

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**TESIS**

“INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE GEL DE SÍLICE SOBRE LA  
RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y PESO VOLUMÉTRICO DE UN CONCRETO

$f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$  EN LA REGIÓN CAJAMARCA”

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

**AUTOR:**

Bach. VÁSQUEZ ROJAS, Perci Iván

**ASESOR:**

Dr. Ing. MOSQUEIRA MORENO, Miguel Angel

CAJAMARCA – PERÚ

2026

## **CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD**

### **- FACULTAD DE INGENIERÍA -**

1. **Investigador:** PERCI IVÁN VÁSQUEZ ROJAS  
**DNI:** 48214728  
**Escuela Profesional:** INGENIERÍA CIVIL
2. **Asesor:** Dr. Ing. MIGUEL MOSQUEIRA MORENO  
**Facultad:** DE INGENIERÍA
3. **Grado académico o título profesional**  
☐ Bachiller      ☒ Título profesional      ☐ Segunda especialidad  
☐ Maestro      ☐ Doctor
4. **Tipo de Investigación:**  
☒ Tesis      ☐ Trabajo de investigación      ☐ Trabajo de suficiencia profesional  
☐ Trabajo académico
5. **Título de Trabajo de Investigación:**  
  
**“INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE GEL DE SÍLICE SOBRE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y PESO VOLUMÉTRICO DE UN CONCRETO  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup> EN LA REGIÓN CAJAMARCA”**
6. **Fecha de evaluación:** 17/02/2026
7. **Software antiplagio:**      ☒ TURNITIN      ☐ URKUND (OURIGINAL) (\*)
8. **Porcentaje de Informe de Similitud:** 13%
9. **Código Documento:** Oid: 3117:558020351
10. **Resultado de la Evaluación de Similitud:**  
☒ APROBADO    ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 17/02/2026



**FIRMA DEL ASESOR**

Dr. Ing. MIGUEL MOSQUEIRA MORENO  
DNI: 26733060



Firmado digitalmente por:  
BAZAN DIAZ Laura Sofia  
FAU 20148258801 soft  
Motivo: En señal de  
conformidad  
Fecha: 17/02/2026 21:12:20-0500

**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI**



# Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



## SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

### ACTA N° 0087-2026

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Art. 035 del Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, da a conocer que, a los **veinticuatro días del mes de febrero de 2026**, siendo las quince horas (03:00 p.m.) en la Sala de Audiovisuales (Edificio 1A - Segundo Piso), de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional de Cajamarca, se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dra. Ing. Rosa Haydee Llique Mondragón.  
Vocal : Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas.  
Secretaria : M.Cs. Ing. Katia Nataly Carrión Rabanal.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis **INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE GEL DE SÍLICE SOBRE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y PESO VOLUMÉTRICO DE UN CONCRETO  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  EN LA REGIÓN CAJAMARCA**, presentado por el Bachiller en Ingeniería Civil **PERCI IVÁN VÁSQUEZ ROJAS**, asesorado por el Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno, para la obtención del Título Profesional.

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante, debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : ..... 6.00 ..... PTS.  
EVALUACIÓN PÚBLICA : ..... 12.00 ..... PTS.  
EVALUACIÓN FINAL : ..... 18.00 ..... PTS. DIECIOCHO (En letras)

En consecuencia, se lo declara ..... APROBADO ..... con el calificativo de ..... MUY BUENO .....  
acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las ..... 16:06 ..... horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dra. Ing. Rosa Haydee Llique Mondragón  
Presidente

Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas  
Vocal

M.Cs. Ing. Katia Nataly Carrión Rabanal  
Secretario

Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno  
Asesor

## DEDICATORIA

*A Dios porque está siempre a mi lado  
guiando mis pasos*

*A mis padres Martha Rojas y Alfonso  
Vásquez por su amor infinito y por ser el  
cimiento sobre el cual he construido mis  
sueños*

*A mis hermanos Edgar, Vitelio, Wilson y  
Lizbeth por su apoyo incondicional y por  
enseñarme que la perseverancia es la  
clave de todo logro*

***Perci Iván Vásquez Rojas***



## AGRADECIMIENTO

*En primer lugar, a Dios, por darme la fortaleza y por brindarme vida y salud.*

*A mis queridos padres Martha Rojas y Alfonso Vásquez y a mis hermanos Edgar, Vitelio, Wilson y Lizbeth; por su apoyo incondicional que siempre me han brindado a lo largo de mi carrera.*

*A la Universidad Nacional de Cajamarca y de manera especial a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil, por haberme acogido en sus aulas y brindarme la formación científica y humanística necesaria para mi desarrollo profesional.*

*A mi asesor, el Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno, por su valiosa guía, paciencia y por compartir sus conocimientos durante el desarrollo de esta investigación.*

*A todas aquellas personas que, con una palabra de aliento o un gesto de apoyo, me impulsaron a no rendirme y a culminar con éxito esta etapa de mi vida.*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| DEDICATORIA .....                                                                | i   |
| AGRADECIMIENTO .....                                                             | ii  |
| ÍNDICE DE CONTENIDO .....                                                        | iii |
| ÍNDICE DE TABLAS .....                                                           | vi  |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....                                                           | ix  |
| RESUMEN .....                                                                    | xi  |
| ABSTRACT.....                                                                    | xii |
| CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....                                                   | 1   |
| 1.1. Planteamiento del Problema .....                                            | 1   |
| 1.2. Formulación del Problema.....                                               | 2   |
| 1.3. Hipótesis de la Investigación .....                                         | 2   |
| 1.4. Justificación e Importancia de la Investigación.....                        | 2   |
| 1.5. Alcances o Delimitaciones de la Investigación .....                         | 3   |
| 1.6. Limitaciones de la Investigación .....                                      | 3   |
| 1.7. Objetivos.....                                                              | 3   |
| 1.7.1. Objetivo General .....                                                    | 3   |
| 1.7.2. Objetivos Específicos .....                                               | 3   |
| 1.8. Descripción del Contenido .....                                             | 4   |
| CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....                                                 | 6   |
| 2.1. Antecedentes de la Investigación .....                                      | 6   |
| 2.1.1. Antecedentes a Nivel Internacional.....                                   | 6   |
| 2.1.2. Antecedentes a Nivel Nacional .....                                       | 7   |
| 2.2. Bases Teóricas .....                                                        | 8   |
| 2.2.1. El concreto.....                                                          | 8   |
| 2.2.2. Tipos de Concreto .....                                                   | 9   |
| 2.2.3. Propiedades del Concreto.....                                             | 9   |
| 2.2.4. Aspectos Técnicos sobre la Resistencia a la Compresión del Concreto ..... | 11  |
| 2.2.5. Fenómeno de Retracción o Contracción del Concreto.....                    | 12  |
| 2.2.6. Componentes del Concreto .....                                            | 13  |
| 2.2.7. Propiedades de los agregados del Concreto .....                           | 17  |
| 2.2.8. Diseño de Mezclas para el concreto.....                                   | 21  |
| 2.2.9. Estimación de la Resistencia a la Compresión según ACI – 209. 2R.....     | 21  |

|                                          |                                                                             |    |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.10.                                  | Gel de sílice .....                                                         | 22 |
| 2.2.11.                                  | Influencia de Gel de Sílice en la Resistencia a la compresión. ....         | 23 |
| 2.3.                                     | Definición de términos básicos.....                                         | 24 |
| CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS ..... |                                                                             | 25 |
| 3.1.                                     | Ubicación de la investigación.....                                          | 25 |
| 3.1.1.                                   | Ubicación Geográfica de la Investigación .....                              | 25 |
| 3.1.2.                                   | Ubicación geográfica del Laboratorio .....                                  | 25 |
| 3.1.3.                                   | Ubicación geográfica del origen de los agregados .....                      | 26 |
| 3.2.                                     | Periodo de la Investigación.....                                            | 27 |
| 3.3.                                     | Metodología de la Investigación.....                                        | 28 |
| 3.3.1.                                   | Tipo, Nivel, Método y Diseño de Investigación. ....                         | 28 |
| 3.3.2.                                   | Variables de la Investigación .....                                         | 28 |
| 3.3.3.                                   | Población de Estudio .....                                                  | 28 |
| 3.3.4.                                   | Muestra.....                                                                | 28 |
| 3.3.5.                                   | Unidad de Análisis. ....                                                    | 30 |
| 3.3.6.                                   | Unidad de Observación .....                                                 | 30 |
| 3.4.                                     | Procedimiento de la Investigación.....                                      | 30 |
| 3.4.1.                                   | Selección de Materiales Para el Concreto .....                              | 33 |
| 3.4.1.1.                                 | Agregado Fino y Grueso.....                                                 | 33 |
| 3.4.2.                                   | Extracción y Preparación de las Muestras.....                               | 33 |
| 3.4.3.                                   | Reducción de las Muestras de Agregados.....                                 | 33 |
| 3.4.4.                                   | Propiedades Físicas y Mecánicas de los Agregados .....                      | 34 |
| 3.4.5.                                   | Diseño de Mezclas de Concreto .....                                         | 40 |
| 3.4.6.                                   | Elaboración de Probetas del Concreto de Prueba.....                         | 45 |
| 3.4.7.                                   | Reajuste y/o Corrección de la Relación agua – cemento .....                 | 46 |
| 3.4.8.                                   | Diseño de mezclas para el concreto patrón $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ ..... | 48 |
| 3.4.9.                                   | Diseño de mezclas con la adición del 1.0%, 1.5% y 3.0% de Gel de Sílice. .  | 48 |
| 3.4.10.                                  | Elaboración de Especímenes de Concreto.....                                 | 49 |
| 3.4.11.                                  | Contenido de Aire del Concreto Fresco .....                                 | 50 |
| 3.4.12.                                  | Peso Unitario del Concreto.....                                             | 52 |
| 3.4.13.                                  | Resistencia a la compresión del concreto .....                              | 53 |
| 3.5.                                     | Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....                        | 54 |
| 3.5.1.                                   | Técnicas de recolección .....                                               | 54 |
| 3.5.2.                                   | Instrumentos de recolección.....                                            | 54 |

