quispe (2017) en su proyecto de investigación denominada “Influencia del gradiente térmico en la resistencia del concreto en la ciudad de Puno – 2017”, tuvo por objeto precisar la incidencia que existe entre la resistencia del hormigón en compresión y el gradiente térmico. La metodología tiene un enfoque cuantitativo, de carácter experimental y nivel explicativo. Los resultados obtenidos en esta investigación fueron evaluados en dos condiciones de acuerdo a las normas ASTM C31 y ASTM C192, para la primera condición a los 7, 14, 21 y 28 días de curado se tiene 65.8 %, 80.7 %, 98.1 % y 102.2 % respectivamente, estos referido a la resistencia de diseño  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  y para la segunda condición se tiene un 50.7 %, 57.7 %, 78.1 % y 82.6 % respectivamente según la resistencia de diseño, deduciéndose que a más altura del nivel del mar, las resistencias a los diferentes días de curado se reducen en una media de 19 % en comparación a zonas con gradientes térmicos óptimos. Concluyendo que el gradiente térmico del agua afecta a la resistencia a compresión, y a 28 días de edad es 19.15 % veces menor a la del concreto curado en condiciones de gradiente térmico óptimo.

Asimismo, Quispe & Tintaya (2019), en su investigación denominada “Análisis comparativo de técnicas de curado en concretos expuestos a ciclos de congelamiento y deshielo en la región de Puno” cuyo objetivo fue realizar una comparación de los diferentes tipos de curado existentes durante el progreso de la resistencia a compresión del hormigón sometido a ciclos diferentes de deshielo y congelamiento, las cuales fueron analizados mediante una simulación en laboratorio y secados al ambiente en el proceso de endurecimiento. La metodología empleada fue de diseño experimental que consistió en la realización de probetas con las dimensiones de 4” x 8”, con un  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  de



resistencia a la compresión. Para lo cual se repartió en 02 grupos de concretos: a) Los que se expusieron a la temperatura ambiente, b) Los que se expusieron al congelamiento y deshielo. En las muestras que se expusieron al ambiente se registraron en una temperatura mínima de 5 °C y una temperatura máxima promedio de 18 °C y a las muestras que fueron expuestas en el proceso de congelamiento y deshielo se registraron a una temperatura desde -20.2 °C hasta 7.5 °C. Del estudio se pudo comprobar que, mediante la aplicación del polietileno y estiércol de ovino en el curado, que fueron expuestos al deshielo y congelamiento, se pudo lograr una resistencia a la compresión de 88.25 % con lo esperado a la resistencia del diseño, el curado con polietileno se obtuvo un 60.94 % y el curado sin protección alguna de obtuvo un 57.55 %. Las muestras que se sometieron al ambiente, el curado que fue sumergido alcanzó un 96.53 % y el curado por riego un 78.94 % obteniendo como resultado que la media alcanzada por la resistencia de los concretos sin protección que fueron expuestos al deshielo, congelamiento y curados por riego a 7 días es de 53.12 kg/cm<sup>2</sup> con un porcentaje de 25.30 % de su resistencia a la compresión, por otra parte, la resistencia alcanzada a los 14 días es de 98.22 kg/cm<sup>2</sup> con un promedio de 46.77 % y por último a los 28 días la resistencia que alcanzó fue de 120.85 kg/cm<sup>2</sup> con un porcentaje de 57.55 %. Concluyendo que las muestras que fueron expuestas al ambiente y curado sumergido presentaron una resistencia a compresión de 202.30 kg/cm<sup>2</sup> en promedio y para el curado por riego un 165.78 kg/cm<sup>2</sup>, con temperaturas ambiente mínimo y máximo de 5 °C y 18 °C en promedio; las muestras expuestas a deshielo y congelamiento al aplicar métodos de curado y de defensa con polietileno, polietileno más estiércol de oveja y polietileno más viruta presentaron una resistencia de 127.98 kg/cm<sup>2</sup>, 185.32 kg/cm<sup>2</sup> y 160.44 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, con unas temperaturas ambientales que varían entre los -20.2 °C hasta los 7.5 °C.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

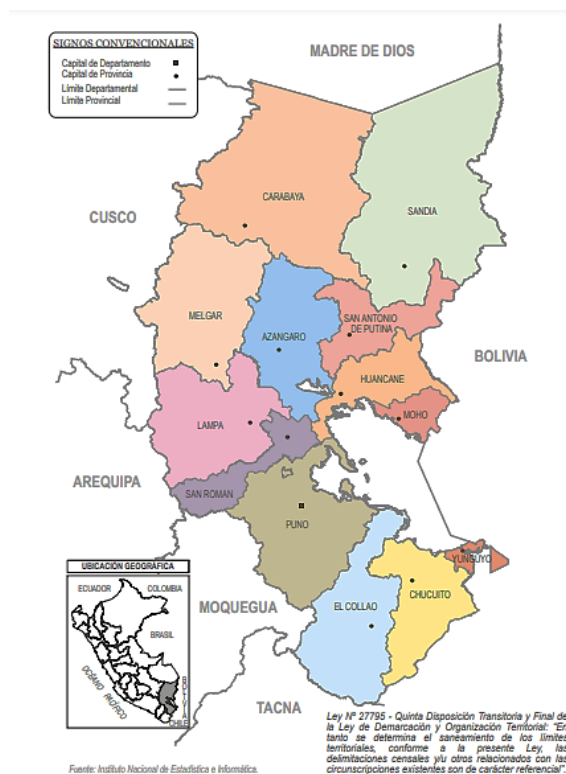
Los materiales y métodos utilizados en esta investigación son detallados a continuación:

#### 3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

La investigación fue desarrollada en la ciudad de Puno, cuenta con a una altitud de 3824 m.s.n.m., la misma que origina la variedad de climas, tal como se indicó en la parte introductoria de la presente investigación.

#### Figura 2

*Mapa de la región Puno*



*Nota.* Mapa de la región Puno con las 13 provincias. Reproducida de Mapa del departamento de Puno, del INEI 2015, ([https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digiales/Est/Lib1205/mapas/mapa23.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digiales/Est/Lib1205/mapas/mapa23.pdf)).



### **3.2. UBICACIÓN DEL LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN**

La ejecución de la investigación, se desarrolló en el laboratorio de investigación y ensayos de materiales G&C GEOTECHNIK MATERIAL TEST LABOR, ubicado en la Av. Simón Bolívar No 2740 de la ciudad de Puno.

### **3.3. PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO**

Esta investigación se desarrolló desde diciembre de 2020 hasta enero de 2022, periodo en el que se recabó datos de estaciones hidrológicas, revisión bibliográfica, ejecución de los ensayos en laboratorio, procesamiento de datos, y redacción de la tesis.

### **3.4. MATERIALES Y METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

#### ***3.4.1. Etapa preliminar***

Se hizo una revisión bibliográfica para tener las consideraciones en la etapa experimental en laboratorio, para lo cual se empleó materiales tales como:

- Laptop de escritorio para la búsqueda de fuentes de información.
- Libros referidos al concreto.
- Investigaciones relacionadas al proyecto.
- Útiles de escritorio para apuntar la recolección de datos

#### ***3.4.2. Etapa de campo***

Se hizo la recolección de materiales para elaborar especímenes cilíndricos 1570 cm<sup>3</sup> y prismáticas de 3600 cm<sup>3</sup> y 350 cm<sup>3</sup>, los áridos fueron extraídos de la cantera Cutimbo que se encuentra en la provincia de Puno, departamento de Puno a 23+00 km, lado derecho carretera Puno – Moquegua, donde se extrajeron los agregados finos y gruesos, tal como se observamos en la Figura 3 y Figura 4.

Se utilizaron los materiales siguientes:

- Costales para la extracción de agregados.
- Equipos de toma de fotografías.

### Figura 3

*Cantera Cutimbo*



### Figura 4

*Agregados extraídos de la cantera Cutimbo*



#### 3.4.3. *Etapa de laboratorio*

El laboratorio donde se realizó los ensayos es G&G GEOTECHNIK MATERIAL TEST LABOR. La constancia de ejecución de ensayos está en el Anexo No 11.

### 3.4.3.1. Ensayo de los agregados

Se procedió a realizar los diferentes ensayos para los áridos gruesos y finos como: granulometría, contenido de agua, absorción de áridos y peso específico, peso unitario compactado y suelto de los áridos, etc.

Materiales:

- Taras
- Bandejas de aluminio
- Molde cilíndrico para peso unitario
- Varilla hemisférica de 5/8"
- Balanza electrónica
- Probeta
- Horno eléctrico
- Juego de tamices
- Picnómetro de 500 ml
- Molde troncocónico y pisón metálico 340 g

#### Figura 5

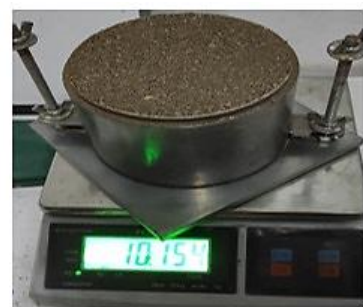
*Procedimiento de ensayos en laboratorio*



Cuarteo de los Agregados



Ensayo de Peso Unitario Suelto y Compactado de los Agregados



Peso Compactado del Agregado Fino



Ensayo para la Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino



Ensayo de Peso Específico de Agregado Fino (Extracción de Aire)



Ensayo de Peso Específico y Absorción de Agregados Gruesos

### 3.4.3.2. Diseño de mezcla del concreto

Esta prueba se realizó conforme a la norma ACI 211.1 donde nos indica cómo realizar el diseño de mezclas para un concreto con peso específico de peso normal, pesado y masivo.

Materiales:

- Cemento Portland (Rumi IP)
- Agregado grueso TMN 3/4" o 19.05 mm (cantera Cutimbo)
- Agregado fino con módulo de fineza de 3.057 (cantera Cutimbo)
- Agua potable

Procedimiento:

- Se seleccionó los materiales intervinientes (cemento, agregados, agua), para ello primero se establece la resistencia a compresión promedio, luego se diseña la mezcla del concreto nos da valores como: la relación agua/cemento, el asentamiento, las proporciones en peso y volumen de árido fino, grueso, cemento y aire.

### Figura 6

*Procedimiento del vaciado de probetas cilíndricas y prismáticas*



### 3.4.3.3. Curado del concreto a diferentes temperaturas

Para el curado por inmersión se realizó conforme a la norma ASTM C 192, utilizando diferentes temperaturas de agua para curado, los cuales fueron: -5 °C, 0 °C, 10 °C, 15 °C y 20 °C.

Materiales:

- Agua potable para el curado del concreto
- Pozas de curado a diferentes temperaturas implementadas con equipos electrónicos. Los certificados de fabricación se muestran en el Anexo No. 13.
- Tres equipos electrónicos calentadores de agua: compuesto por el controlador y regulador de temperatura con termostato de pantalla digital KKmoon, un relé y una resistencia.
- Un equipo electrónico enfriado de agua: compuesto por el controlador y regulador de temperatura con termostato de pantalla digital KKmoon, un relé y radiador con ventiladores.
- Congeladora horizontal Miray modelo MC-400H.

Los materiales utilizados en la investigación se visualizan en la Figura 7.

Procedimiento:

- Una vez adaptado las pozas de curado con los equipos electrónicos mencionados, se colocaron los especímenes de concreto en las pozas correspondientes para el curado por inmersión. Para el caso de las temperaturas de -5 °C y 0 °C el curado se realizó en las congeladoras para ser curadas a temperaturas bajas. Para las probetas curadas a 5 °C, se utilizó el equipo enfriador de agua y para los especímenes curados a 10 °C, 15 °C y 20 °C se utilizaron los equipos calentadores de agua.

El curado de especímenes se visualiza en las Figuras 8 y 9.

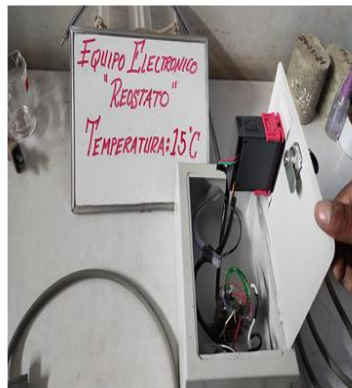


### Figura 7

*Equipos electrónicos (3 calentadores, 1 enfriador y 2 congeladoras)*



Equipo Electrónico Reóstato para 20 °C



Equipo Electrónico Reóstato para 15 °C



Equipo Electrónico Reóstato para 10 °C



Equipo Electrónico Enfriador para 5 °C



Equipo Congelador para 0 °C



Equipo Congelador para -5 °C

### Figura 8

*Curado de probetas y vigas a 20 °C, 15 °C, 10 °C y 5 °C*



Curado de Probetas y Vigas a 20 °C



Curado de Probetas y Vigas a 15 °C



Curado de Probetas y Vigas a 10 °C



Curado de Probetas y Vigas a 5 °C



Tesisistas con las Posas de Curado



Tesisistas con las Posas de Curado

## Figura 9

*Curado de probetas y vigas a 0 °C y -5 °C*



En el caso de las congeladoras, las temperaturas se programaron de acuerdo a las especificaciones técnicas y manual del producto Miray modelo MC-400H y para su verificación adicional de las temperaturas producidas por estas congeladoras, se hicieron mediciones periódicas con un termómetro digital de aguja, mismo que se proporcionó por el laboratorio donde se ejecutó la investigación.

## Figura 10

*Verificación de temperatura con termómetro digital*



### 3.4.3.4. Resistencia a la compresión

Esta prueba fue realizada según a la norma ASTM C39 (2014), en donde nos muestran los materiales, equipos y procedimiento a utilizar.

Materiales:

- Prensa hidráulica de rotura de briqueta (especificaciones en el Anexo No. 13)

Procedimiento:

- Colocar el espécimen cilíndrico con las medidas adecuadas a la prensa hidráulica.
- Antes de ensayar el indicador de carga debe estar en cero.
- La velocidad de carga para la rotura debe ser constante a 0.25 Mpa/s
- Registrar la carga final y el tipo de falla cuando el espécimen llegue al punto de rotura.

### Figura 11

*Rotura de probetas de acuerdo al ASTM C-39*



### 3.4.3.5. Resistencia a la tracción

Realizado conforme a la norma ASTM C496 (2011), esta prueba consiste en aplicar una carga de compresión a lo largo del diámetro del espécimen cilíndrico, con una velocidad continua dentro del rango establecido hasta que ocurra la falla, la carga aplicada provoca tensiones de tracción en el plano al igual que tensiones de compresión superiores en el área alrededor de la carga aplicada de manera inmediata. Se ocasiona una falla de tracción en vez de una falla a compresión porque las áreas de aplicación de carga están en un estado de compresión triaxial, lo que le permite a la muestra soportar una compresión superior. Esta compresión que emula la prueba de resistencia a la compresión, genera un esfuerzo uniaxial en los lados diametrales del espécimen.

Materiales:

- Prensa hidráulica de rotura de briqueta
- Acople metálico para la sujeción de la briqueta.

Procedimiento:

- Colocar el espécimen cilíndrico dentro del acople metálico, de tal forma que la briqueta quede sujeta en el proceso de rotura. La briqueta debe estar colocado lateralmente, es decir el largo de la muestra tendrá el contacto con la base de la prensa.
- Antes de ensayar, la carga a aplicar debe de estar en cero.
- La velocidad de carga para la rotura debe ser constante a 0.70 Mpa/min
- Registrar la carga última cuando el espécimen llegue al punto de rotura.

**Figura 12**

*Rotura de probetas de acuerdo al ASTM C-496*



### 3.4.3.6. Resistencia a la flexión

Esta prueba se realizó conforme a la norma ASTM C78 (2018), el cual consiste en el cálculo de la resistencia a la flexión, utilizando una simple viga con cargas en tres puntos. Las unidades son medidas en el sistema internacional. Este método es usado en probetas curadas y preparadas conforme al método ASTM C 192.

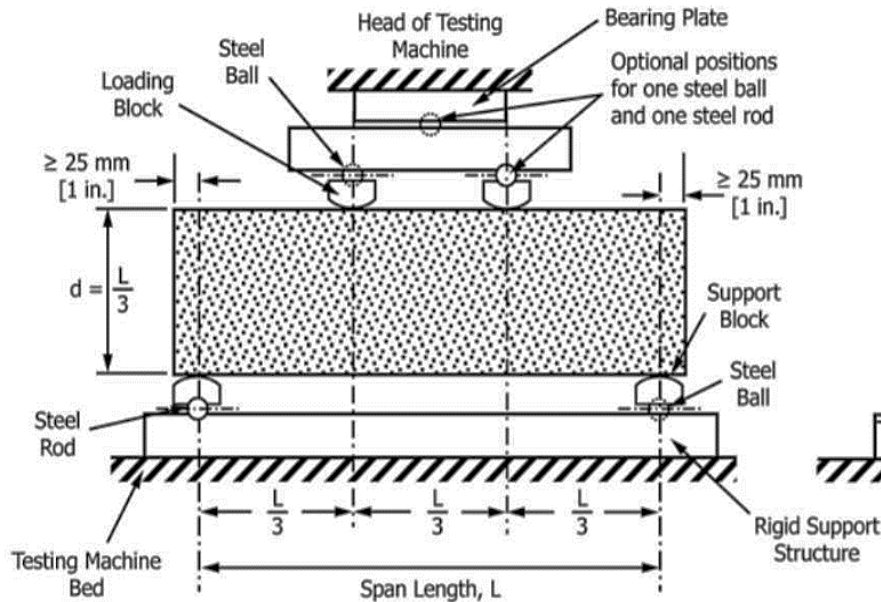
Materiales:

- Prensa hidráulica.
- Placa metálica con dos apoyos de barra, ubicados en los tercios extremos de la base de la viga.

- Placa metálica con dos apoyos de barra, ubicados en ambos márgenes del tercio central, será colocado en la superficie superior de la viga, ver Figura 13.

### Figura 13

*Detalle de puntos aplicación de carga para ensayo de flexión*



*Nota.* Reproducida de ASTM C-78-21

Procedimiento:

- Colocar el espécimen prismático o viga simple sobre la placa metálica con barras, a su vez, encima estará la placa metálica con las dos barras al tercio central, tal como se visualiza en la Figura 13.
- Antes de ensayar, la carga a aplicar debe de estar en cero.
- La velocidad de carga para la rotura debe ser constante a 0.90 Mpa/min
- Registrar la carga última cuando el espécimen llegue al punto de rotura. Verificar y anotar la ubicación de la línea de rotura, la misma que determinará los cálculos de la resistencia a la flexión tal como indica el ítem 8 de la norma ASTM C78.

**Figura 14**

*Rotura de vigas de acuerdo al ASTM C-78*



### 3.4.3.7. Absorción del concreto, peso específico y volumen de poros permeables

Esta prueba se realizó conforme a la norma ASTM C 642 (2013), el cual consiste en calcular la densidad, la absorción y el porcentaje de vacíos en el concreto endurecido. Luego del curado de los especímenes a las edades requeridas, estos deberán seguir el proceso descrito en el ítem 5 de la norma en mención, los cuales son:

#### Procedimiento

- Masa seca al horno: primero, se colocan los especímenes en el horno a una temperatura de  $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$  para el secado durante no menos de 24 horas. Transcurrido este tiempo, se deberá hacer enfriar las muestras en aire seco



- hasta llegar a una temperatura de 20 °C a 25 °C; registrar el peso seco. A este valor se le denomina Valor A.
- Masa saturada después de la inmersión: las muestras, se sumergen en un recipiente con agua a 21 °C, las mismas que deberán saturarse por no menos de 48 horas. Luego de este tiempo, retirar del recipiente y secarlas superficialmente, registrar el peso saturado. A este valor se le denomina Valor B.
  - Masa saturada después de la ebullición: luego de los procedimientos anteriores, las muestras se introducen en un recipiente con agua para hacerlo hervir por el tiempo de 5 horas. Transcurrido ese lapso, deberán dejar enfriarse las muestras por 14 horas aproximadamente hasta llegar a la temperatura de 20 °C a 25 °C, retirar del recipiente y secar superficialmente las muestras, proceder a su pesado. A este valor se le denomina Valor C.
  - Masa aparente sumergida: Finalmente cada muestra debe ser pesada sumergido en agua, sostenido por un cable o cuerda a la balanza. Por lo general el peso sumergido registran valores a la mitad de su peso normal. A este valor se le denomina Valor D.
  - Con los valores A, B, C y D, hacer los cálculos correspondientes de acuerdo a las ecuaciones 5 al 11 descritos en la presente investigación.



## Figura 15

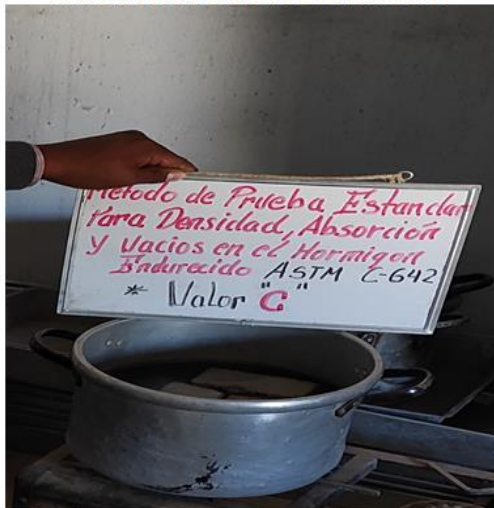
### Procedimiento para el cálculo de propiedades físicas del concreto



Muestra Secada al Horno - ASTM-C642



Saturación de Muestra - ASTM-C642



Muestra Sometido a la Ebullición - ASTM-C642



Muestra Sumergida - ASTM-C642

*Nota:* Procedimiento para el cálculo de porcentaje de absorción, peso específico y volumen de poros permeables del concreto.

#### 3.4.4. Etapa de gabinete

En la etapa de gabinete de la presente investigación realizamos el análisis y el procesamiento de resultados adquiridos en la etapa de laboratorio, colocando los datos de cada prueba en las fichas de laboratorio, además de usar softwares para procesar los datos obtenidos y colocar los resultados finales de cada prueba, resultados que son presentados en los Anexos No. 3 al 7.

### **3.5. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

Según Hernández et al. (2014) indica:

Los enfoques cuantitativos, cualitativos y mixtos conforman posibles opciones para enfrentar problemas de investigación y resultan muy valiosos. Los métodos cualitativos buscan dispersar o ampliar los datos y la información, mientras que los métodos cuantitativos limitan la información (medir con precisión las variables estudiadas, con un enfoque).

De acuerdo al alcance de nuestro estudio, la tesis presenta un enfoque cuantitativo la cual utiliza datos y variables de estudio que siguieron procesos científicos probatorios y los resultados obtenidos contribuyen y refuerzan el conocimiento científico.

#### **3.5.1. Nivel de Investigación**

Según Pino (2018) menciona que el nivel de estudio Correlacional “es aplicado normalmente para comprobar la variación de un aspecto a más en porcentajes.” Esta forma de estudio nos sirve para medir la interacción entre dos variables a través de una prueba estadística.

En la presente investigación, el nivel es Correlacional, puesto que se busca establecer una correlación entre la variable “temperatura del agua para curar el concreto” y las resistencias mecánicas y físicas finales.

#### **3.5.2. Tipo de Investigación**

Según Hernández et al. (2014) señala que el tipo de investigación se da a conocer utilizando los diferentes métodos utilizados para encontrar el problema o asunto con el que se genera información nueva en el ámbito aplicado.

Este trabajo pertenece al tipo básica, ya que no se tiene el propósito aplicativo inmediato, ya que solamente busca aumentar el entendimiento científico y el conocimiento para ser usado en la realidad (Carrasco, 2007, p. 43). Asimismo, es de tipo

observacional debido a que sólo se muestran resultados adquiridos sin la alteración o manipulación de las variables.

Según el tiempo y cantidad de las mediciones realizadas es de tipo transversal; además los datos fueron obtenidos como consecuencia de la ejecución de la investigación por lo que es de tipo prospectivo. Finalmente, al utilizar estadística inferencial para la validación de los resultados, se considera una investigación analítica.

### **3.5.3. *Diseño de Investigación***

Hernández et al. (2014) indica que: “la investigación no experimental es considerado como ex post-facto, es decir que las variables y hechos ya pasaron, y se observan relaciones entre ellas en un contexto natural propio” (p. 165).

Nuestro diseño es no experimental debido a que se están evaluando la interacción entre las variables de estudio, a través de un análisis estadístico de correlación comparando las diferentes temperaturas de curado con las resistencias alcanzadas de las probetas.

### **3.5.4. *Variables de la Investigación***

#### **3.5.4.1. Variable independiente**

Temperaturas del agua de curado (-5 °C, 0 °C, 5 °C, 10 °C, 15 °C y 20 °C)

- a) **Definición.** El agua se considera como una sustancia que necesita el concreto para hidratarse, la temperatura es un factor importante debido a que el motivo del curado es anticiparse a la pérdida de líquido y mantener bajo control la temperatura.
- b) **Dimensiones.** Diferentes grados de temperatura.
- c) **Indicadores.** -5 °C, 0 °C, 5 °C, 10 °C, 15 °C y 20 °C.
- d) **Instrumentos.** Equipo electrónico de controlador de temperatura (calentadores, enfriadores, y congeladores)



- e) **Escala de medición.** Razón.
- f) **Tipo de variable.** Discreta

#### 3.5.4.2. Variable dependiente:

Propiedades mecánicas y físicas del concreto en estado endurecido

- a) **Definición.** Las propiedades mecánicas son resistencia a la compresión, tracción y flexión del concreto. Las propiedades físicas son la absorción, densidad y el volumen de poros permeables.
- b) **Dimensiones.** Propiedades mecánicas y físicas del concreto.
- c) **Indicadores.** Resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, resistencia a la flexión, absorción, peso específico y volumen de poros permeables.
- d) **Instrumentos.** Ensayo de compresión, tracción indirecta, flexión, absorción, peso específico y volumen de poros en laboratorio.
- e) **Escala de medición.** Razón
- f) **Tipo de variable.** Continua

#### 3.5.5. Población

Según Tamayo (2018, p. 114), está definido como un conjunto de elementos a estudiar, estas pertenecen al entorno espacial en donde se desarrolla la investigación.

En esta tesis se conforma a la población por el concreto con diseño de mezcla de  $210 \text{ kg/cm}^2$ , relación de agua cemento de 0.558 y asentamiento  $S = 3''$  a  $4''$ .

#### 3.5.6. Muestra

Según Hernández (2014) es una parte de una población que tiene una labor representativa, si la cantidad de la muestra es igual al de toda la población esta se denominaría censo, con esto ya se podría deducir el objetivo final de los datos estadísticos.



En tal sentido, la muestra para la presente investigación se conforma por 198 especímenes de concreto en total. Para cada ensayo, las dimensiones de los especímenes varían, los mismos que son expuestos a continuación.

### 3.5.6.1. Muestras para la resistencia a la compresión

Se destinaron 54 especímenes para las pruebas a compresión, cuyas medidas son de 10 cm de diámetro y 20 cm de largo. La distribución por temperatura y edades se visualizan en la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Cantidad de probetas para el ensayo de resistencia a la compresión*

<b>Temperatura</b>	<b>7 días</b>	<b>14 días</b>	<b>28 días</b>	<b>No. de pruebas</b>
-5°C	3	3	3	9
0°C	3	3	3	9
5°C	3	3	3	9
10°C	3	3	3	9
15°C	3	3	3	9
20°C	3	3	3	9
<b>Total</b>				<b>54</b>

### 3.5.6.2. Muestras para la resistencia a la tracción indirecta

Se destinaron 54 probetas para el ensayo a tracción indirecta, cuyas medidas son de 10 cm de diámetro y 20 cm de largo. La distribución por temperatura y edades se visualizan en la Tabla 6.

**Tabla 6***Cantidad de probetas para el ensayo de resistencia a la tracción indirecta*

Temperatura	7 días	14 días	28 días	No. de pruebas
-5°C	3	3	3	9
0°C	3	3	3	9
5°C	3	3	3	9
10°C	3	3	3	9
15°C	3	3	3	9
20°C	3	3	3	9
<b>Total</b>				<b>54</b>

**3.5.6.3. Muestras para la resistencia a la flexión**

Se destinaron 54 vigas simples (prismas de concreto) para el ensayo a flexión, cuyas medidas son de 10 cm de base, 10 cm de altura y 36 cm de largo. La distribución por temperatura y edades se visualizan en la Tabla 7.

**Tabla 7***Cantidad de probetas para el ensayo de resistencia a la flexión*

Temperatura	7 días	14 días	28 días	No. de pruebas
-5°C	3	3	3	9
0°C	3	3	3	9
5°C	3	3	3	9
10°C	3	3	3	9
15°C	3	3	3	9
20°C	3	3	3	9
<b>Total</b>				<b>54</b>

**3.5.6.4. Muestras para la absorción, densidad seca y aparente y volumen de poros permeables.**

Se destinaron 36 muestras (prismas de concreto) para estos ensayos, cuyas medidas tienen una base de 10 cm, 10 cm de alto y 3.50 cm de ancho. La distribución por temperatura y edades se visualizan en la Tabla 8.

**Tabla 8***Cantidad de especímenes para los ensayos de propiedades físicas*

<b>Temperatura</b>	<b>7 días</b>	<b>14 días</b>	<b>28 días</b>	<b>No. de pruebas</b>
-5°C	2	2	2	6
0°C	2	2	2	6
5°C	2	2	2	6
10°C	2	2	2	6
15°C	2	2	2	6
20°C	2	2	2	6
<b>Total</b>				<b>36</b>

*Nota:* Ensayos de porcentaje de absorción, peso específico y porosidad del concreto

### 3.5.7. *Confiabilidad y validez*

La confiabilidad es también conocido como el grado de precisión de un instrumento, esta se refiere a que los resultados obtenidos en ciertas circunstancias, deben ser similares en el caso que son medidas en el mismo rango y en las mismas condiciones, el término de confiabilidad equivale a decir estabilidad y predictibilidad (Ruiz, 2013).

La fiabilidad se refiere a la confianza que se concede a los datos obtenidos de cada prueba, para validar el instrumento que se utilizó (Pino, 2018)

La fiabilidad de un instrumento se mide a través de un coeficiente de correlación, que en nuestro caso sería el alfa de Cronbach, el cual es el método más común para estimar la fiabilidad (Pino, 2018). Sus valores oscilan entre 0 a 1 como se visualiza en la Tabla 9, pero por lo general se considera aceptable cuando el rango es superior a 0.80 de categoría “muy alta” (Ruiz, 2013).

**Tabla 9**

*Interpretación de la confiabilidad*

Rangos	Magnitud
0.81 a 1.00	Muy alta
0.61 a 0.80	Alta
0.41 a 0.60	Moderada
0.21 a 0.40	Baja
0.01 a 0.20	Muy baja

*Nota.* (Ruiz, 2013)

En el presente trabajo se analizó la fiabilidad con el coeficiente del alfa de Cronbach en el programa SPSS, cuyos resultados se observan en la Tabla 10. El No. de elementos considera las seis temperaturas de curado, en cada elemento se incluyeron resultados de 7, 14 y 28 días.

**Tabla 10**

*Resultados del nivel de fiabilidad de las variables dependientes*

Nivel de confiabilidad de las variables dependientes				
Dimensiones	Indicadores	Estadísticas de fiabilidad (SPSS)		
		Alfa de Cronbach	No. de elementos	Magnitud
Propiedades mecánicas del concreto	Resistencia a la compresión	0.872	6	Muy alta
	Resistencia a la tracción	0.970	6	Muy alta
	Resistencia a la flexión	0.980	6	Muy alta
	Absorción	0.949	6	Muy alta
Propiedades físicas del concreto	Densidad aparente	0.992	6	Muy alta
	Densidad seca	0.976	6	Muy alta
	Volumen de poros permeables	0.986	6	Muy alta

*Nota.* Datos obtenidos del programa SPSS

La validez es la exactitud con la que se puede hacer mediciones adecuadas con un instrumento (Ruiz, 2013). Es la magnitud en el que se mide un instrumento (Pino, 2018).

Para la validación de los ensayos ejecutados por los tesisistas en laboratorio, se contó con el asesoramiento del especialista, la cual se muestra en la Tabla 11.