|                                                                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.5.3. Datos recolectados.....                                                                                                                                 | 55  |
| 3.6. Técnicas y Herramientas para el Procesamiento de datos, Análisis de Datos y Presentación de Resultados.....                                               | 55  |
| 3.6.1. Procesamiento de Datos .....                                                                                                                            | 55  |
| 3.6.2. Análisis de Datos.....                                                                                                                                  | 55  |
| 3.6.3. Técnicas para la Presentación de Resultados .....                                                                                                       | 55  |
| 3.7. Presentación de Resultados .....                                                                                                                          | 56  |
| 3.7.1. Resultados de las Propiedades Físicas de los Agregados.....                                                                                             | 56  |
| 3.7.2. Resultados del Diseño de Mezcla del Concreto .....                                                                                                      | 56  |
| 3.7.3. Resultados de la Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón y con Adición de Gel de Sílice en 1.0%, 1.5% y 3.0% a los 7, 14 y 28 días.....         | 58  |
| 3.7.4. Resultados del Peso Volumétrico del Concreto Patrón y con Adición de Gel de Sílice en 1.0%, 1.5% y 3.0%, en estado fresco y a los 7, 14 y 28 días. .... | 61  |
| 3.7.5. Comparación de la Resistencia a la Compresión y Peso Volumétrico del concreto con Adición de Gel de Sílice y el Concreto Patrón a Los 28 días.....      | 63  |
| CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....                                                                                                           | 64  |
| 4.1. Análisis y Discusión de los Resultados .....                                                                                                              | 64  |
| 4.1.1. Análisis y discusión de Resultados de las Propiedades de los Agregados.....                                                                             | 64  |
| 4.1.2. Análisis y discusión de los Resultados del Diseño de Mezclas .....                                                                                      | 66  |
| 4.1.3. Análisis y discusión de los resultados de la Resistencia a la Compresión del Concreto .....                                                             | 66  |
| 4.1.4. Análisis y Discusión de los resultados del Peso Volumétrico del Concreto ..                                                                             | 68  |
| 4.1.5. Comparación de la resistencia a la compresión y Peso Volumétrico del Concreto con Gel de Sílice y del Concreto patrón a los 28 días.....                | 68  |
| 4.2. Contrastación de Hipótesis .....                                                                                                                          | 70  |
| CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....                                                                                                                | 71  |
| 5.1. Conclusiones.....                                                                                                                                         | 71  |
| 5.2. Recomendaciones .....                                                                                                                                     | 72  |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                                                                                                                | 73  |
| APÉNDICE.....                                                                                                                                                  | 78  |
| ANEXOS .....                                                                                                                                                   | 114 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1</b> Porcentajes de los componentes del concreto. ....                                                | 8  |
| <b>Tabla 2</b> Clasificación del concreto de acuerdo con su consistencia. ....                                  | 10 |
| <b>Tabla 3</b> Componentes Químicos del Cemento Portland. ....                                                  | 13 |
| <b>Tabla 4</b> Tipos de cementos según las normas ASTM y NTP. ....                                              | 15 |
| <b>Tabla 5</b> Calidad del agua para la mezcla y curado del concreto. ....                                      | 16 |
| <b>Tabla 6</b> Clasificación de los agregados para el concreto. ....                                            | 16 |
| <b>Tabla 7</b> Límites granulométricos del agregado fino. ....                                                  | 17 |
| <b>Tabla 8</b> Límites granulométricos para el agregado grueso. ....                                            | 18 |
| <b>Tabla 9</b> Valores de "a" y "b" para estimar la Resistencia a la compresión $f'_c(t)$ .....                 | 21 |
| <b>Tabla 10</b> Porcentaje Típico de Resistencia a la compresión en función de $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ .22 |    |
| <b>Tabla 11</b> Datos Generales de la Ubicación Geográfica de la Investigación. ....                            | 26 |
| <b>Tabla 12</b> Datos de la Ubicación Geográfica de la Cantera .....27                                          |    |
| <b>Tabla 13</b> Distribución del Número de Muestras a Ensayar. ....                                             | 30 |
| <b>Tabla 14</b> Ecuaciones para el Cálculo del Peso Específico del agregado fino.....35                         |    |
| <b>Tabla 15</b> Fórmulas para calcular el peso específico del agregado grueso. ....                             | 36 |
| <b>Tabla 16</b> Fórmulas para Calcular el Peso Unitario. ....                                                   | 37 |
| <b>Tabla 17</b> Resistencia a la Compresión Promedio según el Nivel de Control .....40                          |    |
| <b>Tabla 18</b> Volumen Unitario de Agua. ....                                                                  | 41 |
| <b>Tabla 19</b> Contenido de Aire Atrapado. ....                                                                | 42 |
| <b>Tabla 20</b> Relación agua/cemento por resistencia. ....                                                     | 42 |
| <b>Tabla 21</b> Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados. ....                                           | 44 |
| <b>Tabla 22</b> Resultados de Resistencia a Compresión $f'_c$ en Probetas de Ensayo. ....                       | 46 |
| <b>Tabla 23</b> Propiedades físicas del Agregado Fino y Grueso .....56                                          |    |
| <b>Tabla 24</b> Dosificación y Proporción de los Materiales del Concreto de Prueba.....56                       |    |

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 25</b> Dosificación de los Materiales del Concreto Patrón y adicionado. ....  | 57 |
| <b>Tabla 26</b> Proporción de Materiales del Concreto Patrón y Adicionado .....        | 57 |
| <b>Tabla 27</b> Resultados de la Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón ..... | 58 |
| <b>Tabla 28</b> Resistencia a la Compresión del Concreto a los 7, 14 y 28 días.....    | 59 |
| <b>Tabla 29</b> Peso Volumétrico del Concreto en Estado Fresco .....                   | 61 |
| <b>Tabla 30</b> Peso Específico de Masa del Agregado Fino.....                         | 78 |
| <b>Tabla 31</b> Porcentaje de Absorción del Agregado Fino .....                        | 78 |
| <b>Tabla 32</b> Contenido de Humedad del Agregado Fino.....                            | 78 |
| <b>Tabla 33</b> Peso Específico del Agua Para Agregado Fino .....                      | 79 |
| <b>Tabla 34</b> Factor "f" del Recipiente Para Agregado Fino .....                     | 79 |
| <b>Tabla 35</b> Peso Unitario Suelto Seco del Agregado Fino.....                       | 79 |
| <b>Tabla 36</b> Peso Unitario Compactado Seco del Agregado Fino.....                   | 79 |
| <b>Tabla 37</b> Análisis granulométrico del Agregado Fino .....                        | 80 |
| <b>Tabla 38</b> Peso Específico de Masa del Agregado Grueso. ....                      | 81 |
| <b>Tabla 39</b> Porcentaje de Absorción del Agregado Grueso. ....                      | 81 |
| <b>Tabla 40</b> Contenido de Humedad del Agregado Grueso. ....                         | 81 |
| <b>Tabla 41</b> Porcentaje de agregado grueso que pasa el Tamiz N°200 .....            | 81 |
| <b>Tabla 42</b> Factor "f" del recipiente para agregado grueso .....                   | 82 |
| <b>Tabla 43</b> Peso unitario suelto seco del agregado grueso.....                     | 82 |
| <b>Tabla 44</b> Peso unitario compactado seco de agregado grueso .....                 | 82 |
| <b>Tabla 45</b> Porcentaje de agregado fino que pasa el Tamiz N°200.....               | 82 |
| <b>Tabla 46</b> Análisis granulométrico del Agregado Grueso.....                       | 83 |
| <b>Tabla 47</b> Determinación del factor de Corrección del Agregado "G" .....          | 84 |
| <b>Tabla 48</b> Determinación del Contenido de Aire del Concreto Fresco .....          | 84 |
| <b>Tabla 49</b> Peso Específico y Absorción del Gel de Sílice.....                     | 84 |

|                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabla 50</b> Resultados del Control de Asentamiento del Concreto Fresco.....              | 96  |
| <b>Tabla 51</b> Resultados del Control de Temperatura del Concreto Fresco. ....              | 96  |
| <b>Tabla 52</b> Resultados del Contenido de Aire Atrapado del Concreto Fresco. ....          | 96  |
| <b>Tabla 53</b> Peso Volumétrico del Concreto Fresco Patrón y con % de Gel de Sílice.....    | 97  |
| <b>Tabla 54</b> Peso Volumétrico del Concreto Patrón a los 7 días. ....                      | 98  |
| <b>Tabla 55</b> Peso Volumétrico del Concreto Patrón a los 14 días. ....                     | 98  |
| <b>Tabla 56</b> Peso Volumétrico del Concreto Patrón a los 28 días. ....                     | 98  |
| <b>Tabla 57</b> Peso Volumétrico del Concreto Con 1.0% de Gel de Sílice a los 7 días.....    | 99  |
| <b>Tabla 58</b> Peso Volumétrico del Concreto Con 1.0% de Gel de Sílice a los 14 días. ....  | 99  |
| <b>Tabla 59</b> Peso Volumétrico del Concreto Con 1.0% de Gel de Sílice a los 28 días. ....  | 99  |
| <b>Tabla 60</b> Peso Volumétrico del Concreto Con 1.5% de Gel de Sílice a los 7 días. ....   | 100 |
| <b>Tabla 61</b> Peso Volumétrico del Concreto Con 1.5% de Gel de Sílice a los 14 días. ....  | 100 |
| <b>Tabla 62</b> Peso Volumétrico del Concreto Con 1.5% de Gel de Sílice a los 24 días. ....  | 100 |
| <b>Tabla 63</b> Peso Volumétrico del Concreto Con 3.0 % de Gel de Sílice a los 7 días. ....  | 101 |
| <b>Tabla 64</b> Peso Volumétrico del Concreto Con 3.0 % de Gel de Sílice a los 14 días. .... | 101 |
| <b>Tabla 65</b> Peso Volumétrico del Concreto Con 3.0% de Gel de Sílice a los 28 días. ....  | 101 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 1</b> Evolución de Los Fenómenos de Retracción del Concreto.....                        | 12  |
| <b>Figura 2</b> Evolución Detallada del Calor y Proceso de Hidratación del Cemento.....           | 14  |
| <b>Figura 3</b> Condiciones de humedad de los agregados.....                                      | 19  |
| <b>Figura 4</b> Gel de Sílice blanco.....                                                         | 23  |
| <b>Figura 5</b> Mapa Geográfico de la Investigación.....                                          | 25  |
| <b>Figura 6</b> Ubicación geográfica de la Investigación. ....                                    | 26  |
| <b>Figura 7</b> Ubicación Geográfica de la Cantera Margarita - Chilete .....                      | 27  |
| <b>Figura 8</b> Procedimiento Metodológico de la Investigación .....                              | 32  |
| <b>Figura 9</b> Variación de la Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón .....             | 58  |
| <b>Figura 10</b> Resistencia a la Compresión del Concreto a los 7 días .....                      | 59  |
| <b>Figura 11</b> Resistencia a la Compresión del Concreto a los 14 días .....                     | 60  |
| <b>Figura 12</b> Resistencia a la Compresión del Concreto a los 28 días de Ensayo.....            | 60  |
| <b>Figura 13</b> Peso Volumétrico del Concreto Fresco vs Porcentaje de Gel de Sílice .....        | 61  |
| <b>Figura 14</b> Variación del Peso Volumétrico del Concreto a los 7 días .....                   | 62  |
| <b>Figura 15</b> Variación del Peso Volumétrico del Concreto a los 14 días .....                  | 62  |
| <b>Figura 16</b> Variación del Peso Volumétrico del Concreto a los 28 días .....                  | 63  |
| <b>Figura 17</b> Comparación del concreto con Gel de Sílice y del concreto patrón a los 28 días.. | 63  |
| <b>Figura 18</b> Curva de Distribución Granulométrica del Agregado Fino .....                     | 80  |
| <b>Figura 19</b> Curva de distribución granulométrica del agregado grueso .....                   | 83  |
| <b>Figura 20</b> Ensayo de Análisis Granulométrico de los Agregados .....                         | 130 |
| <b>Figura 21</b> Ensayo de Peso Específico del Agregado Fino .....                                | 130 |
| <b>Figura 22</b> Ensayo de Peso Unitario de los Agregados.....                                    | 131 |
| <b>Figura 23</b> Ensayo de Partículas más Finas que Pasan el Tamiz N° 200 .....                   | 131 |
| <b>Figura 24</b> Ensayo de Asentamiento p Slump del Concreto .....                                | 132 |

|                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 25</b> Ensayo del Contenido de Aire del Concreto Fresco..... | 132 |
| <b>Figura 26</b> Elaboración de Especímenes de Concreto.....           | 133 |
| <b>Figura 27</b> Elaboración de Especímenes patrón y con adición ..... | 133 |
| <b>Figura 28</b> Curado de Especímenes de Concreto .....               | 134 |
| <b>Figura 29</b> Ensayo a Compresión del Concreto a los 7 días .....   | 134 |
| <b>Figura 30</b> Ensayo a Compresión de Concreto a los 14 días.....    | 135 |
| <b>Figura 31</b> Ensayo a Compresión del concreto a los 28 días .....  | 135 |