**Tabla 11***Validación del instrumento mediante normas y expertos*

Ensayos	Normas	Expertos
Resistencia a la compresión	ASTM C39	
Resistencia a la tracción	ASTM C496	
Resistencia a la flexión	ASTM C78	Ing. Alex Luis Gómez Calla CIP: 209176
Absorción		
Densidad aparente		
Densidad seca	ASTM C642	
Volumen de poros permeables		

*Nota.* El experto es jefe del laboratorio G&G GEOTECHNIK MATERIAL TEST

LABOR

### 3.5.8. Prueba Estadística

La medición de variables es necesaria para tomar decisiones en cuanto a cambios o para asumir una actitud ante un problema en la investigación, la medición está constituida por dos características: validez (medir lo que se desea) y consistencia (repetición). En la correlación de variables se mide la tendencia en la intensidad de relación entre variables sin la concordancia (Esquivel et al., 2006, p. 166)

Para la presente investigación primero se realizó la prueba de normalidad para verificar el comportamiento de los datos y de acuerdo a los resultados se determinó si la estadística a aplicar es paramétrica o no paramétrica. Si en caso resulta paramétrica aplicaremos la correlación de Pearson y si resulta no paramétrica aplicaremos la prueba estadística de correlación de Spearman, esto debido a que las variables de la investigación a correlacionar son numéricas y más de una variable.

Para la prueba de correlación de Spearman o Pearson se ha seguido los siguientes pasos:



- Primero, se identificó las variables para analizar la covariación entre al menos dos variables, la correlación lineal es un caso particular donde tiene las características bien definidas y se mide por el coeficiente R de Pearson o  $\rho$  de Spearman.
- Luego se realizó el planteamiento de la hipótesis estadística donde se identificó la hipótesis nula e hipótesis alterna.
- Luego se definió el nivel de significancia que es de un 95 % y un error de 5 %.
- Se aplicó una estadística paramétrica o no paramétrica de acuerdo a lo obtenido en el pre hipótesis (prueba de normalidad) en el programa SPSS. Luego se colocó los datos obtenidos en las tablas elaboradas.
- Se aplicó la regla de decisión para aceptar o rechazar la hipótesis nula, para finalmente interpretar los datos.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

Resultados de las pruebas de compresión, flexión y tracción a las edades de 7, 14 y 28 días. Los especímenes de concreto fueron diseñados con un  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , relación  $a/c = 0.558$  y asentamiento de 3" a 4".

Aclarar que en el Sistema Internacional la unidad para la resistencia a compresión, tracción y flexión es MPa, los mismos que son reflejados en los certificados de los ensayos realizados en el laboratorio de investigación, ver Anexos No 4 al 6. El análisis y proceso de datos se hicieron en el sistema M.K.S en la unidad de  $\text{kg/cm}^2$  para su mejor entendimiento.

##### 4.1.1. Resistencia a la compresión

Los resultados para la resistencia a compresión se han determinado de acuerdo a la norma ASTM C39, la metodología empleada está en la sección 3.3.3 numeral 4 del presente trabajo.

A continuación, se presentan los valores obtenidos en laboratorio, desde la Tabla 12 a la Tabla 17. En cada tabla se describe el número de testigo codificado por los investigadores, edad a la que fue ensayado cada espécimen, lectura del dial de la prensa hidráulica convertida de kN a kg, área de la cara superior de la probeta convertida de  $\text{mm}^2$  a  $\text{cm}^2$  y la resistencia calculada con los datos anteriores.

Los datos completos de los especímenes ensayados se muestran en el Anexo No. 4.

**Tabla 12***Resistencia a compresión a una temperatura de -5 °C*

No. Testigo	Resisten. Diseño kg/cm <sup>2</sup>	Edad (días)	Lectura Dial (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resisten. kg/cm <sup>2</sup>	Resisten. Promedio kg/cm <sup>2</sup>
C-49	210	7	4298.04	83.11	51.52	
C-50	210	7	4717.13	81.63	57.61	<b>56.78</b>
C-51	210	7	4937.39	80.42	61.21	
C-55	210	14	6581.14	81.46	80.53	
C-56	210	14	6511.80	80.88	80.26	<b>81.99</b>
C-57	210	14	6871.76	80.42	85.19	
C-73	210	28	11087.20	80.79	136.87	
C-74	210	28	9754.45	79.41	122.53	<b>130.10</b>
C-75	210	28	10618.14	80.87	130.90	

**Tabla 13***Resistencia a compresión a una temperatura de 0 °C*

No. Testigo	Resisten. Diseño kg/cm <sup>2</sup>	Edad (días)	Lectura Dial (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resisten. kg/cm <sup>2</sup>	Resisten. Promedio kg/cm <sup>2</sup>
C-61	210	7	9881.31	82.26	112.42	
C-62	210	7	9373.08	80.67	115.81	<b>111.62</b>
C-63	210	7	8546.11	79.91	106.63	
C-67	210	14	10261.24	80.60	126.92	
C-68	210	14	9994.08	79.63	125.13	<b>123.79</b>
C-69	210	14	9675.93	80.82	119.33	
C-103	210	28	10560.01	81.30	129.46	
C-104	210	28	11148.38	81.30	136.71	<b>133.38</b>
C-105	210	28	10776.19	80.18	133.97	



**Tabla 14**

*Resistencia a compresión a una temperatura de 5 °C*

No. Testigo	Resisten. Diseño kg/cm <sup>2</sup>	Edad (días)	Lectura Dial (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resisten. kg/cm <sup>2</sup>	Resisten. Promedio kg/cm <sup>2</sup>
C-1	210	7	9943.09	80.72	122.79	
C-2	210	7	8557.32	81.07	105.24	<b>116.38</b>
C-3	210	7	9866.62	81.23	121.11	
C-7	210	14	12927.76	80.04	161.06	
C-8	210	14	11975.36	82.35	144.91	<b>155.70</b>
C-9	210	14	12912.46	79.91	161.14	
C-79	210	28	16263.20	80.06	202.62	
C-80	210	28	18021.16	82.82	216.79	<b>210.77</b>
C-81	210	28	17280.86	80.93	212.89	

**Tabla 15**

*Resistencia a compresión a una temperatura de 10 °C*

No. Testigo	Resisten. Diseño kg/cm <sup>2</sup>	Edad (días)	Lectura Dial (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resisten. kg/cm <sup>2</sup>	Resisten. Promedio kg/cm <sup>2</sup>
C-13	210	7	13836.31	79.72	173.07	
C-14	210	7	14328.82	80.13	178.35	<b>172.64</b>
C-15	210	7	12963.45	77.69	166.49	
C-19	210	14	16795.48	79.17	211.59	
C-20	210	14	17333.88	69.78	247.94	<b>219.04</b>
C-21	210	14	16432.47	82.85	197.59	
C-95	210	28	18185.33	80.26	226.58	
C-96	210	28	18350.52	80.37	228.33	<b>231.38</b>
C-97	210	28	19152.01	80.06	239.22	

**Tabla 16***Resistencia a compresión a una temperatura de 15 °C*

Testigo No.	Resisten. Diseño kg/cm <sup>2</sup>	Edad (días)	Lectura Dial (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resisten. kg/cm <sup>2</sup>	Resisten. Promedio kg/cm <sup>2</sup>
C-31	210	7	15474.97	79.26	194.78	
C-32	210	7	15798.21	81.01	194.38	<b>193.01</b>
C-33	210	7	15279.18	80.25	189.87	
C-25	210	14	18243.45	83.50	217.66	
C-26	210	14	17476.64	81.03	215.04	<b>211.75</b>
C-27	210	14	16821.99	82.74	202.54	
C-85	210	28	18992.93	82.03	230.74	
C-86	210	28	18864.45	81.31	231.30	<b>232.28</b>
C-87	210	28	18948.07	80.48	234.79	

**Tabla 17***Resistencia a compresión a una temperatura de 20 °C*

No. Testigo	Resisten. Diseño kg/cm <sup>2</sup>	Edad (días)	Lectura Dial (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resisten. kg/cm <sup>2</sup>	Resisten. Promedio kg/cm <sup>2</sup>
C-37	210	7	14025.97	81.11	172.38	
C-38	210	7	14099.39	80.31	175.09	<b>171.61</b>
C-39	210	7	13722.10	81.73	167.37	
C-43	210	14	18010.96	81.55	220.08	
C-44	210	14	17523.54	81.55	214.12	<b>217.91</b>
C-45	210	14	17725.45	80.50	219.54	
C-91	210	28	19286.61	80.37	239.23	
C-92	210	28	19105.10	82.16	231.80	<b>237.12</b>
C-93	210	28	19035.76	78.98	240.34	



De las Tablas 12 al 17 se precisa lo siguiente:

A los 7 días de curado de los especímenes sumergidos en agua, a temperaturas de  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  se obtuvieron resistencias promedio a compresión de  $56.78\text{ kg/cm}^2$ ,  $111.62\text{ kg/cm}^2$ ,  $116.38\text{ kg/cm}^2$ ,  $172.64\text{ kg/cm}^2$ ,  $193.01\text{ kg/cm}^2$  y  $171.61\text{ kg/cm}^2$  respectivamente. De estos resultados se puede indicar que, esta propiedad mecánica tiene relación directa con la temperatura del agua de curado ya que a medida que la temperatura está en aumento también aumenta la resistencia a la compresión. Cabe precisar que el mayor valor obtenido a esta edad fue cuando se realizó el curado a  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , siendo superior al de  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

A los 14 días, se obtuvo una resistencia promedio a compresión de  $81.99\text{ kg/cm}^2$ ,  $123.79\text{ kg/cm}^2$ ,  $155.70\text{ kg/cm}^2$ ,  $219.04\text{ kg/cm}^2$ ,  $211.75\text{ kg/cm}^2$  y  $217.91\text{ kg/cm}^2$  a las mismas temperaturas descritas en el párrafo anterior, de estos resultados se puede indicar que, la evolución de la resistencia mantiene la relación directa con la temperatura del agua de curado puesto que, a medida que la temperatura de curado aumentó también la resistencia a compresión ascendió. Cabe señalar que a esta edad se obtuvo una resistencia mayor a la temperatura de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a este le sigue los que se curaron a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  y el resto de temperaturas en forma descendente.

A la edad de 28 días, teniendo la premisa que el valor de diseño fue de  $210\text{ kg/cm}^2$  equivalente al 100 %; los especímenes que fueron curados a una temperatura de  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  alcanzaron apenas el 61.95% y 63.51 % respectivamente, es decir, en ambas temperaturas, el concreto no logra alcanzar la resistencia de diseño. Por su parte, las probetas curadas a los  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , resultaron con 103.67 %, es decir apenas superaron el valor de diseño. Cuando la temperatura de curado fue de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , las resistencias llegaron a 110.18 %, 110.61 % y 112.91 % respectivamente. Por lo que se infiere que

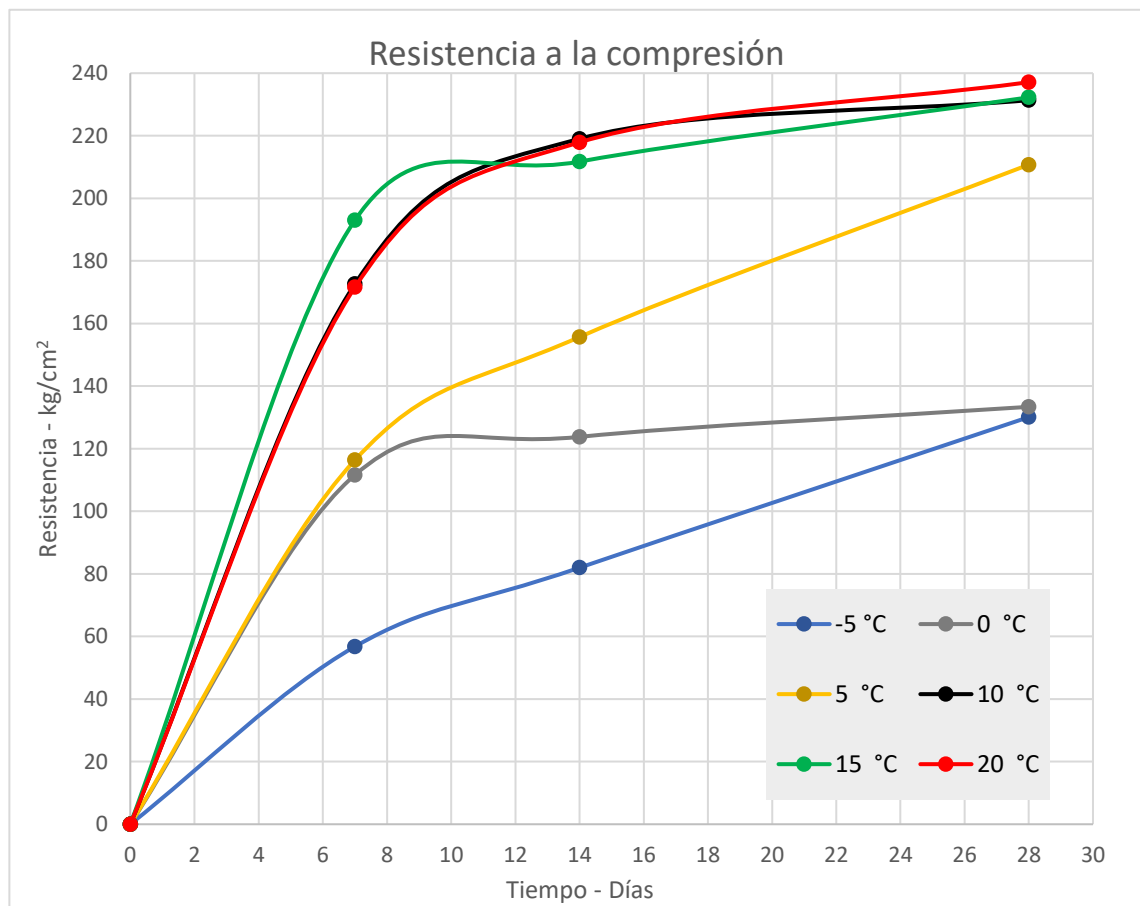
cuando la temperatura de curado está entre los 10°C hasta los 20°C llegan a superar hasta en 12 % su valor a la que fue diseñado el concreto.

Por todo lo expuesto en el párrafo anterior, a la edad de 28 días de curado, la resistencia continúa con la relación directa con la temperatura del agua de curado.

En la figura 16 mostramos una comparación en forma gráfica de las resistencias a compresión a los 7, 14 y 28 días para las seis temperaturas de curado.

### Figura 16

*Comparación de la resistencia a compresión para las seis temperaturas*



De la comparación, se aprecia que en general a la edad de 28 días, las gráficas de resistencia generadas siguen un comportamiento concordante a las temperaturas del agua de curado, ya que las curvas de probetas curados a 20 °C, están por encima de las curvas de 15 °C, 10 °C y así sucesivamente.



#### 4.1.2. Resistencia a la tracción

Los resultados de resistencia a tracción indirecta por compresión diametral se han determinado conforme a la normativa ASTM C496, la metodología empleada está en la sección 3.3.3 numeral 5 del presente trabajo.

A continuación, se presentan los valores obtenidos en laboratorio, desde la Tabla 18 a la Tabla 23. En cada tabla se describe el número de testigo codificado por los investigadores, edad a la que fue ensayado cada espécimen, lectura del dial de la prensa hidráulica convertida de kN a kg, diámetro y altura convertidos de mm a cm y la resistencia calculada con la Ecuación 1 descrito en la sección 2.4.2.

Los datos completos de los especímenes ensayados, se muestran en el Anexo No. 5.