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo principal determinar la influencia de la incorporación de Gel de Sílice en la resistencia a la compresión y peso volumétrico de un concreto  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$  en la región Cajamarca. Esta investigación se desarrolla bajo un diseño experimental con enfoque cuantitativo de tipo aplicada y nivel correlacional. La muestra se conformó por 72 especímenes cilíndricos de concreto de 15x30 cm, evaluadas a los 7, 14 y 28 días. Los resultados obtenidos a los 28 días indican que la adición de Gel de Sílice en porcentajes de 1.0%, 1.5% y 3.0% incrementó la resistencia a la compresión en  $8.88 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $14.73 \text{ Kg/cm}^2$  y  $23.11 \text{ Kg/cm}^2$ , respectivamente, en comparación con el concreto patrón. De manera inversa, se determinó una reducción en el peso volumétrico de  $56.00 \text{ Kg/m}^3$ ,  $82.18 \text{ Kg/m}^3$  y  $208.959 \text{ Kg/m}^3$  para cada dosificación, evidenciando una relación inversamente proporcional entre la resistencia a la compresión y peso volumétrico. Se concluye que la incorporación de Gel de Sílice (GS) influye de manera positiva aumentando la resistencia a la compresión en 6.88% y disminuyendo el peso volumétrico en 8.99% en un concreto diseñado con  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ , a los 28 días.

**Palabras Calve:** Incorporación, Gel de Sílice, Resistencia a la compresión, Peso Volumétrico.

## ABSTRACT

The primary objective of this research is to determine the influence of incorporating Silica Gel on the compressive strength and unit weight of  $f'_c = 280 \text{ Kg/cm}^2$  concrete in the Cajamarca region. This study was conducted under an experimental design with a quantitative, applied approach at a correlational level. The sample consisted of 72 cylindrical concrete specimens (15 x 30 cm), evaluated at 7, 14, and 28 days. Results obtained at 28 days indicate that the addition of Silica Gel in percentages of 1.0%, 1.5%, and 3.0% increased compressive strength by 8.88  $\text{Kg/cm}^2$ , 14.73  $\text{Kg/cm}^2$ , and 23.11  $\text{Kg/cm}^2$ , respectively, compared to the control mix. Conversely, a reduction in unit weight of 56.00  $\text{Kg/m}^3$ , 82.18  $\text{Kg/m}^3$ , and 208.959  $\text{Kg/m}^3$  was determined for each dosage, revealing an inversely proportional relationship between compressive strength and unit weight. It is concluded that the incorporation of Silica Gel (SG) has a positive influence by increasing compressive strength by 6.88% and decreasing unit weight by 8.99% in concrete designed with  $f'_c = 280 \text{ Kg/cm}^2$  at 28 days.

**Keywords:** Incorporation, Silica Gel, Compressive strength, Unit weight.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Planteamiento del Problema

A nivel mundial, la industria de la construcción busca constantemente optimizar la relación entre la resistencia mecánica y el peso volumétrico del concreto, propiedades que afectan directamente la calidad, durabilidad y seguridad estructural de las edificaciones. Lograr un equilibrio eficiente entre una alta resistencia a la compresión y un reducido peso volumétrico del concreto sigue siendo un problema relevante, debido a la compleja relación entre los componentes del concreto, proporciones de mezcla, condiciones de curado y su comportamiento mecánico, (Onyelowe et al., 2022; Yaseen et al., 2024).

En Latinoamérica, el concreto convencional presenta desafíos importantes relacionados con su resistencia a la compresión y peso volumétrico, si bien se logran las resistencias de diseño, esto ocurre frecuentemente a costa de un elevado peso volumétrico, lo que impacta directamente en la magnitud de las cargas muertas y las fuerzas inerciales durante eventos sísmicos. Esta falta de optimización se ve agravada por variaciones en el control de calidad y la selección de materiales (Silva et al., 2023).

En el Perú, específicamente en Cajamarca, la resistencia del concreto convencional se ve limitado por la baja calidad de los agregados locales y un deficiente control técnico de obra. Vera (2024) señala que el 77% de las construcciones son informales y carecen de asistencia técnica, como consecuencia alcanzan una resistencia de 138 kg/cm<sup>2</sup>, situándose por debajo del mínimo 175 kg/cm<sup>2</sup> exigido por el RNE (Norma E.060) para garantizar la seguridad estructural. Asimismo, esto sumado al elevado peso volumétrico que incrementan las fuerzas inerciales y obligan al sobredimensionamiento de secciones. Por ello, el desafío ingenieril actual radica en optimizar el material mediante soluciones innovadoras y modernas, como la incorporación de gel de sílice. Dávila (2024) señala que la incorporación del 1.0% de gel de sílice incrementó la resistencia a la compresión del concreto significativamente hasta el 9.21% a los 28 días.

Frente a la problemática de falta de optimización entre la resistencia a la compresión y peso volumétrico del concreto, el desafío ingenieril radica en mejorar estas propiedades. Como alternativa técnica y moderada de solución se propone la adición de Gel de Sílice en porcentajes del 1.0%, 1.5% y 3.0% respecto al peso del cemento, buscando optimizar la resistencia a la compresión y la eficiencia del peso volumétrico del concreto.

## **1.2. Formulación del Problema**

¿En cuánto influye la incorporación de gel de sílice sobre la resistencia a la compresión y peso volumétrico de un concreto  $f'_c = 280 \text{ Kg/cm}^2$  en la región Cajamarca?

## **1.3. Hipótesis de la Investigación**

La incorporación de Gel de Sílice influye de manera positiva aumentando la resistencia a la compresión y reduciendo el peso volumétrico, en más del 5%, con respecto al concreto patrón diseñado con  $f'_c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ , en la región Cajamarca.

## **1.4. Justificación e Importancia de la Investigación**

Esta investigación se justifica porque aporta nuevos conocimientos técnicos respecto a la influencia de la incorporación de Gel de Sílice en diferentes porcentajes sobre la resistencia a la compresión y peso volumétrico de un concreto  $f'_c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ .

Además, se obtuvo un concreto con mayor resistencia a la compresión y menor peso volumétrico respecto al concreto convencional, lo cual hace posible que las cargas muertas y las fuerzas inerciales de la estructura se reduzcan, sin comprometer la resistencia de diseño y los parámetros requeridos según las normas.

Este estudio ofrece una propuesta de solución técnica e innovadora mediante la adición de Gel de Sílice, que puede ser aplicada en las construcciones, buscando mejorar la calidad, durabilidad y sostenibilidad de las futuras edificaciones en Cajamarca, sentando las bases técnicas y teóricas para el desarrollo de estructuras más seguras, eficientes y confiables para el bienestar y desarrollo resiliente de la comunidad cajamarquina.

## **1.5. Alcances o Delimitaciones de la Investigación**

- ✓ Esta investigación se realizó en la región Cajamarca, entre los meses de septiembre del 2025 a enero del 2026.
- ✓ El principal alcance es determinar la influencia del Gel de Sílice sobre la resistencia a la compresión y peso volumétrico de un concreto  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ .
- ✓ Se incorporó Gel de Sílice de color blanco triturado hasta un tamaño de 0.150 mm en porcentajes de 1.0%, 1.5% y 3.0% respecto al peso del cemento.
- ✓ Los ensayos se realizaron en el laboratorio GUERSAN INGENIEROS S.R.L, durante los meses de septiembre y diciembre del año 2025.
- ✓ Se utilizó agregados de la cantera “Margarita” - Chilete, cemento Portland Pacasmayo Tipo I.

## **1.6. Limitaciones de la Investigación**

- ✓ No se realizó estudios físicos ni químicos del Gel de Sílice.
- ✓ No se realizó análisis químico entre el Gel de Sílice y los agregados de la mezcla de concreto.

## **1.7. Objetivos**

### **1.7.1. *Objetivo General***

Determinar la influencia de la incorporación de Gel de Sílice sobre la resistencia a la compresión y peso volumétrico de un concreto  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$  en la región Cajamarca.

### **1.7.2. *Objetivos Específicos***

- ✓ Determinar la resistencia a la compresión y el peso volumétrico del concreto patrón ( $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ ) a los 7, 14 y 28 días.
- ✓ Determinar la resistencia a la compresión del concreto utilizando Gel de Sílice en 1.0%, 1.5% y 3.0% a los 7, 14 y 28 días.
- ✓ Determinar el peso volumétrico del concreto utilizando Gel de Sílice en 1.0%,

1.5% y 3.0% a los 7, 14 y 28 días.

- ✓ Comparar la resistencia a la compresión y el peso volumétrico del concreto patrón con el concreto con Gel de Sílice a los 28 días.

## **1.8. Descripción del Contenido**

### **Capítulo I: Introducción**

Se presenta una visión general de la investigación. Se aborda el planteamiento del problema, formulación del problema, hipótesis, justificación e importancia de la investigación, alcances o delimitaciones, limitaciones, objetivos de la investigación y descripción general del contenido de la investigación.

### **Capítulo II: Marco Teórico**

Se recopila los antecedentes teóricos internacionales, nacionales y locales en los últimos años, las bases teóricas que fundamenta y respalda a la investigación, la definición de términos básicos relacionados con las variables de esta investigación.

### **Capítulo III: Materiales Y Métodos**

Se describe la ubicación geográfica de la investigación, periodo, metodología, las variables, los procedimientos, las técnicas en instrumentos utilizados para la recolección de datos en laboratorio para determinar la resistencia a la compresión y peso volumétrico, las técnicas y herramientas para el procesamiento y análisis de los resultados y por último la presentación de resultados obtenidos de las variables en estudio.

### **Capítulo IV: Análisis Y Discusión De Resultados**

Se analiza y discute los resultados de los ensayos realizados en laboratorio de las propiedades de los agregados, de la resistencia a la compresión y peso volumétrico del concreto siguiendo la secuencia de objetivos planteados, así mismo se hace la contrastación de la hipótesis de la investigación.



## **Capítulo V: Conclusiones Y Recomendaciones**

En este capítulo se describe las conclusiones en base a los objetivos planteados y resultados obtenidos de la investigación, así mismo se detallan una serie de recomendaciones respecto a los aspectos más relevantes de la investigación.

### **Referencias bibliográficas**

### **Apéndice**

### **Anexos**

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la Investigación

#### 2.1.1. *Antecedentes a Nivel Internacional*

Mohammed et al. (2017) en su tesis de investigación titulada “El Efecto de la Adición de Partículas de Gel de Sílice en las Propiedades Mecánicas del Concreto”, evaluó el impacto de añadir partículas de gel de sílice (del 1% al 10%) en la resistencia a la compresión del concreto. Los ensayos demostraron que el gel de sílice mejora sustancialmente las propiedades mecánicas, haciendo que las muestras reforzadas soporten esfuerzos consistentemente más altos que el concreto patrón. la adición del 2% y 4% elevó la carga de rotura máxima en 18 MPa, y el 6% a 17.5 Mpa. Estos resultados sugieren que el gel de sílice optimiza el proceso de hidratación hasta una concentración del 8%, logrando un mayor endurecimiento y, en consecuencia, un concreto más resistente.