**Tabla 18**

*Resistencia a tracción indirecta a una temperatura de -5 °C*

No. Testigo	Edad (días)	Lectura Dial (kg)	Diámetro (cm)	Altura de Probeta (cm)	Resisten. kg/cm <sup>2</sup>	Resisten. Promedio kg/cm <sup>2</sup>
T-52	7	2273.93	10.20	20.19	7.03	
T-53	7	2142.39	10.22	20.36	6.56	<b>6.83</b>
T-54	7	2223.97	10.17	20.15	6.91	
T-58	14	3203.90	10.17	20.11	9.97	
T-59	14	2962.23	10.20	20.23	9.13	<b>9.73</b>
T-60	14	3267.12	10.22	20.17	10.09	
T-76	28	4687.56	10.20	20.24	14.46	
T-77	28	4500.96	10.19	20.11	13.99	<b>13.92</b>
T-78	28	4292.94	10.19	20.18	13.30	

**Tabla 19***Resistencia a tracción indirecta a una temperatura de 0 °C*

No. Testigo	Edad (días)	Lectura Dial (kg)	Diámetro (cm)	Altura de Probeta (cm)	Resisten. kg/cm <sup>2</sup>	Resisten. Promedio kg/cm <sup>2</sup>
T-64	7	3809.60	10.18	20.16	11.82	
T-65	7	3892.19	10.15	20.18	12.11	<b>12.13</b>
T-66	7	3980.91	10.08	20.18	12.45	
T-70	14	4298.04	10.10	20.10	13.48	
T-71	14	4239.91	10.17	20.21	13.13	<b>13.15</b>
T-72	14	4112.45	10.11	20.18	12.84	
T-106	28	4679.40	9.34	20.14	15.84	
T-107	28	4790.55	10.15	20.08	14.97	<b>15.15</b>
T-108	28	4742.62	10.22	20.19	14.64	

**Tabla 20***Resistencia a tracción indirecta a una temperatura de 5 °C*

No. Testigo	Edad (días)	Lectura Dial (kg)	Diámetro (cm)	Altura de Probeta (cm)	Resisten. kg/cm <sup>2</sup>	Resisten. Promedio kg/cm <sup>2</sup>
T-4	7	4283.76	10.18	20.18	13.27	
T-5	7	4505.03	10.21	20.22	13.90	<b>13.51</b>
T-6	7	4337.80	10.18	20.31	13.35	
T-10	14	4563.16	10.20	20.19	14.11	
T-11	14	4859.89	10.13	20.05	15.23	<b>14.63</b>
T-12	14	4657.99	10.11	20.17	14.55	
T-82	28	5655.26	10.16	20.28	17.47	
T-83	28	5366.68	10.11	20.27	16.67	<b>17.54</b>
T-84	28	5459.47	9.32	20.18	18.48	

**Tabla 21***Resistencia a tracción indirecta a una temperatura de 10 °C*

No. Testigo	Edad (días)	Lectura Dial (kg)	Diámetro (cm)	Altura de Probeta (cm)	Resisten. kg/cm <sup>2</sup>	Resisten. Promedio kg/cm <sup>2</sup>
T-16	7	4596.81	10.11	20.30	14.26	
T-17	7	4494.84	10.12	20.14	14.04	<b>14.17</b>
T-18	7	4685.52	10.40	20.18	14.21	
T-22	14	5109.72	10.06	20.20	16.00	
T-23	14	4920.05	10.16	20.13	15.31	<b>15.24</b>
T-24	14	4702.86	10.35	20.08	14.40	
T-98	28	5686.87	10.05	20.32	17.73	
T-99	28	6031.53	10.15	20.33	18.60	<b>18.31</b>
T-100	28	5906.10	9.97	20.27	18.60	

**Tabla 22***Resistencia a tracción indirecta a una temperatura de 15 °C*

No. Testigo	Edad (días)	Lectura Dial (kg)	Diámetro (cm)	Altura de Probeta (cm)	Resisten. kg/cm <sup>2</sup>	Resisten. Promedio kg/cm <sup>2</sup>
T-34	7	4596.81	10.11	20.26	14.29	
T-35	7	4687.56	10.08	20.48	14.46	<b>14.13</b>
T-36	7	4436.71	10.18	20.32	13.65	
T-28	14	5259.61	10.06	20.13	16.54	
T-29	14	5101.56	10.08	20.10	16.03	<b>16.46</b>
T-30	14	5363.62	10.13	20.05	16.82	
T-88	28	6376.18	10.24	20.24	19.59	
T-89	28	6103.92	10.14	20.20	18.97	<b>19.09</b>
T-90	28	5985.64	10.14	20.08	18.71	

**Tabla 23***Resistencia a tracción indirecta a una temperatura de 20 °C*

No. Testigo	Edad (días)	Lectura Dial (kg)	Diámetro (cm)	Altura de Probeta (cm)	Resisten. kg/cm <sup>2</sup>	Resisten. Promedio kg/cm <sup>2</sup>
T-40	7	4087.98	10.16	20.18	12.70	
T-41	7	4042.09	10.20	20.26	12.46	<b>12.75</b>
T-42	7	4296.00	10.22	20.43	13.10	
T-46	14	5238.20	10.12	20.09	16.41	
T-47	14	4937.39	10.17	20.06	15.41	<b>15.91</b>
T-48	14	5050.57	10.08	20.06	15.90	
T-94	28	6537.30	9.36	20.07	22.15	
T-101	28	6361.91	10.13	20.21	19.79	<b>20.46</b>
T-102	28	6267.08	10.14	20.23	19.44	

De las tablas 18, 19, 20, 21, 22 y 23 que muestran los resultados de la resistencia a la tracción a los 7, 14 y 28 días de curado, se precisa lo siguiente:

A los 7 días, los especímenes adquirieron una resistencia promedio a la tracción de 6.83 kg/cm<sup>2</sup>, 12.13 kg/cm<sup>2</sup>, 13.51 kg/cm<sup>2</sup>, 14.17 kg/cm<sup>2</sup>, 14.13 kg/cm<sup>2</sup> y 12.75 kg/cm<sup>2</sup> que fueron sometidas a procesos de curado de temperatura de -5 °C, 0 °C, 5 °C, 10 °C, 15 °C y 20 °C respectivamente. De estos resultados se puede indicar que a 10 °C se tuvo una mejor resistencia a la tracción; sin embargo, a -5 °C se tuvo la más baja resistencia a comparación de las otras temperaturas de curado evaluadas. Además, según los resultados obtenidos se precisa que la tracción está relacionada directamente con la temperatura de curado ya que a medida que la temperatura aumentó también se incrementó la resistencia a la tracción, esto sucede para las temperaturas de -5 °C, 0 °C, 5 °C, 10 °C y para el caso de las temperaturas de 15 °C y 20 °C se observa un ligero decrecimiento en su resistencia.

A los 14 días las resistencias promedio a la tracción alcanzadas fueron de 9.73 kg/cm<sup>2</sup>, 13.15 kg/cm<sup>2</sup>, 14.63 kg/cm<sup>2</sup>, 15.24 kg/cm<sup>2</sup>, 16.46 kg/cm<sup>2</sup> y 15.91 kg/cm<sup>2</sup> que



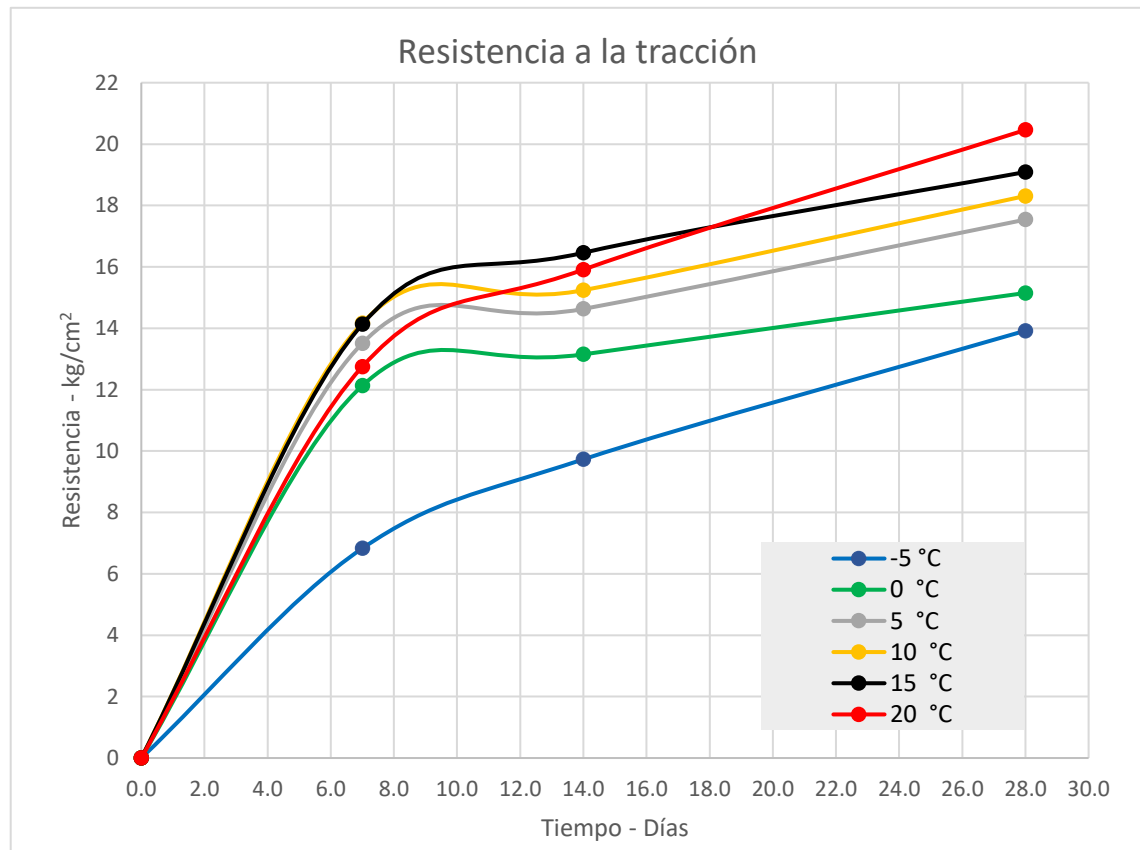
fueron sometidas a procesos de curado de temperatura de  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  respectivamente. De estos resultados se puede indicar que a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  se presenta una mejor resistencia a tracción, y a  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  se obtuvo la más baja resistencia a comparación de las 6 temperaturas de curado. Además de acuerdo a estos resultados, se precisa que la tracción está relacionada directamente con la temperatura de curado ya que a medida que la temperatura está en aumento también aumenta la resistencia a la tracción, esto sucede para las temperaturas de  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

A los 28 días de curado de los especímenes sumergidos en agua a temperaturas de  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  se obtuvieron resistencias promedio a la tracción de  $13.92\text{ kg/cm}^2$ ,  $15.15\text{ kg/cm}^2$ ,  $17.54\text{ kg/cm}^2$ ,  $18.31\text{ kg/cm}^2$ ,  $19.09\text{ kg/cm}^2$  y  $20.46\text{ kg/cm}^2$ , respectivamente. De estos resultados se puede indicar que a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  se tuvo una mejor resistencia a la tracción, en cambio a  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  se tuvo la resistencia a tracción más baja a comparación de las 6 temperaturas de curado. Además, se precisa que la tracción está relacionada directamente con la temperatura de curado ya que a medida que la temperatura está en aumento también aumenta la resistencia a la tracción, esto sucede para las temperaturas de  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

En la figura 17 observamos una comparación en forma gráfica de las resistencias a tracción de los 7, 14 y 28 días para las seis temperaturas de curado.

**Figura 17**

*Comparación de la resistencia a tracción para las seis temperaturas*



De la comparación, se aprecia que en general a la edad de 28 días, las gráficas de resistencia generadas siguen un comportamiento concordante a las temperaturas del agua de curado, ya que las curvas de probetas curados a 20 °C, están por encima de las curvas de 15 °C, 10 °C y así sucesivamente.

#### **4.1.3. Resistencia a la flexión**

Los resultados de resistencia a flexión se han determinado de acuerdo a la norma ASTM C78, la metodología empleada está en la sección 3.3.3 numeral 6 del presente trabajo.

Se presentan los resultados obtenidos en laboratorio, desde la Tabla 24 a la Tabla 29. En cada tabla se describe el número de testigo codificado por los investigadores, edad a la que fue ensayado cada espécimen, lectura del dial de la prensa hidráulica convertida

de kN a kg, base y altura de la viga, la distancia entre apoyos de las rotulas del equipo hidráulico convertidos de mm a cm y la resistencia calculada con la Ecuación 3 descrito en la sección 2.4.3.

Los datos completos de los especímenes ensayados se muestran en el Anexo No. 6.

**Tabla 24**

*Resistencia a la flexión a una temperatura de -5 °C*

No. testigo	Edad (días)	Lectura dial (kg)	Base (cm)	Altura (cm)	L (cm) Dist. entre apoyos	Resisten. kg/cm <sup>2</sup>	Resisten. Promedio kg/cm <sup>2</sup>
V-26	7	459.88	10.03	10.03	30.00	13.66	
V-27	7	503.73	10.34	10.34	30.00	13.69	<b>13.94</b>
V-28	7	101.97	10.00	10.00	30.00	14.47	
V-34	14	101.97	10.01	10.01	30.00	18.00	
V-35	14	583.27	10.02	10.02	30.00	17.37	<b>17.92</b>
V-36	14	618.96	10.03	10.03	30.00	18.40	
V-52	28	712.77	9.98	9.98	30.00	21.54	
V-53	28	728.07	10.08	10.08	30.00	21.30	<b>21.95</b>
V-54	28	800.46	10.14	10.14	30.00	23.02	

**Tabla 25**

*Resistencia a la flexión a una temperatura de 0 °C*

No. testigo	Edad (días)	Lectura dial (kg)	Base (cm)	Altura (cm)	L (cm) Dist. entre apoyos	Resisten. kg/cm <sup>2</sup>	Resisten. Promedio kg/cm <sup>2</sup>
V-17	7	769.87	10.15	10.15	30.00	22.12	
V-18	7	674.02	10.13	10.13	30.00	19.46	<b>20.91</b>
V-19	7	743.36	10.18	10.18	30.00	21.14	
V-23	14	910.59	10.07	10.07	30.00	26.73	
V-24	14	959.54	10.00	10.00	30.00	28.75	<b>28.19</b>
V-25	14	979.93	10.03	10.03	30.00	29.10	
V-43	28	1042.13	10.00	10.00	30.00	31.26	
V-44	28	1041.11	10.02	10.02	30.00	31.04	<b>31.04</b>
V-45	28	1036.02	10.03	10.03	30.00	30.82	

**Tabla 26***Resistencia a la flexión a una temperatura de 5 °C*

No. testigo	Edad (días)	Lectura dial (kg)	Base (cm)	Altura (cm)	L (cm) Dist. entre apoyos	Resisten. kg/cm <sup>2</sup>	Resisten. Promedio kg/cm <sup>2</sup>
V-4	7	784.15	10.02	10.02	30.00	23.41	
V-5	7	744.38	10.01	10.01	30.00	22.27	<b>22.47</b>
V-6	7	729.09	10.02	10.02	30.00	21.72	
V-20	14	1016.64	10.27	10.27	30.00	28.14	
V-21	14	914.67	10.19	10.19	30.00	25.94	<b>26.73</b>
V-22	14	950.36	10.30	10.30	30.00	26.10	
V-37	28	1173.67	10.06	10.06	30.00	34.54	
V-38	28	1082.92	10.06	10.06	30.00	31.95	<b>33.17</b>
V-39	28	1116.57	10.05	10.05	30.00	33.01	

**Tabla 27***Resistencia a la flexión a una temperatura de 10 °C*

No. testigo	Edad (días)	Lectura dial (kg)	Base (cm)	Altura (cm)	L (cm) Dist. entre apoyos	Resisten. kg/cm <sup>2</sup>	Resisten. Promedio kg/cm <sup>2</sup>
V-11	7	781.09	10.14	10.14	30.00	22.51	
V-12	7	764.78	10.07	10.07	30.00	22.50	<b>22.52</b>
V-13	7	790.27	10.17	10.17	30.00	22.55	
V-3	14	933.03	10.04	10.04	30.00	27.70	
V-29	14	1017.66	10.04	10.04	30.00	30.18	<b>29.59</b>
V-30	14	1053.35	10.08	10.08	30.00	30.88	
V-49	28	1080.88	10.06	10.06	30.00	31.89	
V-50	28	1150.22	10.04	10.04	30.00	34.12	<b>33.92</b>
V-51	28	1198.15	10.02	10.02	30.00	35.75	



**Tabla 28***Resistencia a la flexión a una temperatura de 15 °C*

No. testigo	Edad (días)	Lectura dial (kg)	Base (cm)	Altura (cm)	L (cm) Dist. entre apoyos	Resisten. kg/cm <sup>2</sup>	Resisten. Promedio kg/cm <sup>2</sup>
V-14	7	726.03	10.17	10.17	30.00	20.69	
V-15	7	799.44	10.21	10.21	30.00	22.55	<b>22.47</b>
V-16	7	831.06	10.10	10.10	30.00	24.18	
V-2	14	966.68	10.04	10.04	30.00	28.69	
V-31	14	1079.86	10.10	10.10	30.00	31.46	<b>30.39</b>
V-32	14	1044.17	10.03	10.03	30.00	31.01	
V-46	28	1173.67	9.87	9.87	30.00	36.63	
V-47	28	1186.93	9.97	9.97	30.00	35.92	<b>34.66</b>
V-48	28	1129.83	10.25	10.25	30.00	31.44	