Al Ghabban et al. (2018) En su estudio titulado “Actividad puzolánica y durabilidad del hormigón con Nanosílice, Microsílice y Gel de Sílice”, estudiaron la influencia de la sustitución de cemento con nano sílice, micro sílice y gel de sílice en las propiedades de resistencia a la compresión y durabilidad del concreto. El gel de sílice se evaluó en dos formas: en perlas (*beads*) y como polvo triturado (*crushed powder*). La metodología incluyó una tasa de reemplazo del 10% para la actividad puzolánica, y la adición en dosis del 1%, 2%, 3% y 4% para el ensayo de absorción de agua, los ensayos se realizaron a los 28 días de curado en agua. Los resultados mostraron que las mezclas con nano sílice y gel de sílice triturado exhibieron los mejores resultados en durabilidad y resistencia. Este trabajo confirma, que el gel de sílice triturado aumenta la resistencia y la durabilidad del concreto.

Sourav et al. (2023) en su investigación titulada “Mejora de las propiedades mecánicas del hormigón M35 mediante metacaolín y gel de sílice” se enfocaron en crear un concreto superior, más seguro y duradero para nuestras construcciones, combinando metacaolín y un

0.3% de gel de sílice. Tras rigurosos ensayos, los investigadores descubrieron la fórmula óptima: sustituir el 10% del cemento por metacaolín, junto con la pequeña adición de gel de sílice. Esta mezcla ideal no solo superó los requisitos mínimos para un concreto tipo M35, sino que también alcanzó la mayor resistencia a la compresión y a la tracción de todas las pruebas.

### **2.1.2. Antecedentes a Nivel Nacional**

Davila (2024) en su estudio titulado: “Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ ”, en la ciudad de Chiclayo, Perú, desarrolló un estudio experimental en donde estudió la influencia del gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto diseñado para  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , probando proporciones de gel de sílice (0.1%, 0.5%, 1.0%) con relaciones agua/cemento de 0.555 y 0.60. Tras evaluar 112 probetas de concreto, el autor descubrió que la combinación óptima es la relación agua/cemento de 0.60 con una adición del 1.0% de gel de sílice, la cual incrementó notablemente la resistencia a la compresión hasta en un 9.21% a los 28 días, no obstante, se observó que la misma adición de gel de sílice con la relación agua/cemento de 0.555 resultó en una reducción de la resistencia, confirmando que la fórmula ideal para garantizar un concreto más resiliente y confiable requiere de ese equilibrio específico entre agua y gel de sílice.

Muñasqui (2023) en su tesis “Mejoramiento de la resistencia a la compresión del concreto  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ , con la adición de Sílice en diferentes edades y porcentajes Pasco – 2022”, a través de un diseño experimental mediante la adición de sílice en porcentajes de (5%, 10% y 15%), experimentó con 36 especímenes de concreto, evaluó la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de curado. Los resultados evidenciaron que la adición del 10% de sílice incrementó la resistencia a la compresión hasta alcanzar un valor de  $352.75 \text{ Kg/cm}^2$ , siendo este el porcentaje óptimo dentro de las mezclas analizadas.

Mallcco y Huallpa (2022) en su tesis "Influencia de la adición de las partículas de Nano Sílice en las propiedades físico-mecánicas del concreto de alto desempeño de resistencia a la

compresión de  $f'_c=280\text{Kg/cm}^2$ , en el distrito de Lircay - Angaraes – Huancavelica". A través de un diseño experimental ensayaron 25 probetas a los 28 días de curado, incorporando partículas de nano sílice en proporciones de 10%, 15%, 25% y 30% respecto al peso del agregado fino. Los resultados demostraron que la adición de nano sílice mejoró significativamente la resistencia a la compresión del concreto, alcanzando valores de 291  $\text{Kg/cm}^2$  con el 10%, 296  $\text{Kg/cm}^2$  con el 15%, 307  $\text{Kg/cm}^2$  con el 25% y 319  $\text{kg/cm}^2$  con el 30% de partículas de nanosílice, en comparación con el concreto patrón de 280  $\text{Kg/cm}^2$ .

## 2.2. Bases Teóricas

### 2.2.1. El concreto

Se define como un material heterogéneo anisotrópico que resulta de la combinación de cemento Portland, agregados (finos y gruesos), aire y agua, cuyo objetivo principal es alcanzar determinadas propiedades físicas y mecánicas en estado fresco y endurecido, siendo la resistencia a la compresión la más relevante; la reacción química entre el cemento y el agua permite la unión de las partículas de los agregados. Además, es común incorporar aditivos para mejorar o modificar propiedades específicas en estado fresco y endurecido del concreto (Abanto, 2017).

**Tabla 1**

*Porcentajes de los componentes del concreto.*

| Componente | Porcentaje    | Descripción       |
|------------|---------------|-------------------|
| Cemento    | 7.0% - 15.0%  | Elementos Activos |
| Agregados  | 60.0% - 75.0% |                   |
| Agua       | 15.0% - 22.0% |                   |
| Aditivo    | 0.1% - 0.2%   |                   |
| Aire       | 1.0% - 3.0%   | Elemento Pasivo   |

*Nota.* Datos tomados de (Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG), 2022).

## **2.2.2. Tipos de Concreto**

### **2.2.2.1. Por su Constitución Estructural**

#### **2.2.2.1.1. Concreto Simple.**

Está formado por cemento Portland, agregados y agua, donde los agregados deben quedar recubiertos y compactados por la pasta de cemento que une todos los componentes mediante reacciones químicas, formando una mezcla heterogénea (Abanto, 2017).

### **2.2.2.2. Por su Densidad o Peso Volumétrico**

#### **2.2.2.2.1. Concreto Normal**

Su peso unitario o peso volumétrico varía desde 2200 a 2400 Kg/m<sup>3</sup>, es el más utilizado en estructuras convencionales. Emplea agregados comunes como piedra chancada o grava y arena (NTP 339.047, 2021; NTP 339.047, 2021).

En esta investigación se elaboró el concreto con arena y piedra chancada ambos de origen fluvial (de río), por lo cual se evaluará un concreto de peso normal, cuyo peso volumétrico varía desde 2200 a 2400 Kg/m<sup>3</sup>.

## **2.2.3. Propiedades del Concreto**

### **2.2.3.1. Propiedades del concreto en estado fresco.**

#### **2.2.3.1.1. Trabajabilidad.**

Se define como la capacidad que tiene el concreto para ser manipulado, transportado, colocado y consolidado sin presentar segregación y exudación durante estas operaciones, esta propiedad es manipulado mediante aditivos químicos de acuerdo con las condiciones de trabajo en obra (Rivva, 2014).

#### **2.2.3.1.2. Consistencia.**

Está definido por la humedad de la mezcla de concreto lo cual influye en el grado de fluidez, la consistencia del concreto se mide mediante el ensayo de consistencia, revenimiento, asentamiento o “slump test” (Matallana, 2019).

**Tabla 2**

*Clasificación del concreto de acuerdo con su consistencia.*

| Consistencia | Slump   | Trabajabilidad  | Método De Compactación    |
|--------------|---------|-----------------|---------------------------|
| Seca         | 0" a 2" | Poco Trabajable | Vibración Normal          |
| Plástica     | 3" a 4" | Trabajable      | Vibración Ligera Chuseado |
| Fluida       | > 5"    | Muy Trabajable  | Chuseado                  |

*Nota.* Datos tomados de (Abanto, 2017).

#### **2.2.3.1.3. Segregación.**

Esta propiedad involucra la descomposición del concreto en sus partes componentes, se separan las partículas gruesas de las más finas, produciendo cangrejeras, capas arenosas y parvas de piedra que perjudican la resistencia y durabilidad del concreto (Abanto, 2017).

#### **2.2.3.1.4. Exudación.**

También es conocido como sangrado, ocurre cuando una porción del agua de la mezcla se separa de la masa y asciende a la superficie del concreto, este fenómeno de sedimentación es causado por el asentamiento de las partículas sólidas y afecta directamente en la resistencia a la compresión del concreto (Mataallana, 2019).

#### **2.2.3.1.5. Contracción.**

Es de dos tipos: la intrínseca (irreversible), causada por la reducción volumétrica del agua debido a las reacciones químicas internas; y la contracción por secado, que ocurre por la pérdida de humedad y es la principal responsable de la fisuración del concreto, afectando directamente en la permeabilidad del concreto (Neville, 2013).

### **2.2.3.2. Propiedades del concreto en estado endurecido.**

#### **2.2.3.2.1. Durabilidad.**

La durabilidad es la capacidad del concreto para soportar condiciones ambientales y ataques químicos. Su deterioro es crítico, ya que disminuye directamente la resistencia final del concreto y por ende daña las armaduras de acero de refuerzo (Rivva, 2014).

#### **2.2.3.2.2. Impermeabilidad.**

Es la capacidad del concreto para impedir el flujo de fluidos bajo presión, lograda mediante una pasta densa con baja relación agua-cemento y un curado prolongado; esta propiedad depende de la interrupción de la continuidad en los poros capilares, siendo el factor crítico para garantizar la durabilidad y protección del acero (Neville, 2013).

#### **2.2.3.2.3. Peso Volumétrico.**

Esta propiedad depende fundamentalmente del tipo de agregados que compone la mezcla de concreto, la cual influye directamente en otras propiedades como la resistencia y la durabilidad del concreto en estado endurecido (Kosmatka et al., 2016). Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$PV = \frac{M_c}{V_c}$$

PV: Peso volumétrico o peso unitario del concreto (Kg/m<sup>3</sup>)

Mc: Masa del concreto (Kg)

Vc: Volumen del concreto (m<sup>3</sup>)

#### **2.2.3.2.4. Resistencia a la Compresión.**

Es la capacidad máxima del concreto para soportar cargas axiales de aplastamiento sin fracturarse, propiedad que depende fundamentalmente de una baja relación agua-cemento y de la integridad de la zona de transición entre la pasta y el agregado (Neville, 2013).

### **2.2.4. Aspectos Técnicos sobre la Resistencia a la Compresión del Concreto**

#### **2.2.4.1. ¿Cómo se Produce la Resistencia del Concreto?**

Cuando el agua se combina con el cemento, los silicatos de calcio (C<sub>3</sub>S y C<sub>2</sub>S) se disuelven y se precipitan formando cristales microscópicos que se entrelazan como una red tridimensional, formándose el Gel de Silicato de Calcio Hidratado (C-S-H) (bueno, da resistencia); esta red conecta los agregados entre sí, cuanto más densa sea esta red, menor cantidad de poros y mayor será la resistencia (Neville, 2013).

## 2.2.4.2. Factores que intervienen en la Resistencia del Concreto.

### 2.2.4.2.1. Factores Internos.

- ✓ Relación agua – cemento
- ✓ Calidad de los Agregados
- ✓ Tipo de Cemento

### 2.2.4.2.2. Factores Externos.

- ✓ Curado
- ✓ Compactación (Aire atrapado)

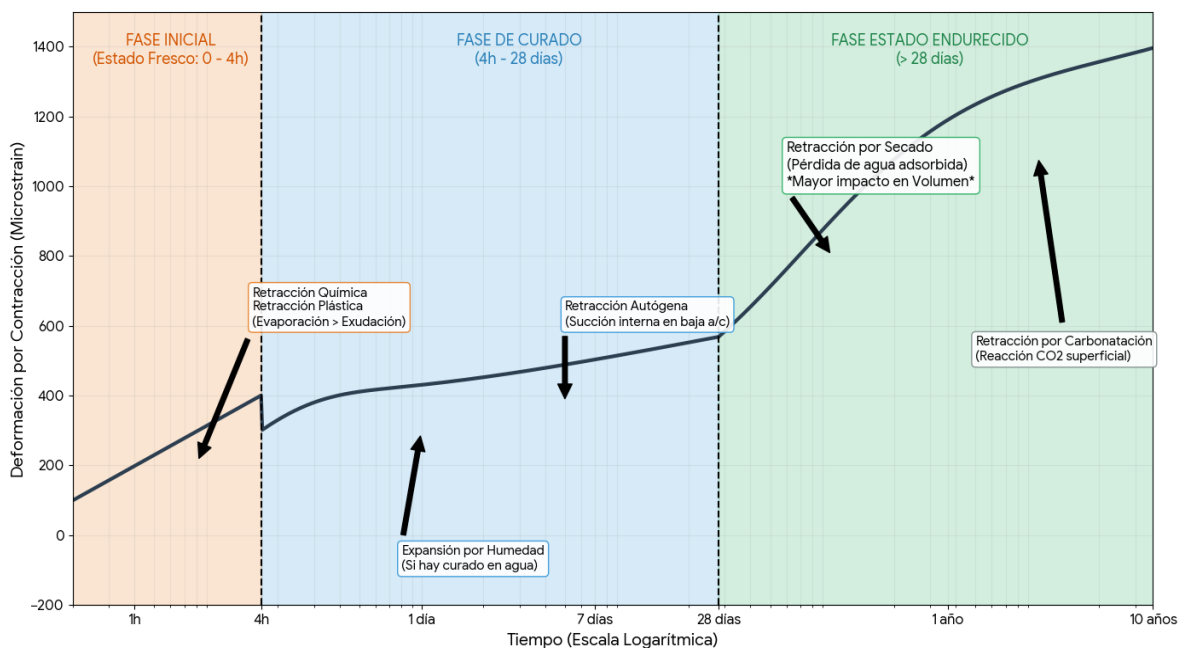
Los factores que afectan negativamente la resistencia del concreto son la segregación, Exudación (Sangrado) y el retraso en el Vaciado.

## 2.2.5. Fenómeno de Retracción o Contracción del Concreto

La variación del volumen en el concreto es un fenómeno crítico que comienza desde el momento en que el cemento toca el agua y continúa durante años. Según Neville (2013) este proceso se divide en tres fases:

### Figura 1

*Evolución de Los Fenómenos de Retracción del Concreto.*



Nota: Información adaptada de Neville (2013), Matallana (2019), Kosmatka et al. (2016).



## 2.2.6. Componentes del Concreto

### 2.2.6.1. Cemento Portland

#### 2.2.6.1.1. Definición.

Es un producto artificial y cumple la función de aglomerante hidráulico porque posee la propiedad de fraguar y endurecer en el aire y bajo el agua debido a las reacciones químicas del agua con los silicatos y aluminatos de calcio, esta propiedad aglomerante permite la unión entre agregados (Lezama, 2022).

#### 2.2.6.1.2. Cemento Hidráulico

Se denomina así al cemento que desarrolla sus propiedades físicas y químicas de adherencia y posesividad debido a las reacciones químicas que se producen solo en presencia de agua, y tiene la capacidad de formar materiales compactos, con gran resistencia y durabilidad (Matalana, 2019).

#### 2.2.6.1.3. Componentes Químicos del cemento portland.

El cemento Portland está formado por óxidos (análisis químico elemental) y por las fases minerales (compuestos formados en el horno o Clinker)

**Tabla 3**

*Componentes Químicos del Cemento Portland.*

| Comp.              | Nombre Químico                 | Símbolo Químico                                                                       | Abrev.                  | Nombre Mineral | % Aprox. En el Cemento |
|--------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------|------------------------|
| Clinker            | Silicato tricálcico.           | $3\text{CaO-SiO}_2$                                                                   | $\text{C}_3\text{S}$    | Alita          | 50% - 70%              |
|                    | Silicato dicálcico.            | $2\text{CaO-SiO}_2$                                                                   | $\text{C}_2\text{S}$    | Belita         | 15% -30%               |
|                    | Aluminato tricálcico.          | $3\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$                                                          | $\text{C}_3\text{A}$    | -----          | 5% -10%                |
|                    | Ferroaluminato tetracálcico.   | $4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$                                     | $\text{C}_4\text{AF}$   | Celita         | 5% -15%                |
| Sulfatos de Calcio | Sulfato de calcio anhidro.     | $\text{CaSO}_4 = \text{CaO-SO}_3$                                                     | $\text{CS}_1$           | Anhidrita      | ----                   |
|                    | Sulfato de calcio dihidratado. | $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \text{CaO-SO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | $\text{CS}_1\text{H}_2$ | Yeso           | 3.5% -5%               |

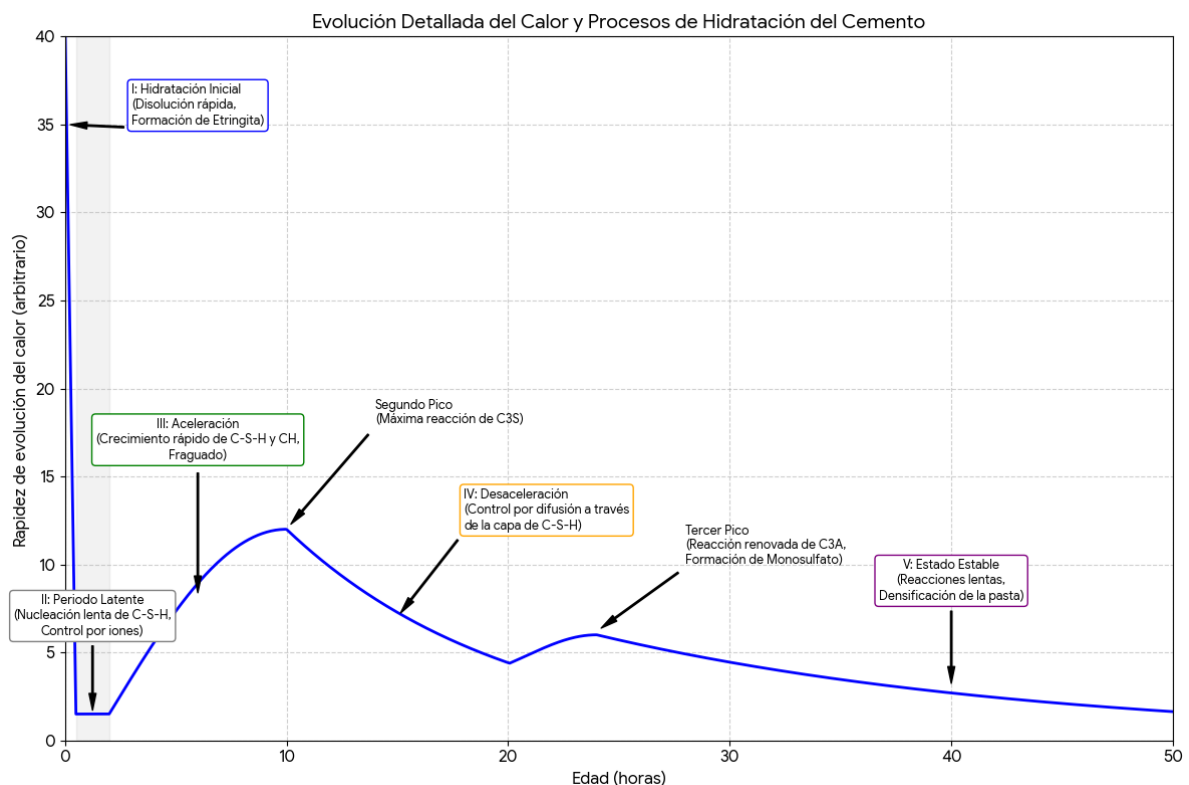
*Nota.* Datos Tomados de Perez (2023)

#### 2.2.6.1.4. Mecanismo de hidratación y endurecimiento del Concreto.

La hidratación es la reacción química exotérmica entre el agua y el cemento que forma hidróxidos e hidratos de calcio, este proceso químico transforma la mezcla de concreto de un estado plástico a un estado endurecido liberando calor al cual se le denomina calor de hidratación (Neville, 2013).

**Figura 2**

*Evolución Detallada del Calor y Proceso de Hidratación del Cemento*



*Nota:* Adaptado de Neville (2013).

**Periodo I (Hidratación Inicial)** Ocurre al contacto inmediato con el agua, este pico es muy alto, pero de muy corta duración. Se caracteriza por una hidratación principalmente del aluminato tricálcico, (C3A) y una rápida liberación de hidróxido de calcio (Neville, 2013).

**Periodo II (Periodo Latente o de Inducción)** La rapidez de reacción cae drásticamente, dura entre 1 y 2 horas, durante este tiempo, el concreto es trabajable y puede ser transportado y colocado (Neville, 2013).

**Periodo III (Aceleración)** Comienza el endurecimiento y ocurre el fraguado, se alcanza un segundo pico (generalmente a las 10 horas) debido principalmente a la hidratación de los silicatos (C3S) (Neville, 2013).

**Periodo IV (Desaceleración)** La rapidez de hidratación disminuye durante un tiempo prolongado. En esta etapa, el factor de control es la difusión de los productos de hidratación a través de los poros (Neville, 2013).

**Periodo V (Tercer Pico)** En muchos cementos, aparece un pico menor entre las 18 y 30 horas, este aumento se asocia con una reacción renovada del C3A tras el consumo total del yeso en la mezcla (Neville, 2013).

#### 2.2.6.1.5. Tipos de Cemento Portland.

**Tabla 4**

*Tipos de cementos según las normas ASTM y NTP.*

| ASTM C – 150<br>NTP 334.009 | ASTM C – 595<br>NTP 334.090      | ASTM C – 1157<br>NTP 334.082 |
|-----------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| Clinker + yeso              | Clinker + yeso + adición mineral | Para usos especiales         |
| Tipo I                      | Tipo P                           | Tipo GU                      |
| Tipo II                     | Tipo IP                          | Tipo HE                      |
| Tipo III                    | Tipo IPM                         | Tipo MS                      |
| Tipo IV                     | Tipo S                           | Tipo HS                      |
| Tipo V                      | Tipo IS                          | Tipo MH                      |
|                             | Tipo ISM                         | Tipo LH                      |
|                             | Tipo ICO                         |                              |

*Nota.* Datos tomados de NTP 334.009 (2020), NTP 334.090 (2020), NTP 334.082 (2020)

#### 2.2.6.2. Agua.

Es un componente fundamental en la fabricación del concreto ya que es el responsable de que se lleve a cabo las reacciones químicas y la hidratación en el cemento, por ende, influye en las principales propiedades del concreto en estado fresco y endurecido.