**Tabla 29***Resistencia a la flexión a una temperatura de 20 °C*

No. testigo	Edad (días)	Lectura dial (kg)	Base (cm)	Altura (cm)	L (cm) Dist. entre apoyos	Resisten. kg/cm <sup>2</sup>	Resisten. Promedio kg/cm <sup>2</sup>
V-7	7	840.23	10.14	10.14	30.00	<b>24.15</b>	
V-8	7	887.14	10.17	10.17	30.00	<b>25.32</b>	<b>25.33</b>
V-9	7	911.61	10.11	10.11	30.00	<b>26.51</b>	
V-1	14	1032.96	10.03	10.03	30.00	<b>30.73</b>	
V-10	14	968.72	10.22	10.22	30.00	<b>27.20</b>	<b>29.48</b>
V-33	14	1079.86	10.20	10.20	30.00	<b>30.52</b>	
V-40	28	1153.28	9.98	9.98	30.00	<b>34.79</b>	
V-41	28	1209.36	10.10	10.10	30.00	<b>35.20</b>	<b>34.67</b>
V-42	28	1149.20	10.05	10.05	30.00	<b>34.01</b>	

En las tablas 24, 25, 26, 27, 28 y 29 se muestran resultados de la resistencia a la flexión para 7, 14 y 28 días de lo cual se precisa lo siguiente:

A los 7 días tuvo una resistencia promedio a la flexión de 13.94 kg/cm<sup>2</sup>, 20.91 kg/cm<sup>2</sup>, 22.47 kg/cm<sup>2</sup>, 22.52 kg/cm<sup>2</sup>, 22.47 kg/cm<sup>2</sup> y 25.33 kg/cm<sup>2</sup> que fueron sometidas



a procesos de curado de temperatura de  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  respectivamente. De estos resultados se indica que a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  se tuvo una mejor resistencia a flexión; sin embargo, a  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  se obtuvo el valor más bajo a comparación de las 6 temperaturas de curado. Además, la flexión está relacionada directamente con la temperatura de curado ya que a medida que la temperatura está en aumento también aumenta la resistencia a la flexión, esto sucede para las temperaturas de  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

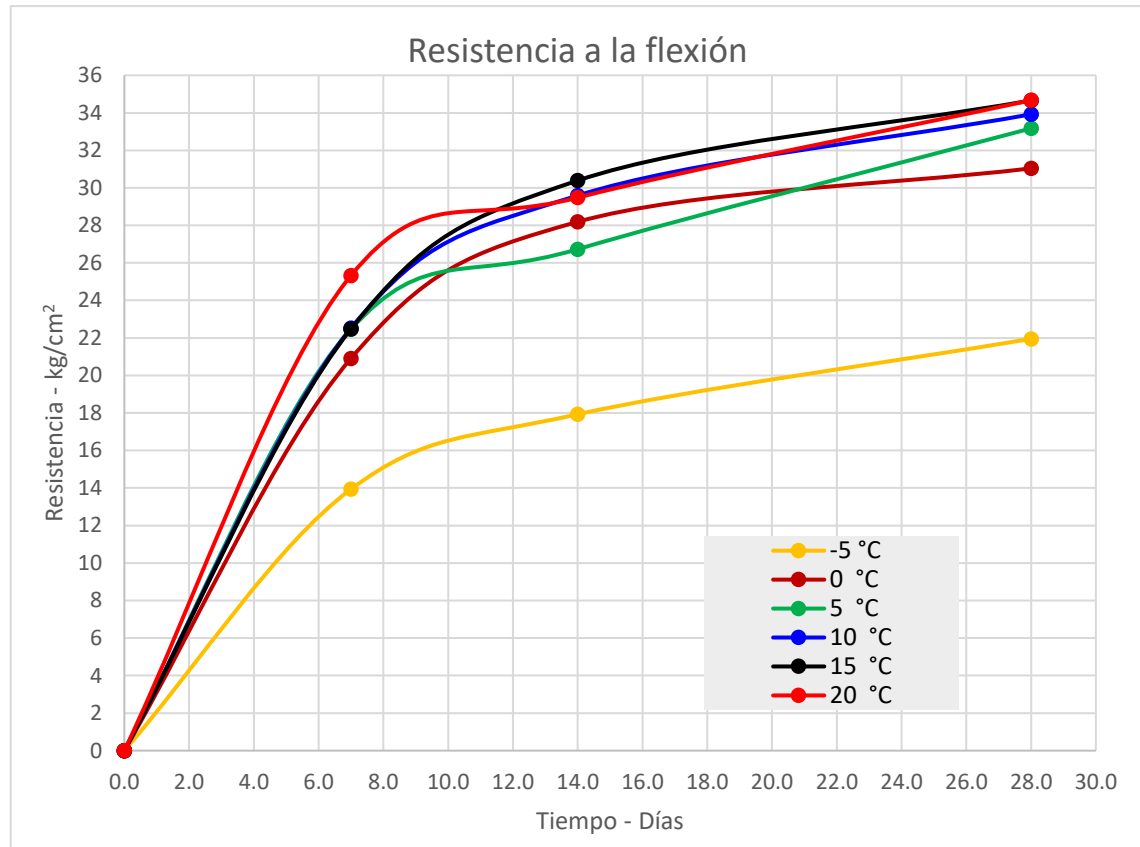
A 14 días se obtuvo resistencias promedio a flexión de  $17.92\text{ kg/cm}^2$ ,  $28.19\text{ kg/cm}^2$ ,  $26.73\text{ kg/cm}^2$ ,  $29.59\text{ kg/cm}^2$ ,  $30.39\text{ kg/cm}^2$  y  $29.48\text{ kg/cm}^2$  que fueron sometidas a procesos de curado de temperatura de  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  respectivamente. De estos resultados se puede indicar que a  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  se alcanzó la mejor resistencia a la flexión, a  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  se tuvo el valor más bajo a comparación de las 6 temperaturas de curado. Además, se precisa que la flexión está relacionada directamente con la temperatura de curado ya que a medida que la temperatura está en aumento también aumenta la resistencia a la flexión, esto sucede para las temperaturas desde  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

A los 28 días de curado de los especímenes sumergidos en agua a temperaturas de  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  se obtuvieron resistencias promedio a la flexión de  $21.95\text{ kg/cm}^2$ ,  $31.04\text{ kg/cm}^2$ ,  $33.17\text{ kg/cm}^2$ ,  $33.92\text{ kg/cm}^2$ ,  $34.66\text{ kg/cm}^2$  y  $34.67\text{ kg/cm}^2$  respectivamente. De estos resultados se puede indicar que a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  se tuvo una mejor resistencia a flexión, en cambio a  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  se obtuvo la resistencia a flexión más baja a comparación de las 6 temperaturas de curado. Además, se precisa que la flexión está relacionada directamente con la temperatura de curado ya que a medida que la temperatura está en aumento también aumenta la resistencia a la flexión, esto sucede para las temperaturas de  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

En la figura 18 observamos una comparación en forma gráfica de las resistencias a flexión de los 7, 14 y 28 días para las seis temperaturas de curado.

**Figura 18**

*Comparación de la resistencia a flexión para las seis temperaturas*



De la comparación, se aprecia que en general a la edad de 28 días, las gráficas de resistencia a flexión generadas siguen un comportamiento concordante a las temperaturas del agua de curado, ya que las curvas de vigas curadas a 20 °C, están por encima de las curvas de 15 °C, 10 °C y así sucesivamente.

#### 4.2. RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS

Resultados de las pruebas de absorción, peso específico y volumen de poros permeables a las edades de 7, 14 y 28 días. Los especímenes de concreto fueron diseñados con el mismo  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , así como la relación  $a/c = 0.558$  y asentamiento de 3'' a 4''. Los resultados en conjunto se pueden ver en el Anexo No 7.

#### **4.2.1. Absorción del concreto**

El ensayo de absorción se realizó cumpliendo lo establecido en la normativa ASTM C642-13, a las temperaturas de curado de  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . La metodología empleada está en la sección 3.3.3 numeral 7 del presente trabajo. Los resultados completos, se muestran en el Anexo No. 7.

Es preciso aclarar, que en el proceso de fraguado de las muestras curadas a  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , los especímenes destinados a ser ensayadas a los 14 y 28 días, se descompusieron en su totalidad al momento de descongelar, lo indicado se muestra en las Figuras 19 y 20.

#### **Figura 19**

*Muestra desintegrada a los 14 días de curado a  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$*



*Nota.* La muestra no fue ensayada debido al desintegramiento total luego del deshielo

#### **Figura 20**

*Muestra desintegrada a los 28 días de curado a  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$*

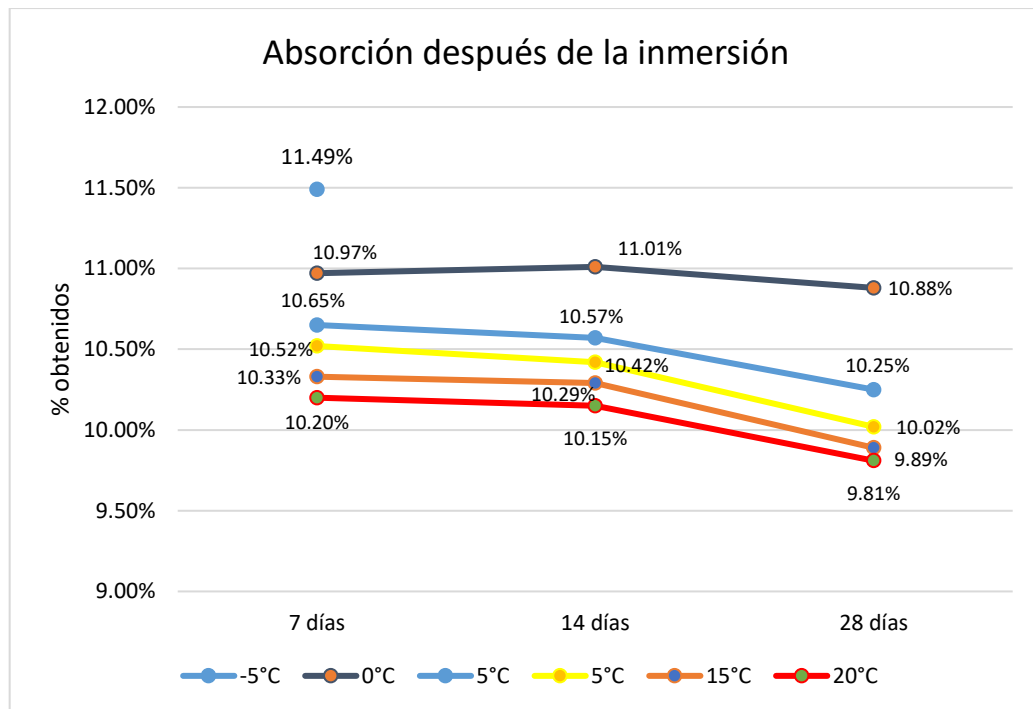


*Nota.* La muestra no fue ensayada debido al desintegramiento total luego del deshielo

A continuación, se muestra una comparación de los resultados de absorción después de la inmersión del concreto endurecido de 7, 14 y 28 días de edad.

**Figura 21**

*Evaluación de la absorción del concreto*



A los 7 días de curado, se observa que ocurre una mayor absorción a la temperatura de curado de  $-5^{\circ}\text{C}$  con un valor de 11.49 %, y es menor cuando la temperatura del curado es de  $20^{\circ}\text{C}$ , con un 10.20 %; además se precisa que la absorción del concreto endurecido está relacionada directamente con la temperatura de curado ya que mientras la temperatura asciende, la absorción desciende, esto sucede para las temperaturas de  $-5^{\circ}\text{C}$ ,  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $5^{\circ}\text{C}$ ,  $10^{\circ}\text{C}$ ,  $15^{\circ}\text{C}$  y  $20^{\circ}\text{C}$ .

A los 14 días de curado, se observa que ocurre una mayor absorción a la temperatura de curado de  $0^{\circ}\text{C}$  con un valor de 11.01 %, y es menor cuando la temperatura del curado es de  $20^{\circ}\text{C}$ , con un 10.15 %; además se precisa que la absorción del concreto endurecido está relacionada directamente con la temperatura de curado ya que mientras



la temperatura asciende, la absorción descende, esto sucede para las temperaturas de 0 °C, 5 °C, 10 °C, 15 °C y 20 °C.

A los 28 días de curado, se observa que ocurre una mayor absorción a la temperatura de curado de 0 °C con un valor de 10.88 %, y es menor cuando la temperatura del curado es de 20 °C, con un 9.81 %, además se precisa que la absorción del concreto endurecido está relacionada directamente con la temperatura de curado ya que mientras la temperatura asciende, la absorción descende, esto sucede para las temperaturas de 0 °C, 5 °C, 10 °C, 15 °C y 20 °C.

#### **4.2.2. *Peso específico del concreto***

La prueba de peso específico se realizó cumpliendo las pautas de la norma ASTM C642-13, a las temperaturas de curado de -5 °C, 0 °C, 5 °C, 10 °C, 15 °C y 20 °C. La metodología empleada está en la sección 3.3.3 del presente trabajo. Los resultados completos, se muestran en el Anexo No. 7.

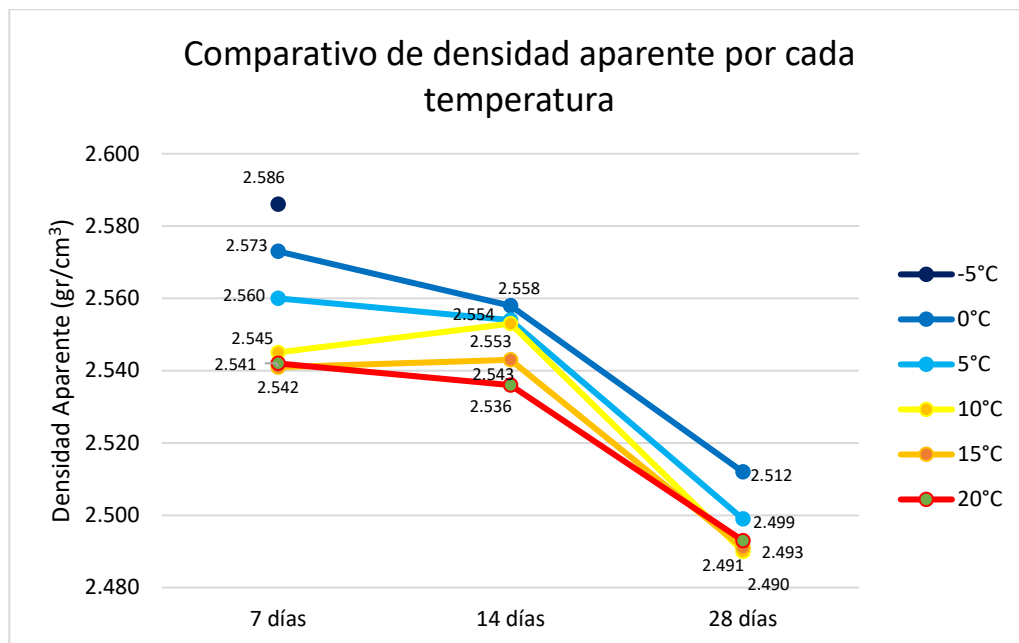
##### **4.2.2.1. *Densidad Aparente***

Tal como se indicó en la sección 3.5.1., las muestras curadas a -5 °C no se incluyen en los resultados a 14 y 28 días, por las razones expuestas.

A continuación, en la Figura No 22, observamos los resultados obtenidos de la densidad aparente del concreto endurecido de 7, 14 y 28 días de edad.

**Figura 22**

*Evolución de la densidad aparente del concreto endurecido*



A los 7 días de curado, observamos que la densidad aparente llega a un valor alto cuando la temperatura de curado es  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  con un valor de  $2.586\text{ gr/cm}^3$ , y es menor cuando la temperatura del curado es de  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , con un  $2.541\text{ gr/cm}^3$ ; además, se precisa que la densidad aparente del concreto endurecido está relacionada directamente con la temperatura de curado ya que mientras la temperatura asciende, la densidad aparente descende, esto sucede para las temperaturas de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

A los 14 días de curado, se observa que la densidad aparente luego del curado del concreto a la temperatura de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  alcanza un valor mayor de  $2.558\text{ gr/cm}^3$ , y cuando la temperatura del curado es de  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , un valor menor de  $2.536\text{ gr/cm}^3$ ; además, se precisa que la densidad aparente del concreto endurecido está relacionada directamente con la temperatura de curado ya que mientras la temperatura está en aumento, la densidad aparente descende, esto sucede para las temperaturas de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

A los 28 días de curado, se observa que la densidad aparente luego del curado del concreto a la temperatura de 0 °C es 2.512 gr/cm<sup>3</sup> que representa el mayor de las seis temperaturas de curado, y cuando la temperatura del curado es de 10 °C, se obtiene el menor valor 2.490 gr/cm<sup>3</sup> a comparación de las seis temperaturas; además, se precisa que la densidad aparente del concreto endurecido está relacionada directamente con la temperatura de curado ya que mientras la temperatura está en aumento, la densidad aparente desciende, esto sucede para las temperaturas de 0 °C, 5 °C, 10 °C, 15 °C y 20 °C.

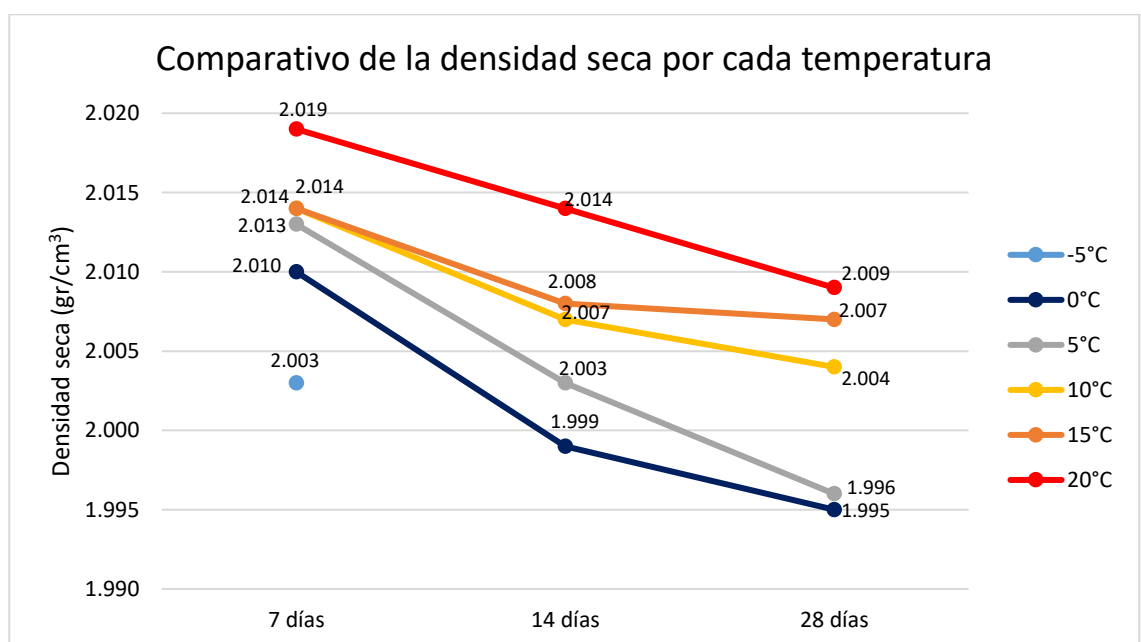
#### 4.2.2.2. Densidad Seca

De acuerdo a lo indicado en la sección 3.5.1., las muestras curadas a -5 °C no se incluyen en los resultados a 14 y 28 días, por las razones expuestas

A continuación, observamos los resultados adquiridos de la densidad seca del concreto endurecido de 7, 14 y 28 días de edad.

**Figura 23**

*Evolución de la densidad seca del concreto endurecido*







A los 7 días de curado, observamos que la densidad seca logra llegar a un valor alto cuando la temperatura de curado es 20 °C con 2.019 gr/cm<sup>3</sup>, y es menor cuando la temperatura del curado es de -5 °C, con 2.003 gr/cm<sup>3</sup>; además, se precisa que la densidad seca del concreto endurecido está relacionada directamente con la temperatura de curado ya que mientras la temperatura asciende, la densidad seca descende, esto sucede para las temperaturas de -5 °C, 0 °C, 5 °C, 10 °C, 15 °C y 20 °C.

A los 14 días de curado, se observa que la densidad seca luego del curado del concreto a la temperatura de curado de 20 °C alcanza un valor mayor de 2.014 gr/cm<sup>3</sup>, y cuando la temperatura del curado es de 0 °C, un valor menor de 1.999 gr/cm<sup>3</sup>; además, se precisa que la densidad seca del concreto endurecido está relacionada directamente con la temperatura de curado ya que a mientras la temperatura asciende, la densidad seca se descende, esto sucede para las temperaturas de 0 °C, 5 °C, 10 °C, 15 °C y 20 °C.

A los 28 días de curado, se observa que la densidad seca luego del curado del concreto a la temperatura de curado de 20 °C alcanza un valor mayor de 2.009 gr/cm<sup>3</sup>, y cuando la temperatura del curado es de 0 °C, un valor menor de 1.995 gr/cm<sup>3</sup>; además, se precisa que la densidad seca del concreto endurecido está relacionada directamente con la temperatura de curado ya que mientras la temperatura asciende, la densidad seca se descende, esto sucede para las temperaturas de 0 °C, 5 °C, 10 °C, 15 °C y 20 °C.

#### **4.2.3. *Volumen de Poros Permeables***

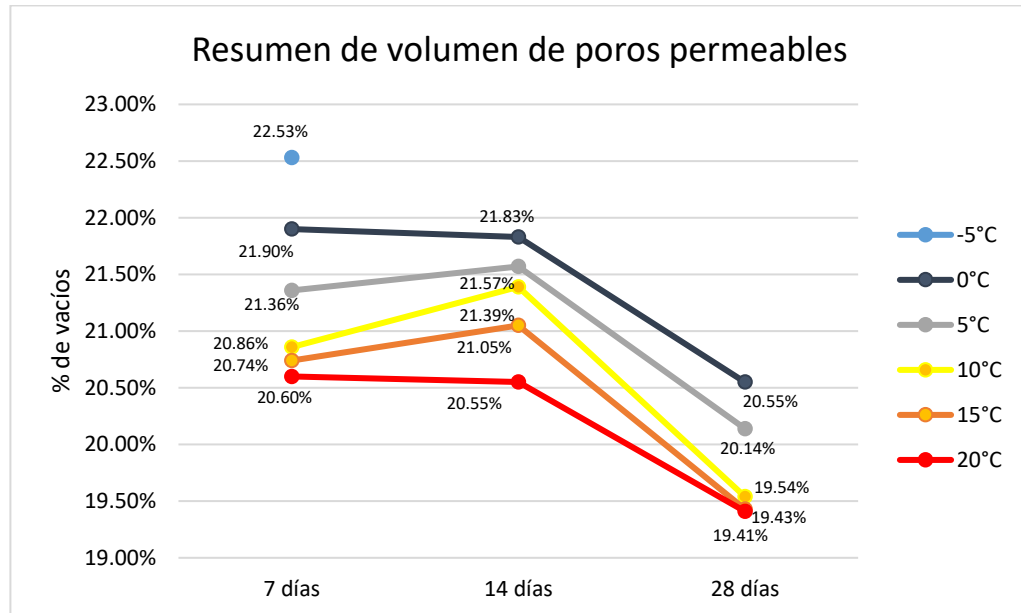
El ensayo de volumen de poros permeables (vacíos) se realizó cumpliendo lo establecido en la normativa ASTM C642-13, a las temperaturas de curado de -5 °C, 0 °C, 5 °C, 10 °C, 15 °C y 20 °C. La metodología empleada está en la sección 3.3.3 del presente trabajo. Los resultados completos, se muestran en el Anexo No. 7.

Las muestras curadas a -5 °C no se incluyen en los resultados a 14 y 28 días, por las razones expuestas en la sección 3.5.1.

A continuación, observamos los resultados adquiridos del porcentaje de volumen de vacíos del concreto endurecido de 7, 14 y 28 días de edad.

**Figura 24**

*Evolución de la densidad seca del concreto endurecido*



A los 7 días de curado, se observa que el volumen de vacíos del concreto es mayor cuando el curado se realiza a una temperatura de  $-5^{\circ}\text{C}$  con un valor de 22.53 %, y es menor cuando la temperatura del curado es de  $20^{\circ}\text{C}$ , con un valor de 20.60 %; además, se precisa que el volumen de vacíos del concreto endurecido está relacionada directamente en sentido inverso con la temperatura de curado ya que mientras la temperatura aumenta, el volumen de vacíos se reduce, esto sucede para las temperaturas de  $-5^{\circ}\text{C}$ ,  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $5^{\circ}\text{C}$ ,  $10^{\circ}\text{C}$ ,  $15^{\circ}\text{C}$  y  $20^{\circ}\text{C}$ .

A los 14 días de curado, se observa que el volumen de vacíos del concreto es mayor cuando el curado se realiza a una temperatura de  $0^{\circ}\text{C}$  con un valor de 21.83 %, y es menor cuando la temperatura del curado es de  $20^{\circ}\text{C}$ , con un valor de 20.55 %; además, se precisa que el volumen de vacíos del concreto endurecido está relacionada directamente en sentido inverso con la temperatura de curado ya que mientras la



temperatura aumenta, el volumen de vacíos se reduce, esto sucede para las temperaturas de 0 °C, 5 °C, 10 °C, 15 °C y 20 °C.

A los 28 días de curado, se observa que el volumen de vacíos del concreto es mayor cuando el curado se realiza a una temperatura 0 °C con un valor de 20.55 %, y es menor cuando la temperatura del curado es de 20 °C, con un valor de 19.41 %. además, se precisa que el volumen de vacíos del concreto endurecido está relacionada directamente en sentido inverso con la temperatura de curado ya que mientras la temperatura aumenta, el volumen de vacíos se reduce, esto sucede para las temperaturas de 0 °C, 5 °C, 10 °C, 15 °C y 20 °C.

#### **4.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS ESTADÍSTICA**

El procedimiento para contrastar una hipótesis estadística, se realizó de acuerdo a lo indicado en la sección 3.3.8.

Primeramente, realizamos una pre hipótesis o prueba de normalidad y su consecuente prueba de correlación, en ese orden para cada ensayo ejecutado.

##### **Prueba de normalidad**

Con esta prueba determinamos si nuestros datos de los resultados poseen una distribución normal. Hay dos pruebas para hallar la normalidad, los cuales son la prueba de Shapiro - Wilk y la prueba de Kolmogorov – Smirnov. El primero se utiliza si la cantidad de “n” (número de datos de un ensayo) analizados son menores o iguales que 50, el segundo cuando “n” es mayor que 50. Para la presente tesis adoptamos el método de Shapiro – Wilk debido a que “n” es menor que 50.

## Prueba de correlación

Conforme a lo obtenido en la pre hipótesis, se determina que la investigación se hará con prueba paramétrica utilizando la prueba de correlación de Pearson.

La correlación se hizo entre la variable dependiente (resistencia a la compresión, tracción, flexión y propiedades físicas) y la variable independiente (temperatura de curado -5 °C, 0 °C, 5 °C, 10 °C, 15 °C y 20 °C).

En la Tabla 30 observamos los valores de “r” de Pearson, los mismos que determinarán en cada prueba, la existencia de correlación negativa o positiva, y la no existencia de relación entre variables según sea el caso.

**Tabla 30**

*Valores de coeficientes Pearson*

Valor del Coeficiente r	Significado
1.00	Correlación positiva perfecta.
0.90	Correlación positiva muy fuerte.
0.75	Correlación positiva considerable.
0.50	Correlación positiva media.
0.25	Correlación positiva débil.
0.10	Correlación positiva muy débil.
0.00	No existe correlación entre las variables.
-0.10	Correlación negativa muy débil.
-0.25	Correlación negativa débil.
-0.50	Correlación negativa media.
-0.75	Correlación negativa considerable.
-0.90	Correlación negativa muy fuerte.
-1.00	Correlación negativa perfecta.

*Nota.* (Hernández & Mendoza, Metodología de la investigación, 2019, p. 346)

### 4.3.1. Prueba de normalidad de resistencia a compresión a 28 días

#### Planteamiento de la hipótesis estadística

Ho: Los datos de resistencia a la compresión poseen una distribución normal.

Ha: Los datos de resistencia a la compresión no poseen una distribución normal.



### Nivel de significancia

El nivel de confianza con la que trabajaremos es de 95%, por lo que nuestro valor de significancia vendría a ser 0.05.

### Prueba de estadística a emplear

La cantidad de nuestros datos es 3, por lo que aplicaremos la prueba de Shapiro – Wilk

**Tabla 31**

*Normalidad para la resistencia a compresión*

Prueba de normalidad	Shapiro - Wilk		
	Estadístico	gl.	Sig.
R.C. 28 días (-5°C)	0.991	3	0.816
R.C. 28 días (0°C)	0.981	3	0.733
R.C. 28 días (5°C)	0.937	3	0.515
R.C. 28 días (10°C)	0.852	3	0.245
R.C. 28 días (15°C)	0.851	3	0.244
R.C. 28 días (20°C)	0.846	3	0.229

*Nota.* Datos hallados en el SPSS

### Criterio de decisión

- Si P-valor < 0.05: aceptamos la hipótesis alterna.
- Si P-valor > 0.05: aceptamos la hipótesis nula.

### Decisión y conclusión

Como P-valor para la resistencia a la compresión a los 28 días son mayores al valor de significancia 0.05, aceptamos la hipótesis nula donde nos dice que los datos tienen una distribución normal por lo que aplicaremos la estadística paramétrica con una prueba de correlación de Pearson.

#### 4.3.2. *Correlación de Pearson para la Resistencia a la compresión*

##### **Planteamiento de la hipótesis estadística**

Ho: La resistencia a la compresión no tiene relación con las diferentes temperaturas de curado.

Ha: La resistencia a la compresión tiene relación con las diferentes temperaturas de curado.

##### **Nivel de significancia**

El nivel de confianza con la que trabajaremos es de 95%, por lo que nuestro valor de significancia vendría a ser 0.05.

##### **Prueba de correlación**

Paramétrica: coeficiente de Pearson

**Tabla 32**

*Cálculo de valor de significancia para la resistencia a la compresión*

<b>Coeficiente de Pearson</b>			
Variables	Correlación de Pearson	N	Sig. (bilateral)
Temperatura del agua – Resistencia a la compresión	0.903	6	0.014

*Nota.* Datos hallados en el SPSS

##### **Criterio de decisión**

- Si P-valor < 0.05: aceptamos la hipótesis alterna.
- Si P-valor > 0.05: aceptamos la hipótesis nula.

##### **Decisión y conclusión**

Como P-valor = 0.014 es menor a 0.05, por lo tanto, existe una relación significativa entre la temperatura del agua de curado y la resistencia a la compresión. La relación es directa, es decir, a mayor temperatura del agua mayor es la resistencia a la



compresión, además la correlación es positiva muy fuerte ya que la correlación de Pearson es 0.903.

#### 4.3.3. Prueba de normalidad de resistencia a tracción a 28 días

##### Planteamiento de la hipótesis estadística

Ho: Los datos de resistencia a la tracción poseen una distribución normal.

Ha: Los datos de resistencia a la tracción no poseen una distribución normal.

##### Nivel de significancia

El nivel de confianza con la que trabajaremos es de 95%, por lo que nuestro valor de significancia vendría a ser 0.05.

##### Prueba de estadística a emplear

La cantidad de nuestros datos es 3, por lo que aplicaremos la prueba de Shapiro – Wilk

**Tabla 33**

*Normalidad para la resistencia a tracción*

Prueba de normalidad	Shapiro - Wilk		
	Estadístico	gl.	Sig.
R.T. 28 días (-5°C)	0.988	3	0.792
R.T. 28 días (0°C)	0.937	3	0.515
R.T. 28 días (5°C)	0.996	3	0.872
R.T. 28 días (10°C)	0.750	3	0.000
R.T. 28 días (15°C)	0.947	3	0.557
R.T. 28 días (20°C)	0.845	3	0.227

*Nota.* Datos hallados en el SPSS

##### Criterio de decisión

- Si P-valor < 0.05: aceptamos la hipótesis alterna.
- Si P-valor > 0.05: aceptamos la hipótesis nula.

##### Decisión y conclusión

Como P-valor para la resistencia a la tracción a los 28 días son mayores al valor de significancia 0.05, aceptamos la hipótesis nula donde nos dice que los datos tienen una

distribución normal por lo tanto aplicaremos la estadística paramétrica con una prueba de correlación de Pearson.

#### 4.3.4. *Correlación de Pearson para la resistencia a la tracción*

##### **Planteamiento de la hipótesis estadística**

Ho: La resistencia a la tracción no tiene relación con las diferentes temperaturas de curado.

Ha: La resistencia a la tracción tiene relación con las diferentes temperaturas de curado.