**Tabla 5**

*Calidad del agua para la mezcla y curado del concreto.*

| <b>Límites permisibles para agua de mezcla y de curado</b> |                          |
|------------------------------------------------------------|--------------------------|
| <b>Descripción</b>                                         | <b>Límite permisible</b> |
| Sólidos en suspensión                                      | 5000 ppm máximo          |
| Materia orgánica                                           | 3 ppm máximo             |
| Alcalinidad (NaHCO <sub>3</sub> )                          | 1000 ppm máximo          |
| Sulfatos (ion SO <sub>4</sub> )                            | 600 ppm máximo           |
| Cloruros (ion Cl)                                          | 1000 ppm máximo          |
| PH                                                         | 5 a 8                    |

*Nota.* Datos tomados de NTP 339.088 (2021)

### **2.2.6.3. Agregados.**

#### **2.2.6.3.1. Definición.**

Son partículas inorgánicas de origen natural o artificial, constituyen la fase discontinua del concreto, representando el 75% de la una unidad cúbica del concreto (Perez, 2023).

#### **2.2.6.3.2. Clasificación de los agregados.**

**Tabla 6**

*Clasificación de los agregados para el concreto.*

| <b>Clasificación</b>      | <b>Tipos de Agregados</b> |                      |
|---------------------------|---------------------------|----------------------|
| Por su origen             | Naturales                 |                      |
|                           | Artificiales              |                      |
| Por su tamaño o gradación | Fino                      | Pasa el tamiz 3/8"   |
|                           | Grueso                    | Se retiene tamiz N°4 |
|                           | Hormigón                  | A fino + A grueso    |
| Por su densidad           | Normales                  | Ge = 2.5 a 2.75      |
|                           | Ligeros                   | Ge < 2.5             |
|                           | Pesados                   | Ge > 2.75            |

*Nota.* Datos tomados de la Norma NTP 339.088 (2021)

### **Agregado Fino**

Según la NTP 400.011 (2020) es el agregado que pasa el tamiz normalizado 9.5 mm (3/8") y queda retenido en el tamiz normalizado de 75 µm (N.º 200) y que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037 de granulometría.

### **Agregado grueso**

Según la NTP 400.011 (2020) menciona que es el que se retiene el en tamiz normalizado 4.75 mm (N.º 4) que cumple los límites establecidos en la NTP 400.037.

#### **2.2.6.4. Contenido de Aire del Concreto Freso.**

Se describe como el volumen ocupado por burbujas de aire distribuidas en la pasta de cemento, influye directamente en la trabajabilidad, resistencia y durabilidad del concreto (Matallana, 2019).

#### **2.2.7. Propiedades de los agregados del Concreto**

##### **2.2.7.1. Granulometría.**

##### **2.2.7.1.1. Granulometría del agregado fino.**

**Tabla 7**

*Límites granulométricos del agregado fino.*

| <b>Abertura del Tamiz<br/>(NTP 334.170/ASTM E11)</b> |       | <b>Porcentaje que Pasa<br/>(%)</b> |     |
|------------------------------------------------------|-------|------------------------------------|-----|
| 9.5mm                                                | 3/8"  | 100                                | 100 |
| 4.75mm                                               | Nº4   | 95                                 | 100 |
| 2.36mm                                               | Nº8   | 80                                 | 100 |
| 1.18mm                                               | Nº16  | 50                                 | 85  |
| 600 µm                                               | Nº30  | 25                                 | 60  |
| 300 µm                                               | Nº50  | 05                                 | 30  |
| 150 µm                                               | Nº100 | 0                                  | 10  |
| 75 µm                                                | Nº200 | 0                                  | 0   |

*Nota.* Datos obtenidos de la NTP 400.037 (2021)

### 2.2.7.1.2. Granulometría del agregado grueso.

**Tabla 8**

*Límites granulométricos para el agregado grueso.*

| TMN          | PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS |          |     |          |          |          |          |          |          |          |          |         |        |       |
|--------------|--------------------------------------------------|----------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|--------|-------|
|              | 4"                                               | 3 ½ "    | 3"  | 2 ½ "    | 2"       | 1 ½ "    | 1"       | ¾ "      | ½ "      | 3/8"     | Nº4      | Nº8     | Nº16   | Nº50  |
| 3 ½ "a 1 ½ " | 100                                              | 90 a 100 | ... | 25 a 60  | ...      | 0 a 15   | ...      | 0 a 5    | ...      | ...      | ...      |         |        |       |
| 2 ½ "a 1 ½ " | ...                                              | ...      | 100 | 90 a 100 | 35 a 70  | 0 a 15   | ...      | 0 a 5    | ...      | ...      | ...      |         |        |       |
| 2" a 1"      | ...                                              | ...      | ... | 100      | ...      | 35 a 70  | 0 a 15   | ...      | 0 a 5    | ...      | ...      |         |        |       |
| 1" a Nº4     | ...                                              | ...      | ... | 100      | 90 a 100 | ...      | 35 a 70  | ...      | 10 a 30  | ...      | 0 a 5    |         |        |       |
| 1 ½ "a ¾ "   | ...                                              | ...      | ... | ...      | ...      | 90 a 100 | 20 a 55  | 0 a 5    | ...      | 0 a 5    | ...      |         |        |       |
| 1 ½ "a Nº 4  | ...                                              | ...      | ... | ...      | ...      | 95 a 100 | ...      | 35 a 70  | ...      | 10 a 30  | 0 a 5    |         |        |       |
| 1" a ½ "     | ...                                              | ...      | ... | ...      | ...      | 100      | 90 a 100 | 20 a 55  | 0 a 10   | 0 a 5    | ...      |         |        |       |
| 1" a 3/8"    | ...                                              | ...      | ... | ...      | ...      | 100      | 90 a 100 | 40 a 85  | 10 a 40  | 10 a 15  | 0 a 5    |         |        |       |
| 1" a Nº 4    | ...                                              | ...      | ... | ...      | ...      | 100      | 95 a 100 | ...      | 25 a 60  | ...      | 0 a 10   | 0 a 5   |        |       |
| ¾ "a 3/8"    | ...                                              | ...      | ... | ...      | ...      | ...      | 100      | 90 a 100 | 20 a 55  | 0 a 15   | 0 a 5    | ...     |        |       |
| ¾ "a Nº 4    | ...                                              | ...      | ... | ...      | ...      | ...      | 100      | 90 a 100 | ...      | 20 a 55  | 0 a 10   | 0 a 5   |        |       |
| 1/2" a Nº 4  | ...                                              | ...      | ... | ...      | ...      | ...      | ...      | 100      | 90 a 100 | 40 a 70  | 0 a 15   | 0 a 5   |        |       |
| 3/8" a Nº 8  | ...                                              | ...      | ... | ...      | ...      | ...      | ...      | ...      | 100      | 85 a 100 | 10 a 30  | 0 a 10  | 0 a 5  | ...   |
| 3/8" a Nº 16 | ...                                              | ...      | ... | ...      | ...      | ...      | ...      | ...      | 100      | 90 a 100 | 20 a 55  | 5 a 30  | 0 a 10 | 0 a 5 |
| Nº 4 a Nº 16 | ...                                              | ...      | ... | ...      | ...      | ...      | ...      | ...      | ...      | 100      | 85 a 100 | 10 a 40 | 0 a 10 | 0 a 5 |

Nota. Datos obtenidos de la NTP 400.037 (2021, P.19)

### 2.2.7.1.3. Propiedades que se Obtiene de la Granulometría de los Agregados.

#### a) Módulo de Finura de los agregados (MF).

El módulo de fineza es un índice empírico que representa el tamaño promedio de las partículas de un agregado, se calcula a partir del análisis granulométrico como la suma de los porcentajes acumulados (NTP 339.047, 2021).

#### b) Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso (TMN).

El TMN corresponde a la abertura del menor tamiz de la serie estándar utilizada que produce el primer retenido entre 5% y 15% del agregado grueso (NTP 400.037, 2021).

#### c) Módulo de Finura de la combinación de Agregados ( $m_c$ ).

Abanto (2017) argumenta que el módulo de fineza de la combinación de agregados es un índice numérico que representa la granulometría global de los agregados fino y grueso, se determina mediante la siguiente ecuación, donde:

$$m_c = r_f x m_f + r_g x m_g, r_f = \frac{\text{Vol. absoluto del A. fino}}{\text{Vol. de los agregados}}, r_g = \frac{\text{Vol. absoluto del A. grueso}}{\text{Vol. de los agregados}}$$

$m_f, m_g$ : Módulo de finura del agregado fino y grueso respectivamente.

$r_f, r_g$ : Porcentaje de incidencia del agregado fino y grueso en concreto respectivamente.

#### d) Porcentaje de Material Fino.

Según la NTP 400.037 (2021) mide el porcentaje de partículas finas que pasan por el tamiz 75 $\mu$ m (N.º 200), estas partículas afectan la trabajabilidad y durabilidad del concreto.

#### 2.2.7.2. Humedad Superficial de los agregados.

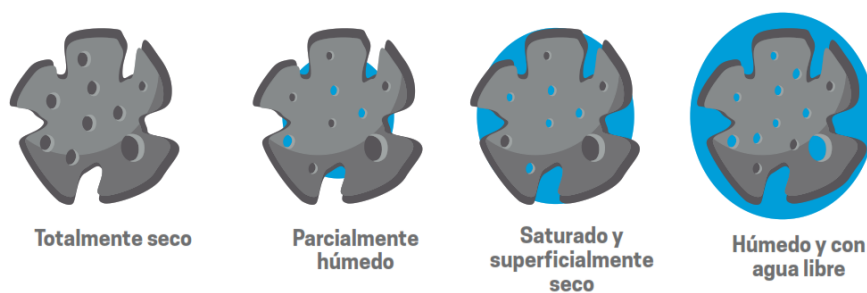
##### 2.2.7.2.1. Condiciones de Agregado en Obra.

Según Abanto (2017) Los agregados en la obra o en campo pueden presentarse en 4 condiciones con respecto a la humedad.

- ✓ **Totalmente seco.** Esta condición se presenta solo secado en laboratorio.
- ✓ **Semiseco.** Seco al aire, algo de humedad, pero sin saturarse.
- ✓ **Saturado y superficialmente seco.** En esta condición los agregados no aportan ni quitan agua a la mezcla.
- ✓ **Húmedo.** Contienen en sus partículas más agua que la que causó la saturación, esta es la condición en la que los materiales se encuentran en obra.

#### Figura 3

*Condiciones de humedad de los agregados.*



Nota. Datos tomados de Matallana (2019).

##### 2.2.7.2.2. Contenido de Humedad.

El contenido de humedad de los agregados se define como la cantidad de agua que almacenan las partículas de agregados en sus poros libres y en su superficie específica (NTP 339.185, 2021)

#### **2.2.7.2.3. Absorción.**

La absorción es el agua que el agregado necesita para pasar de la condición de seco a saturado superficialmente seco (NTP 400.021, 2020; NTP 400.022, 2024)

#### **2.2.7.2.4. Humedad Superficial**

(Abanto, 2017) establece que la humedad superficial se determina como la diferencia entre el porcentaje de contenido de humedad y la absorción.

$$\text{Humedad Superficial} = HS(\%) = \omega(\%) - a(\%)$$

#### **2.2.7.3. Peso específico de los agregados.**

##### **a) Peso Específico de Masa (Pe)**

Es la relación entre el peso del agregado completamente seco (sin considerar el agua en sus poros ni superficie) y el peso del agua que ocuparía el mismo volumen que el sólido, excluyendo el agua absorbida.