##### **Nivel de significancia**

El nivel de confianza con la que trabajaremos es de 95%, por lo que nuestro valor de significancia vendría a ser 0.05.

##### **Prueba de correlación**

Paramétrica: coeficiente de Pearson

#### **Tabla 34**

*Cálculo del valor de valor de significancia para la resistencia a la tracción*

<b>Coeficiente de Pearson</b>			
<b>Variabes</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	<b>N</b>	<b>Sig. (bilateral)</b>
Temperatura del agua – Resistencia a la tracción	0.984	6	0.000

*Nota.* Datos hallados en el SPSS

##### **Criterio de decisión**

- Si P-valor < 0.05: aceptamos la hipótesis alterna.
- Si P-valor > 0.05: aceptamos la hipótesis nula.

##### **Decisión y conclusión**

Como P-valor = 0.000 es menor a 0.05, por lo tanto, existe una relación significativa entre la temperatura del agua de curado y la resistencia a la tracción. La



relación es directa, es decir, a mayor temperatura del agua mayor es la resistencia a la tracción, además la relación es positiva muy fuerte ya que la correlación de Pearson es 0.984.

#### 4.3.5. Prueba de normalidad de resistencia a flexión a 28 días

##### Planteamiento de la hipótesis estadística

H<sub>0</sub>: Los datos de resistencia a la flexión poseen una distribución normal.

H<sub>a</sub>: Los datos de resistencia a la flexión no poseen una distribución normal.

##### Nivel de significancia

El nivel de confianza con la que trabajaremos es de 95%, por lo que nuestro valor de significancia vendría a ser 0.05.

##### Prueba de estadística a emplear

La cantidad de nuestros datos es 3, por lo que aplicaremos la prueba de Shapiro – Wilk

**Tabla 35**

*Normalidad para la resistencia a flexión*

Prueba de normalidad	Shapiro - Wilk		
	Estadístico	gl.	Sig.
R.F. 28 días (-5°C)	0.852	3	0.247
R.F. 28 días (0°C)	1.000	3	1.000
R.F. 28 días (5°C)	0.989	3	0.801
R.F. 28 días (10°C)	0.992	3	0.829
R.F. 28 días (15°C)	0.850	3	0.242
R.F. 28 días (20°C)	0.969	3	0.661

*Nota.* Datos hallados en el SPSS

##### Criterio de decisión

- Si P-valor < 0.05: aceptamos la hipótesis alterna.
- Si P-valor > 0.05: aceptamos la hipótesis nula.

## Decisión y conclusión

Como P-valor para la resistencia a la flexión a los 28 días son mayores al valor de significancia 0.05, aceptamos la hipótesis nula donde nos dice que los datos tienen una distribución normal por lo tanto aplicaremos la estadística paramétrica con una prueba de correlación de Pearson.

### 4.3.6. Correlación de Pearson para la Resistencia a la flexión

#### Planteamiento de la hipótesis estadística

Ho: La resistencia a la flexión no tiene relación con las diferentes temperaturas de curado.

Ha: La resistencia a la flexión tiene relación con las diferentes temperaturas de curado.

#### Nivel de significancia

El nivel de confianza con la que trabajaremos es de 95%, por lo que nuestro valor de significancia vendría a ser 0.05.

#### Prueba de correlación

Paramétrica: coeficiente de Pearson

**Tabla 36**

*Cálculo del valor de valor de significancia para la resistencia a la flexión*

Coeficiente de Pearson			
Variables	Correlación de Pearson	N	Sig. (bilateral)
Temperatura del agua – Resistencia a la flexión	0.820	6	0.045

*Nota.* Datos hallados en el SPSS

#### Criterio de decisión

- Si P-valor < 0.05: aceptamos la hipótesis alterna.
- Si P-valor > 0.05: aceptamos la hipótesis nula.



### Decisión y conclusión

Como P-valor = 0.045 es menor a 0.05, por lo tanto, existe una relación significativa entre la temperatura del agua de curado y la resistencia a la flexión. La relación es directa, es decir, a mayor temperatura del agua mayor es la resistencia a la flexión, además la relación es positiva considerable ya que la correlación de Pearson es 0.820.

#### 4.3.7. Prueba de normalidad para los datos del ensayo de absorción

##### Planteamiento de la hipótesis estadística

Ho: Los datos del porcentaje de absorción tienen una distribución normal.

Ha: Los datos del porcentaje de absorción no tienen una distribución normal.

##### Nivel de significancia

El nivel de confianza con la que trabajaremos es de 95%, por lo que nuestro valor de significancia vendría a ser 0.05.

##### Prueba de estadística a emplear

La cantidad de nuestros datos es 5, por lo que aplicaremos la prueba de Shapiro – Wilk

**Tabla 37**

*Normalidad para la absorción del concreto*

Prueba de normalidad	Shapiro - Wilk		
	Estadístico	gl.	Sig.
% Absorción 28 días	0.860	5	0.226

*Nota.* Datos hallados en el SPSS

##### Criterio de decisión

- Si P-valor < 0.05: aceptamos la hipótesis alterna.
- Si P-valor > 0.05: aceptamos la hipótesis nula.



## Decisión y conclusión

Como P-valor para el ensayo de absorción a los 28 días es mayor al valor de significancia 0.05, lo que indica que aceptamos la hipótesis nula donde nos dice que los datos tienen una distribución normal por lo tanto aplicaremos la estadística paramétrica con una prueba de correlación de Pearson.

### 4.3.8. Prueba de correlación Pearson para la absorción a 28 días

#### Planteamiento de la hipótesis estadística

Ho: El porcentaje de absorción no tiene relación con las diferentes temperaturas de curado.

Ha: El porcentaje de absorción tiene relación con las diferentes temperaturas de curado.

#### Nivel de significancia

El nivel de confianza con la que trabajaremos es de 95%, por lo que nuestro valor de significancia vendría a ser 0.05.

#### Prueba de correlación

Paramétrica: coeficiente de Pearson

### Tabla 38

*Cálculo del valor de valor de significancia para la absorción del concreto*

Coeficiente de Pearson			
Variables	Correlación de Pearson	N	Sig. (bilateral)
Temperatura del agua – % de absorción a 28 días	-0.918	5	0.028

Nota. Datos hallados en el SPSS

#### Criterio de decisión

- Si P-valor < 0.05: aceptamos la hipótesis alterna.
- Si P-valor > 0.05: aceptamos la hipótesis nula.

## Decisión y conclusión

Como  $P\text{-valor} = 0.028$  es menor a 0.05, existe una relación entre la temperatura del agua de curado y la absorción del concreto. Esta relación es negativa muy fuerte, ya que la correlación  $r$  de Pearson es  $-0.918$ , por lo que se determina que la relación es inversa, es decir, a mayor temperatura del agua el porcentaje de absorción disminuye.

### 4.3.9. Prueba de normalidad para la densidad aparente

#### Planteamiento de la hipótesis estadística

$H_0$ : Los datos de densidad aparente tienen una distribución normal.

$H_a$ : Los datos de densidad aparente no tienen una distribución normal.

#### Nivel de significancia

El nivel de confianza con la que trabajaremos es de 95%, por lo que nuestro valor de significancia vendría a ser 0.05.

#### Prueba de estadística a emplear

La cantidad de nuestros datos es 5, por lo que aplicaremos la prueba de Shapiro – Wilk

**Tabla 39**

*Normalidad para la densidad aparente*

Prueba de normalidad	Shapiro - Wilk		
	Estadístico	gl.	Sig.
Densidad aparente 28 días	0.830	5	0.140

*Nota.* Datos hallados en el SPSS

#### Criterio de decisión

- Si  $P\text{-valor} < 0.05$ : aceptamos la hipótesis alterna.
- Si  $P\text{-valor} > 0.05$ : aceptamos la hipótesis nula.

## Decisión y conclusión

Como P-valor para la densidad aparente a los 28 días es mayor al valor de significancia 0.05, aceptamos la hipótesis nula donde nos dice que los datos tienen una distribución normal por lo tanto aplicaremos la estadística paramétrica con una prueba de correlación de Pearson.

### 4.3.10. Prueba de correlación Pearson para la densidad aparente

#### Planteamiento de la hipótesis estadística

Ho: La densidad aparente no tiene relación con las diferentes temperaturas de curado.

Ha: La densidad aparente tiene relación con las diferentes temperaturas de curado.

#### Nivel de significancia

El nivel de confianza con la que trabajaremos es de 95%, por lo que nuestro valor de significancia vendría a ser 0.05.

#### Prueba de correlación

Paramétrica: coeficiente de Pearson

### Tabla 40

*Cálculo de la significancia para la densidad aparente del concreto*

Coeficiente de Pearson			
Variables	Correlación de Pearson	N	Sig. (bilateral)
Temperatura del agua – densidad aparente	-0.801	5	0.140

*Nota.* Datos hallados en el SPSS

#### Criterio de decisión

- Si P-valor < 0.05: aceptamos la hipótesis alterna.
- Si P-valor > 0.05: aceptamos la hipótesis nula.

## Decisión y conclusión

Como  $P\text{-valor} = 0.140$  es mayor a  $0.05$ , por lo tanto, no existe una relación entre la temperatura del agua de curado y la densidad aparente.

#### 4.3.11. Prueba de normalidad para la densidad seca

##### Planteamiento de la hipótesis estadística

$H_0$ : Los datos de densidad seca tienen una distribución normal.

$H_a$ : Los datos de densidad seca no tienen una distribución normal.

##### Nivel de significancia

El nivel de confianza con la que trabajaremos es de  $95\%$ , por lo que nuestro valor de significancia vendría a ser  $0.05$ .

##### Prueba de estadística a emplear

La cantidad de nuestros datos es  $5$ , por lo que aplicaremos la prueba de Shapiro – Wilk

**Tabla 41**

*Normalidad para la densidad seca*

Prueba de normalidad	Shapiro - Wilk		
	Estadístico	gl.	Sig.
Densidad seca 28 días	0.879	5	0.303

*Nota.* Datos hallados en el SPSS

##### Criterio de decisión

- Si  $P\text{-valor} < 0.05$ : aceptamos la hipótesis alterna.
- Si  $P\text{-valor} > 0.05$ : aceptamos la hipótesis nula.

##### Decisión y conclusión

Como  $P\text{-valor}$  para la densidad seca a los  $28$  días es mayor al valor de significancia  $0.05$ , lo que indica que aceptamos la hipótesis nula donde nos dice que los datos tienen una distribución normal por lo tanto aplicaremos estadística paramétrica con prueba de correlación de Pearson.

#### 4.3.12. Prueba de correlación Pearson para la densidad seca

##### Planteamiento de la hipótesis estadística

Ho: La densidad seca no tiene relación con las diferentes temperaturas para su curado.

Ha: La densidad seca tiene relación con las diferentes temperaturas para su curado.

##### Nivel de significancia

El nivel de confianza con la que trabajaremos es de 95%, por lo que nuestro valor de significancia vendría a ser 0.05.

##### Prueba de correlación

Paramétrica: coeficiente de Pearson

#### Tabla 42

*Cálculo de la significancia para la densidad seca del concreto*

Coeficiente de Pearson			
Variables	Correlación de Pearson	N	Sig. (bilateral)
Temperatura del agua – densidad aparente	0.967	5	0.007

*Nota.* Datos hallados en el SPSS

##### Criterio de decisión

- Si P-valor < 0.05: aceptamos la hipótesis alterna.
- Si P-valor > 0.05: aceptamos la hipótesis nula.

##### Decisión y conclusión

Como P-valor = 0.007 es menor a 0.05, por lo tanto, existe una relación significativa entre la temperatura del agua de curado y la densidad seca. La relación es directa, es decir, a mayor temperatura del agua la densidad aparente aumenta, además la relación es muy fuerte (0.967).



#### 4.3.13. Prueba de normalidad para los datos de volumen de poros

##### Planteamiento de la hipótesis estadística

Ho: Los datos de volumen de poros tienen una distribución normal.

Ha: Los datos de volumen de poros no tienen una distribución normal.

##### Nivel de significancia

El nivel de confianza con la que trabajaremos es de 95%, por lo que nuestro valor de significancia vendría a ser 0.05.

##### Prueba de estadística a emplear

La cantidad de nuestros datos es 5, por lo que aplicaremos la prueba de Shapiro – Wilk

#### Tabla 43

*Normalidad para el volumen de poros del concreto*

Prueba de normalidad	Shapiro - Wilk		
	Estadístico	gl.	Sig.
Volumen de poros	0.835	5	0.152

*Nota.* Datos hallados en el SPSS

##### Criterio de decisión

- Si P-valor < 0.05: aceptamos la hipótesis alterna.
- Si P-valor > 0.05: aceptamos la hipótesis nula.

##### Decisión y conclusión

Como p-valor para el volumen de poros a los 28 días es mayor al valor de significancia 0.05, lo que indica que aceptamos la hipótesis nula donde nos dice que los datos tienen una distribución normal por lo tanto aplicaremos la estadística paramétrica con una prueba de correlación de Pearson.

#### 4.3.14. Prueba de correlación Pearson para el volumen de poros

##### Planteamiento de la hipótesis estadística



Ho: El volumen de poros no tiene relación con las diferentes temperaturas para su curado.

Ha: El volumen de poros tiene relación con las diferentes temperaturas para su curado.

### Nivel de significancia

El nivel de confianza con la que trabajaremos es de 95%, por lo que nuestro valor de significancia vendría a ser 0.05.

### Prueba de correlación

Paramétrica: coeficiente de Pearson

### Tabla 44

*Cálculo de la significancia para el volumen de poros del concreto*

Coeficiente de Pearson			
Variables	Correlación de Pearson	N	Sig. (bilateral)
Temperatura del agua – volumen de poros	-0.930	5	0.022

*Nota.* Datos hallados en el SPSS

### Criterio de decisión

- Si P-valor < 0.05: aceptamos la hipótesis alterna.
- Si P-valor > 0.05: aceptamos la hipótesis nula.

### Decisión y conclusión

Como P-valor = 0.022 es menor a 0.05, existe una relación entre la temperatura del agua de curado y el volumen de poros del concreto. Esta relación es negativa muy fuerte ya que la correlación r de Pearson es -0.930 por lo que se determina que la relación es inversa, es decir, a mayor temperatura del agua el porcentaje de absorción disminuye.

#### 4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La presente tesis tuvo como finalidad comprobar la relación entre el curado del concreto a diferentes temperaturas desde  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta los  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  y la Resistencia a la Compresión, Tracción y Flexión del concreto normal  $f'c = 210\text{ kg/cm}^2$ .

La investigación de Gálvez (2019) indica que la resistencia a la compresión a los 28 días de curado y a temperaturas de  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  son  $148\text{ kg/cm}^2$ ,  $215\text{ kg/cm}^2$  y  $190.4\text{ kg/cm}^2$  respectivamente, deduciéndose que la resistencia a la compresión del concreto es más eficiente a una temperatura de  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . En cuanto a los resultados de nuestra investigación se tuvo a una temperatura de  $5^{\circ}\text{C}$  una resistencia de  $210.77\text{kg/cm}^2$  y a  $20^{\circ}\text{C}$  una resistencia de  $237.12\text{kg/cm}^2$ , lo cual indica que nuestros resultados en cuanto a  $5^{\circ}\text{C}$  y  $20^{\circ}\text{C}$  son mayores a las del autor, para los  $35^{\circ}\text{C}$  en los resultados de resistencia del autor disminuye, en nuestro caso no es posible afirmar este resultado debido a que no se realizaron ensayos a temperaturas mayores a  $20^{\circ}\text{C}$ . También encontramos el estudio de Aguinaga (2019) donde el curado se hizo bajo tres condiciones, una de ellas es que el curado se realizó en laboratorio con el agua a temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$ , en esta condición se verificó que la resistencia a la compresión en 28 días es  $221.37\text{ kg/cm}^2$  con respecto la resistencia a la compresión de diseño  $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ . En la presente investigación determinamos que el concreto curado a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  da una resistencia a la compresión de  $237.12\text{ kg/cm}^2$ . La diferencia entre ambas investigaciones es de  $15.75\text{ kg/cm}^2$ , con lo cual deducimos que se debe por las condiciones de curado, ya que la investigación fue con una temperatura controlada y constante, mientras que la investigación del autor en mención, la temperatura de curado, no fue controlada.