##### **b) Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco (Pesss)**

Es la relación entre el peso del agregado con sus poros completamente llenos de agua, pero con la superficie seca (sin agua adherida), y el peso del agua que ocuparía el mismo volumen total del agregado (sólido + poros llenos). Se usa en el diseño de mezclas de concreto, porque refleja el estado en que los agregados aportan o absorben agua en la mezcla.

##### **c) Peso Específico Aparente (Pea)**

Es la relación entre el peso seco del agregado y el volumen sólido del agregado (excluye poros permeables) como si el agregado fuera totalmente compactado sin poros o hueco. Es, por tanto, mayor que los otros dos.

#### **2.2.7.4. Peso unitario de los agregados.**

Es la relación que existe entre el peso de las partículas sólidas y el volumen total incluyendo los vacíos (Matallana, 2019). Los lineamientos de ensayo para calcular el peso unitario suelto y varillado o compactado son establecidos por la NTP 400.017: 2020.



### 2.2.7.5. Contenido de vacíos en los agregados.

Mide el volumen expresado en porcentaje de los espacios entre las partículas de agregados (Matallana, 2019). El procedimiento de ensayo se realiza con la NTP 400.017:2020.

### 2.2.8. Diseño de Mezclas para el concreto.

#### 2.2.8.1. Definición.

El diseño de mezclas es un proceso que busca la combinación más económica y adecuada de materiales para una unidad cúbica de concreto. Su objetivo principal es asegurar que, en estado fresco, el material tenga la trabajabilidad correcta para la colocación y, en estado endurecido, cumpla con la resistencia y especificaciones de diseño (Rivva, 2014).

### 2.2.9. Estimación de la Resistencia a la Compresión según ACI – 209. 2R

La norma ACI 209.2R (2008) establece una ecuación para estimar la resistencia a la compresión del concreto con la edad, la cual nos permite realizar una mejor evaluación.

$$f'c(t) = f'c(28) \times \left[ \frac{t}{a + bt} \right]$$

$f'c(t)$ : Resistencia a la compresión a los “t” días de curado (Kg/cm<sup>2</sup>).

$f'c(28)$ : Resistencia de diseño a los 28 días de curado (Kg/cm<sup>2</sup>).

t: Tiempo de curado en días.

a y b: Factores que dependen del tipo de cemento y curado (se obtienen de la Tabla 23)

**Tabla 9**

*Valores de “a” y “b” para estimar la Resistencia a la compresión  $f'c(t)$*

| Tipo de Cemento | Concreto         |      | Concreto        |      |
|-----------------|------------------|------|-----------------|------|
|                 | Curado en Húmedo |      | Curado al Vapor |      |
|                 | a                | b    | a               | b    |
| I               | 4.0              | 0.85 | 1.0             | 0.95 |
| III             | 2.3              | 0.92 | 0.70            | 0.98 |

Nota. “a” y “b” dependen del tipo de cemento y curado. Obtenido de ACI 209.2R (2008)

La norma ACI 209.2R (2008) también establece una tabla donde muestra los valores

mínimos e ideales para la resistencia a la compresión del concreto respecto a la edad de ensayo. Luego de realizar los ensayos de resistencia a la compresión del concreto de prueba a los 7 días, esta tabla nos permite determinar el porcentaje de resistencia proyectada a los 28 días.

**Tabla 10**

*Porcentaje Típico de Resistencia a la compresión en función de  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ .*

| Edad de Curado | % Resistencia ( $f'c$ ) |       | $f'c$ (Kg/cm <sup>2</sup> ) obtenido |       |
|----------------|-------------------------|-------|--------------------------------------|-------|
|                | Mínimo                  | Ideal | Mínimo                               | Ideal |
| 7 días         | 55%                     | 70%   | 154                                  | 196   |
| 14 días        | 70%                     | 85%   | 196                                  | 238   |
| 21 días        | 80%                     | 95%   | 224                                  | 266   |
| 28 días        | 100%                    | 115%  | 280                                  | 322   |

*Nota.* Valores para Cemento Tipo I, III y curado en húmedo. Obtenido de (ACI 209.2R, 2008).

## 2.2.10. Gel de sílice

### 2.2.10.1. Definición

El gel de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) derivado del dióxido de silicio, fue patentado en 1919, presenta una red interna de poros microscópicos interconectados, dotándole de una gran superficie interna, su estructura porosa y su elevada área superficial proporcionan una capacidad excepcional para absorber y retener la humedad del ambiente (Weintraub, 2002).

Christy (2012) menciona que el gel de sílice amorfo se produce mediante la polimerización por condensación del ácido silícico; durante la polimerización, los grupos  $\text{SiO}$  se entrelazan y conducen a la formación de partículas coloidales y a la creación del gel de sílice.

### 2.2.10.2. Propiedades del gel de sílice.

**Capacidad de Adsorción.** El gel de sílice es capaz de adsorber hasta el 40% de su peso en humedad, lo que lo convierte en una opción eficaz para poder hidratar al cemento y contrarrestar el calor de hidratación del concreto por las reacciones químicas exotérmicas que se produce (ydrygroup, 2024).

**Superficie específica.** Posee una gran superficie específica, que puede ser de hasta 800 m<sup>2</sup>/g, lo que explica su gran capacidad de adsorción.

**Tamaño de Poros.** La configuración porosa del gel de sílice permite que los sitios de adsorción se repartan homogéneamente, lo que maximiza su eficiencia en la retención de la humedad (ydrygroup, 2024).

**Regeneración.** Una ventaja del gel de sílice es que se puede reutilizar. Aplicándole un proceso de secado a temperaturas moderadas, el material se regenera, lo que alarga su durabilidad y, al mismo tiempo, abarata los costos de mantenimiento (ydrygroup, 2024).

### 2.2.10.3. Gel de Sílice Blanco

Es un compuesto químicamente inerte, no tóxico, no corrosivo y no deliquescente; solo reacciona con el ácido fluorhídrico y el álcali. Es el producto de mayor capacidad de absorción que se conoce en la actualidad, debido a su gran área superficial y a la enorme cantidad de poros puede llegar a absorber hasta el 40% de su peso en agua (ansal, 2024).

#### Figura 4

*Gel de Sílice blanco*



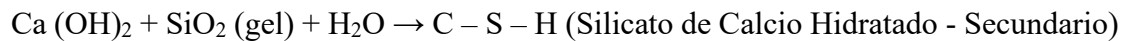
Nota. Datos obtenidos de la Ficha Técnica ansal (2024).

### 2.2.11. Influencia de Gel de Sílice en la Resistencia a la compresión.

Cuando el cemento se hidrata produce dos cosas: Gel de Silicato de Calcio Hidratado (C-S-H) (bueno y da resistencia) e Hidróxido de Calcio (Ca (OH)<sub>2</sub>) (malo, es débil y soluble).

El Gel de Sílice también conocido como Dióxido de Silicio ( $\text{SiO}_2$ ) reacciona con el subproducto débil Hidróxido de Calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$  o Portlandita) y lo convierte en gel de Silicato de Calcio Hidratado (C-S-H) secundario, lo cual, densifica la red, reduce la porosidad y aumenta la resistencia del concreto (Matallana, 2019; Neville, 2013; Kosmatka et al., 2016).

Ecuación Simplificada:



### **2.3. Definición de términos básicos**

#### **Peso volumétrico del Concreto.**

Es la masa del concreto dividida por su volumen aparente, incluyendo poros permeables e impermeables (NTP 339.187, 2018).

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

Se define como el máximo esfuerzo o carga máxima que puede soportar el concreto antes de fallar por compresión, agrietamiento o rotura (NTP 339.034, 2021).

#### **Gel de sílice.**

Es un compuesto de dióxido de silicio amorfo, inerte y no tóxico, posee una estructura porosa microscópica que crea una enorme área superficial (700-800  $\text{m}^2/\text{g}$ ), absorbe y libera agua hasta alcanzar un equilibrio con el medio que lo rodea (Weintraub, 2002).

## CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

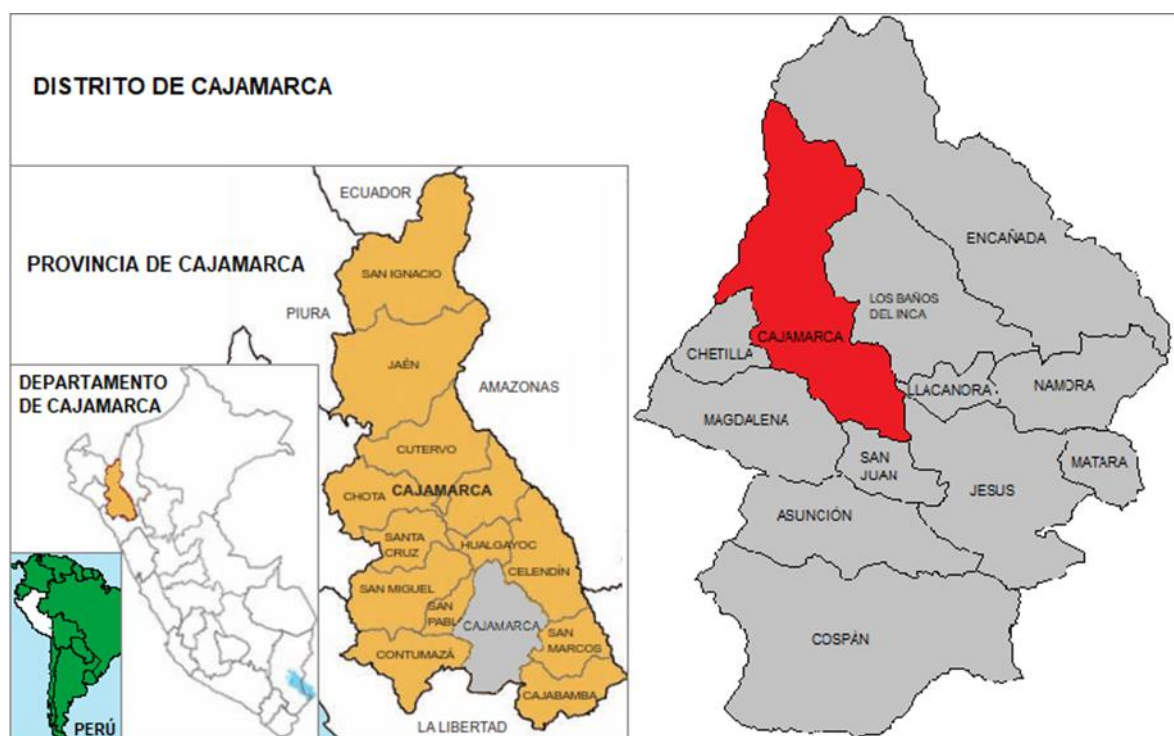
### 3.1. Ubicación de la investigación

#### 3.1.1. Ubicación Geográfica de la Investigación

El estudio se realizó en la ciudad de Cajamarca, capital del distrito, provincia y departamento de Cajamarca, situado al norte del Perú. La zona de estudio está en un valle interandino a una altitud media de 2,750 m.s.n.m, presenta un clima templado y seco, con variaciones térmicas durante el día y un descenso de la temperatura durante la noche

**Figura 5**

*Mapa Geográfico de la Investigación*



*Nota.* Adaptado del Mapa Político del Perú

#### 3.1.2. Ubicación geográfica del Laboratorio

Los ensayos de laboratorio (propiedades físicas de los agregados, elaboración de los especímenes y ensayo de resistencia mecánica a la compresión del concreto), se realizó en el laboratorio GUERSAN INGENIEROS S.R.L.