La investigación de Huaricancha (2018) indica que la resistencia a compresión curado a una temperatura de  $5^{\circ}\text{C}$  y  $10^{\circ}\text{C}$  a los 28 días se tuvo una resistencia a compresión de  $214\text{ kg/cm}^2$  y  $257\text{kg/cm}^2$  la cual está en aumento, en nuestra investigación se obtuvo a

las mismas temperaturas del autor una resistencia de  $210.77 \text{ kg/cm}^2$  y  $231.38 \text{ kg/cm}^2$  que también se encuentra en aumento, los resultados para ambos casos son similares variando una mínima resistencia.

Por otro lado, Quispe (2017) en su investigación realizada en Puno, concluye que el concreto curado a una temperatura de  $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ , obtiene una resistencia promedio a los 28 días de  $214.56 \text{ kg/cm}^2$ . Mientras que, en la presente investigación, la máxima temperatura de curado evaluada, fue de  $20^\circ\text{C}$ , y se tuvo una resistencia de  $237.12 \text{ kg/cm}^2$ . Por lo mencionado, hay una diferencia de  $22.56 \text{ kg/cm}^2$ , uno de los factores de esta diferencia es la diferencia de temperatura de curado, por lo que se induce que a partir de los  $23^\circ\text{C}$  la resistencia del concreto decae.

Con respecto a Barzola (2018) precisa que la media de la resistencia a compresión en 28 días es de  $214.72 \text{ kg/cm}^2$  cuando el agua tiene una temperatura de  $23^\circ\text{C}$  en el proceso de curado, para las condiciones del distrito de Chaupimarca. En nuestra investigación, a una temperatura de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , se obtuvo una resistencia de  $237.12 \text{ kg/cm}^2$ . Entre las dos investigaciones se aprecia una diferencia de  $22.41 \text{ kg/cm}^2$ . Por lo mencionado, con esta investigación contrastada se induce que a partir de los  $23^\circ\text{C}$  la resistencia a compresión del concreto se reduce.

Finalmente, Álvarez & Coriat (2021), investigaron las propiedades físicas del concreto bajo tres condiciones de relación de  $a/c$ , siendo una de ellas  $a/c = 0.60$ ; obtuvieron a los 28 días una absorción de  $10.26 \%$ , densidad seca  $1.93 \text{ gr/cm}^3$ , densidad aparente  $2.41 \text{ gr/cm}^3$  y el volumen de poros de  $19.95 \%$ , la temperatura curada fue en condiciones de laboratorio para condiciones de la ciudad de Iquitos. En esta investigación se trabajó con una relación  $a/c$  de  $0.558$  y a una temperatura de curado de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , en la que se evidenció que a los 28 días se obtuvo una absorción de  $9.81 \%$ , densidad aparente  $2.49 \text{ gr/cm}^3$ , densidad seca  $2.01 \text{ gr/cm}^3$  y volumen de poros de  $19.41\%$ . En función a los



resultados contrastados, se infiere que ambas investigaciones concuerdan ya que las diferencias son mínimas.

#### **4.5. CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS**

##### ***4.5.1. Cumplimiento del objetivo general***

OG: Determinar la relación entre el curado a diferentes temperaturas desde  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta los  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  con la resistencia a la Compresión, Tracción y Flexión del concreto normal.

Para determinar la existencia de correlación se realizó ensayos a compresión, tracción y flexión en laboratorio, con las condiciones de que las unidades de investigación sean curadas a las temperaturas desde  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  y se analizó los resultados a 28 días, en las que se verificó que la temperatura de curado tiene un impacto positivo en las resistencias mecánicas del concreto.

Los resultados muestran que sí existe correlación entre la variable independiente (temperaturas de curado) y la variable dependiente (resistencia a la compresión, tracción y flexión), es decir que a medida que aumentan las temperaturas de curado, las resistencias mecánicas analizadas en este trabajo de investigación, también aumentan.

En la Tabla 32, podemos observar la correlación positiva entre la temperatura de curado y la resistencia a la compresión (p. 84). En la Tabla 34, se observa la correlación entre la temperatura de curado y la resistencia a la tracción (p. 86). Y en la Tabla 36, se observa la correlación positiva entre la temperatura para curado y la resistencia a la flexión (p. 88).

##### ***4.5.2. Cumplimiento de los objetivos específicos***

OE-1: Determinar si la temperatura del agua durante el curado del concreto, tiene relación con la resistencia a la compresión del concreto.



Los datos resultantes para la prueba de resistencia a la compresión del concreto se pueden observar en las Tablas 12, 13, 14, 15, 16 y 17 y comparar en la Figura 16. En la Tabla 32, muestra que, sí existe correlación entre la variable temperatura de curado y la variable resistencia a compresión, es decir a medida que la variable dependiente aumenta, también aumenta la variable independiente.

OE-2: Determinar si la temperatura del agua durante el curado del concreto, tiene relación con la resistencia a la tracción del concreto.

Los datos resultantes para la prueba de resistencia a la tracción del concreto se pueden observar en las Tablas 18, 19, 20, 21, 22, 23 y comparar en la Figura 17. En la Tabla 34, muestra que, sí existe correlación entre la variable temperatura de curado y la variable resistencia a tracción, es decir a medida que la variable dependiente está en aumento, también aumenta la variable independiente.

OE-3: Determinar si la temperatura del agua durante el curado del concreto, tiene relación con la resistencia a la flexión del concreto.

Los datos resultantes de la prueba de resistencia a flexión del concreto se pueden observar en las Tablas 24, 25, 26, 27, 28 y 29 y comparar en la Figura 18. En la Tabla 36, muestra que, sí existe correlación entre la variable temperatura de curado y la variable resistencia a flexión, es decir a medida que la variable dependiente está en aumento, también aumenta la variable independiente.

OE-4: Determinar si la temperatura del agua durante el curado del concreto, tiene relación con las propiedades físicas del concreto.

Finalmente, para determinar la relación entre el curado a diferentes temperaturas desde  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta los  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  con las propiedades físicas del concreto, se realizó ensayos de absorción, densidad aparente y seca y volumen de poros del concreto endurecido. Para ello los resultados se muestran en las Figuras 21, 22, 23 y 24 respectivamente. La Tabla



38, muestra que, si existe correlación, pero negativa, entre la temperatura de curado y la absorción; luego la Tabla 40 muestra que, no existe relación, entre la temperatura de curado y la densidad aparente, la Tabla 42 muestra que, sí existe correlación, entre la temperatura de curado y la densidad seca, la Tabla 44 muestra que, sí existe correlación, pero negativa, entre la temperatura de curado y el volumen de poros del concreto en estado endurecido.



## V. CONCLUSIONES

- Del objetivo general se concluye que, las diferentes temperaturas de curado desde  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta los  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  tienen una relación directa con la resistencia a la compresión, tracción y flexión del concreto, debido a que según los resultados obtenidos observamos que mientras la temperatura del agua asciende las resistencias están en constante aumento.
- Del primer objetivo específico se determinó que, las temperaturas de curado a  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  tienen una relación directa con los resultados de la resistencia a la compresión, pero no cumplen con la resistencia mínima que deberían llegar a la edad de 28 días de curado. En cuanto a las temperaturas de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  también presenta relación directa; con la particularidad de que cumplen y superan la resistencia a compresión de diseño  $210\text{ kg/cm}^2$ ; además en estas tres temperaturas, los resultados se acercan conforme va incrementando la temperatura de curado.
- Del segundo objetivo específico, se determinó que, las temperaturas de curado a  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  tienen una relación directa con los resultados de la resistencia a la tracción a los 28 días, es decir que mientras la temperatura de curado asciende, la resistencia a la tracción también aumenta.
- Del tercer objetivo específico, las temperaturas de curado desde  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  tienen una relación directa con la resistencia a la flexión, es decir que mientras aumenta la temperatura de curado, la resistencia a la flexión también aumenta; asimismo, se precisa que los resultados para esta propiedad mecánica, se acercan conforme va incrementando la temperatura de curado para  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .





- Finalmente, se determinó que las diferentes temperaturas de curado tienen correlación con las propiedades físicas del concreto, excepto para la densidad aparente, ya que a las temperaturas de 10 °C, 15 °C y 20 °C los resultados no guardan una correlación. Por otro lado, la densidad seca sí tiene una relación directa con las diferentes temperaturas de curado, con la particularidad de que la variación entre cada resultado no es considerable, debido a que varían en centésimos. Se precisa además que, para el caso de la absorción, la relación es inversa, es decir que el porcentaje de absorción disminuye mientras la temperatura de agua de curado asciende. En el caso del porcentaje de vacíos del concreto endurecido, se determinó que sí tiene relación, en sentido inverso con las diferentes temperaturas de curado.



## VI. RECOMENDACIONES

- Primero, se recomienda para posteriores estudios analizar el comportamiento mecánico del concreto a temperaturas controladas mayores de 20 °C, de tal forma que se verifique la temperatura que causa el punto de inflexión de disminución de resistencia, con ello se determinaría el rango de temperatura adecuada para lograr óptimas resistencias de compresión, tracción y flexión del concreto en los proyectos de construcción.
- Segundo, dado que esta investigación se hizo en condiciones de laboratorio, se recomienda aplicar en obra, teniendo en consideración de que cuando el curado se realice a bajas temperaturas, las resistencias mecánicas tenderán a bajar y viceversa.
- Tercero, en la investigación se determinó que las temperaturas de curado menores a 5 °C no alcanzan la resistencia a compresión a la que fue diseñada; para el caso de la región Puno, existe esa similitud de condiciones de temperatura, por lo que se recomienda optar por alguna alternativa que asegure su resistencia entre ellas el curado acelerado, uso de aditivos y métodos de curado.
- Cuarto, se recomienda ampliar la cantidad de especímenes destinados a medición de resistencia en laboratorio, con el fin de mejorar el análisis de datos estadísticamente.



## VII. REFERENCIAS

- Abanto, F. (2009). *Tecnología del concreto*. Lima: San Marcos.
- ACI 306R. (2016). *Cold weather concreting*. Estados Unidos: American concrete institute.
- ACI 308. (2001). *Standard practice for curing concrete*. Estados Unidos: American Concrete Institute.
- Aguinaga, G. (2019). *Mitigación de los efectos negativos en el concreto de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, producidos por las altas temperaturas en la ciudad de Tarapoto*. Tarapoto: Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto.
- Alemán, O., & Montoya, J. (2014). *Influencia de los métodos de curado en el desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto*. Managua: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.
- Alva, R. (2013). *Experiencia de implementación en laboratorio de la norma NTP 339.213 para el curado acelerado de probetas de concreto mediante uso de agua hirviendo*. Piura: Universidad de Piura.
- Álvarez, S., & Coriat, C. (2021). *Estudio de la densidad, porcentaje de absorción, y vacíos del concreto cemento - arena empleando la norma ASTM C 642, Iquitos-2021*. Loreto.
- ASTM C39. (2014). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. Estados Unidos: ASTM International.
- ASTM C496. (2011). *Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. Estados Unidos: ASTM International.
- ASTM C642. (2013). *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*. Estados Unidos: ASTM International.
- ASTM C78. (2018). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*. Estados Unidos: ASTM International.
- Baena, G. (2017). *Metodología de la investigación*. México: Patria.
- Barzola, J. (2018). *Análisis de la influencia del gradiente térmico en la resistencia a la compresión en elementos estructurales en el distrito de Chaupimarca - Pasco - 2018*. Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion.
- Carrasco, S. (2007). *Metodología de la investigación científica*. Lima: San Marcos.
- E.060. (2009). *Concreto Armado*. Lima: Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento.
- Esquivel, C., Velasco, V., Rubin, E., Barbachano, E., Gonzales, G., & Castillo, C. (2006). *Coefficiente de correlación intraclase vs correlación de Pearson de la glucemia capilar por reflectometría y glucemia plasmática*. Met int Mex, 166.



- Gálvez, E. (2019). *Influencia de la temperatura en la resistencia del concreto a la compresión*. Chiclayo: Universidad Particular de Chiclayo.
- Gómez, M., & Vidal, S. (2006). *Influencia en la resistencia a compresión de hormigones por efecto de la temperatura ambiente*. redalyc.org, 56-61.
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2019). *Metodología de la investigación*. México: McGrawHill.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, L. (2014). *"Tesis y Metodología de la investigación"* (6ta ed.). McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *"Metodología de la investigación"* (Sexta ed.). México: McGRAW-HILL, Interamericana editores, S.A. de C.V.
- Huaricancha, N. (2018). *Influencia de la temperatura ambiente en la resistencia a la compresión del concreto  $f_c=210\text{kg/cm}^2$  en más de 4380 m.s.n.m. Yanacancha - Pasco*. Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. EE.UU.: Portland Cement Association.
- Mehta, K., & Monteiro, P. (1985). *Concreto. estructura, propiedades y materiales*. California.
- NRMCA. (2021). *CIP 16 - resistencia a flexión del concreto*. Silver Spring: National ready mixed concrete association.
- NRMCA-CIP 11. (2021). *Curado del concreto en el lugar*. Silver Spring: National ready mixed concrete association.
- NTP 339.034. (2008). *Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas*. Lima: Norma Técnica Peruana.
- Ortiz, J., Aguado, A., Zermeño, M., & Alonso, F. (2007). *Influencia de la temperatura ambiental en las propiedades del concreto hidráulico*. Portal del coneixement obert de la UPC.
- Pacheco, L. (2017). *Propiedades del concreto en estado fresco y endurecido*. Moquegua: Universidad José Carlos Mariátegui.
- Pasquel, E. (1998). *Temas de Tecnología del Concreto*. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú Consejo Nacional.
- Perú Construye. (2019). *Esperada estructura sobre el río Rímac*. Perú construye, 1-104. Obtenido de Concreto en obra: Material fundamental para la construcción.
- Pino, R. (2018). *"Metodo de la investigación"* (Segunda ed.). Lima-Perú: Editorial San Marcos.
- Quispe, D. (2017). *Aceleración de la evolución de la resistencia a la compresión del concreto hidráulico en diferentes relaciones de agua - cemento con empleo de agua en ebullición*. Juliaca: Universidad Néstor Cáceres Velásquez.



- Quispe, J., & Tintaya, J. (2019). *Análisis comparativo de técnicas de curado en concretos expuestos a ciclos de congelamiento y deshielo en la región de Puno*. Juliaca: Universidad Peruana Unión.
- Quispe, N. (2017). *Influencia del gradiente térmico en la resistencia del concreto en la ciudad de Puno – 2017*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Riva, E. (2004). *Naturaleza y materiales del concreto*. Lima, Perú: Instituto de la construcción y gerencia.
- Rivera, G. (2013). *Concreto simple*. Civilgeeks.com.
- Ruiz, C. (2013). *Instrumentos y técnicas de investigación educativa*. Texas: DANAGA.
- Salvador, J. (2019). *Análisis de la influencia de la temperatura del agua en la resistencia a la compresión en elementos estructurales a 4380 m.s.n.m. - Chaupimarca - Pasco*. Cerro de Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- Sánchez, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Bogotá, Colombia: Bhandar editores LTDA.
- Sávio, H. (2000). *Propiedades do concreto fresco*. São Paulo: Associação brasileira de cimento portland.
- Solís, R., & Moreno, E. (2005). *Influencia del curado húmedo en la resistencia a compresión del concreto en clima cálido subhúmedo*. Redalyc.org, 6.
- Sota, H. (2017). *Influencia del aditivo sika I y agregado chancado en la resistencia a la compresión y propiedades físicas en concreto de baja permeabilidad*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Tamayo, M. (2018). *"El proceso de la investigación científica"* (4ta ed.). México: Editorial limusa.
- Valcuende, M., Marco, E., Jardón, R., & Gil, A. (2021). *Evolución de la resistencia del hormigón con la edad y la temperatura*. Valencia: E.T.S. de arquitectura.



## ANEXOS

Anexo No. 1: Matriz de consistencia

Anexo No. 2: Operacionalización de variables

Anexo No. 3: Diseño de mezcla

Anexo No. 4: Resultados de resistencia a la compresión

Anexo No. 5: Resultados de resistencia a la tracción

Anexo No. 6: Resultados de resistencia a la flexión

Anexo No. 7: Resultados de densidad, absorción y vacíos en el concreto endurecido

Anexo No. 8: Normativas ASTM

Anexo No. 9: Reportes del SENAMHI

Anexo No. 10: Resumen de resultados de los ensayos realizados

Anexo No. 11: Constancia de ejecución de ensayos

Anexo No. 12: Constancia de equipos utilizados

Anexo No. 13: Certificados de calibración

Anexo No. 14: Mapa de temperaturas mínimas (Prom.1971-2000)

Anexo No. 15: Panel Fotográfico