**Tabla 11**

*Datos Generales de la Ubicación Geográfica de la Investigación.*

|                        |                                     |
|------------------------|-------------------------------------|
| Nombre del Laboratorio | : GUERSAN INGENIEROS S.R.L.         |
| Región                 | : Cajamarca                         |
| Provincia              | : Cajamarca                         |
| Distrito               | : Cajamarca                         |
| Dirección              | : Pasaje Diego Ferré N °295         |
| Coordenadas UTM        | : 775842.00 m E<br>: 9206969.00 m N |

*Nota.* Descripción Geográfica del Laboratorio.

**Figura 6**

*Ubicación geográfica de la Investigación.*



*Nota.* Adaptado del Mapa Urbano de Cajamarca

### **3.1.3. Ubicación geográfica del origen de los agregados**

Se utilizaron agregados naturales (fino y grueso) de origen fluvial, los cuales se obtuvieron de la cantera “Margarita”. Los datos de la ubicación geográfica de la cantera se muestran a continuación.



**Tabla 12**

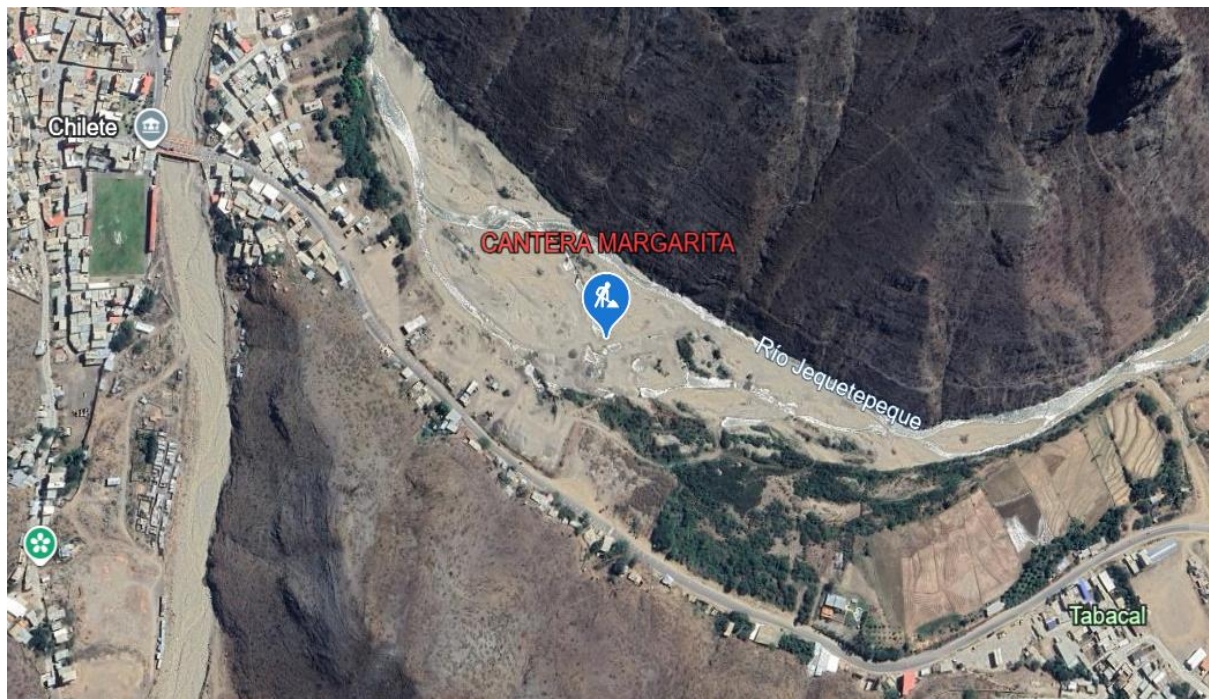
*Datos de la Ubicación Geográfica de la Cantera*

|                      |                                     |
|----------------------|-------------------------------------|
| Nombre de la Cantera | : Margarita                         |
| Región               | : Cajamarca                         |
| Provincia            | : Contumazá                         |
| Distrito             | : Chilete                           |
| Río                  | : Jequetepeque                      |
| Coordenadas UTM      | : 739069.65 m E<br>: 9200785.82 m N |

*Nota.* Los agregados son de origen Fluvial.

**Figura 7**

*Ubicación Geográfica de la Cantera Margarita - Chilete*



*Nota.* Imagen obtenida de Google Earth.

### **3.2. Periodo de la Investigación**

Los ensayos de la investigación se realizaron durante los meses de agosto del 2025 y enero del año 2026, en esta temporada se presenta ligeras precipitaciones en la zona de investigación.

### **3.3. Metodología de la Investigación.**

#### **3.3.1. Tipo, Nivel, Método y Diseño de Investigación.**

**3.3.1.1. Tipo.** Aplicada, ya que se enfoca en resolver el problema específico relacionado con la resistencia a la compresión y peso volumétrico del concreto.

**3.3.1.2. Nivel.** Correlacional, relaciona la variable independiente “porcentaje de gel de sílice” con las variables dependientes “resistencia a la compresión” y “peso volumétrico”.

**3.3.1.3. Método.** Hipotético deductivo, ya que se parte de una hipótesis para posteriormente verificar su cumplimiento a través de la fase experimental y el análisis de resultados.

**3.3.1.4. Enfoque.** Cuantitativo, debido a que las variables en estudio se miden a través de datos numéricos obtenidos de la experimentación.

**3.3.1.5. Diseño.** Experimental, ya que se manipula la variable independiente (porcentaje de Gel de Sílice) para evaluar su influencia en las variables dependientes (resistencia a la compresión y peso volumétrico), mediante ensayos experimentales de laboratorio en un concreto diseñado con una resistencia  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ .

#### **3.3.2. Variables de la Investigación**

##### **3.3.2.1. Variable independiente**

- ✓ Porcentaje de Gel de Sílice.

##### **3.3.2.2. Variables dependientes**

- ✓ Resistencia a la compresión.
- ✓ Peso Volumétrico.

#### **3.3.3. Población de Estudio**

Está conformada por todos los especímenes cilíndricos (150 mm x 300 mm) de concreto, diseñadas para alcanzar una resistencia a la compresión de  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ .

#### **3.3.4. Muestra**

Para este estudio la población es desconocida y al tratarse de una investigación



científica, se determinó mediante un muestreo probabilístico aleatorio para variables cuantitativas, el cual se calcula mediante la siguiente ecuación (Quezada, 2018).

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2}$$

n = Tamaño de la muestra

$Z_{\alpha}$  = Valor estadístico crítico dependiente del nivel de confianza

$\alpha$  = Nivel de confianza de la experimentación

p = Probabilidad de que ocurra el evento estudiado de la población

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

e = Error de estimación máximo aceptado

Los valores que propone el investigador son:

NC ( $1 - \alpha$ ) = 90%  $\rightarrow \alpha = 10\% \rightarrow \alpha / 2 = 0.05$

$Z_{\alpha} = 1.645$  (Ver Tabla del Anexo N°4)

p = 50 %

q = 50 %

e = 9.7 %

Reemplazando en la ecuación:

$$n = \frac{1.645^2 * 0.50 * (1 - 0.50)}{0.097^2}$$

$$n = 71.899 \approx 72 \text{ muestras}$$

En la investigación se plantean 4 diseños para el concreto (patrón y con adición de gel de sílice) y los especímenes se ensayaron en 3 edades a los 7, 14 y 28 días; por lo tanto, la cantidad de especímenes a ensayar por cada tipo de diseño y por cada edad de curado son:

$$\frac{72}{4 \times 3} = 6 \text{ especímenes por cada edad de ensayo}$$

**Tabla 13**

*Distribución del Número de Muestras a Ensayar.*

| Tipo de<br>Especímen                       | Tipo de<br>Concreto | Edad de Curado |         |         | Subtotal |
|--------------------------------------------|---------------------|----------------|---------|---------|----------|
|                                            |                     | 7 días         | 14 días | 28 días |          |
| I                                          | Patrón              | 6              | 6       | 6       | 18       |
| II                                         | Gel de Sílice       | 6              | 6       | 6       | 18       |
| III                                        |                     | 6              | 6       | 6       | 18       |
| IV                                         |                     | 6              | 6       | 6       | 18       |
| Total, de Especímenes a realizar (muestra) |                     |                |         |         | 72       |

*Nota.* La tabla muestra la distribución de especímenes para ensayos a compresión.

### **3.3.5. Unidad de Análisis.**

La unidad de análisis es la resistencia a la compresión y peso volumétrico del concreto patrón y del concreto con Gel de Sílice.

### **3.3.6. Unidad de Observación**

La unidad de observación son los especímenes cilíndricos de 150 x 300 mm de concreto que conforman la muestra, elaborados con una resistencia de diseño  $f'_c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ .

## **3.4. Procedimiento de la Investigación**

La investigación se llevó a cabo siguiendo un riguroso proceso experimental diseñado para garantizar la validez de los resultados.

Este proceso se dividió en tres etapas esenciales: caracterización de materiales, diseño de mezclas y ejecución experimental las cuales se describen a continuación.

### **Caracterización y Preparación de Materiales**

Se determinó las propiedades físicas de los agregados (fino y grueso). Los ensayos se realizaron en el laboratorio GUERSAN INGENIEROS S.R.L., incluyeron peso específico, peso unitario suelto y compactado, contenido de humedad, absorción y granulometría. Estos datos fueron fundamentales para elaborar el diseño de mezclas y determinar la dosificación de los materiales.

Simultáneamente, se preparó el aditivo principal: Gel de Sílice. Para potenciar su reactividad puzolánica y asegurar una óptima adherencia con la pasta de cemento, el Gel de Sílice fue triturado (molido) desde su tamaño original (2.0 a 3.0 mm) hasta obtener un polvo fino que pasa completamente el tamiz N.º 100 (0.150 mm), maximizando así su superficie específica.

### **Diseño del Concreto Patrón y con adición del gel de sílice**

El diseño de mezclas se realizó mediante el método del módulo de finura de la combinación de agregados, se estableció una resistencia de diseño  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  para el concreto de prueba.

Se elaboró y ensayó 6 probetas cilíndricas de 15 x 30 mm a los 7 días de curado en agua. Los resultados de la resistencia a la compresión se utilizaron para corregir la relación agua-cemento (a/c) del diseño, aplicando la Ley de Powers, garantizando que el Concreto Patrón cumpliera estrictamente con la resistencia de diseño  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  requerido. Posteriormente, se determinó las dosificaciones para el concreto con adición de Gel de Sílice. Se seleccionaron los porcentajes de 1.0 %, 1.5 %, y 3.0 % del peso del cemento del Concreto Patrón.

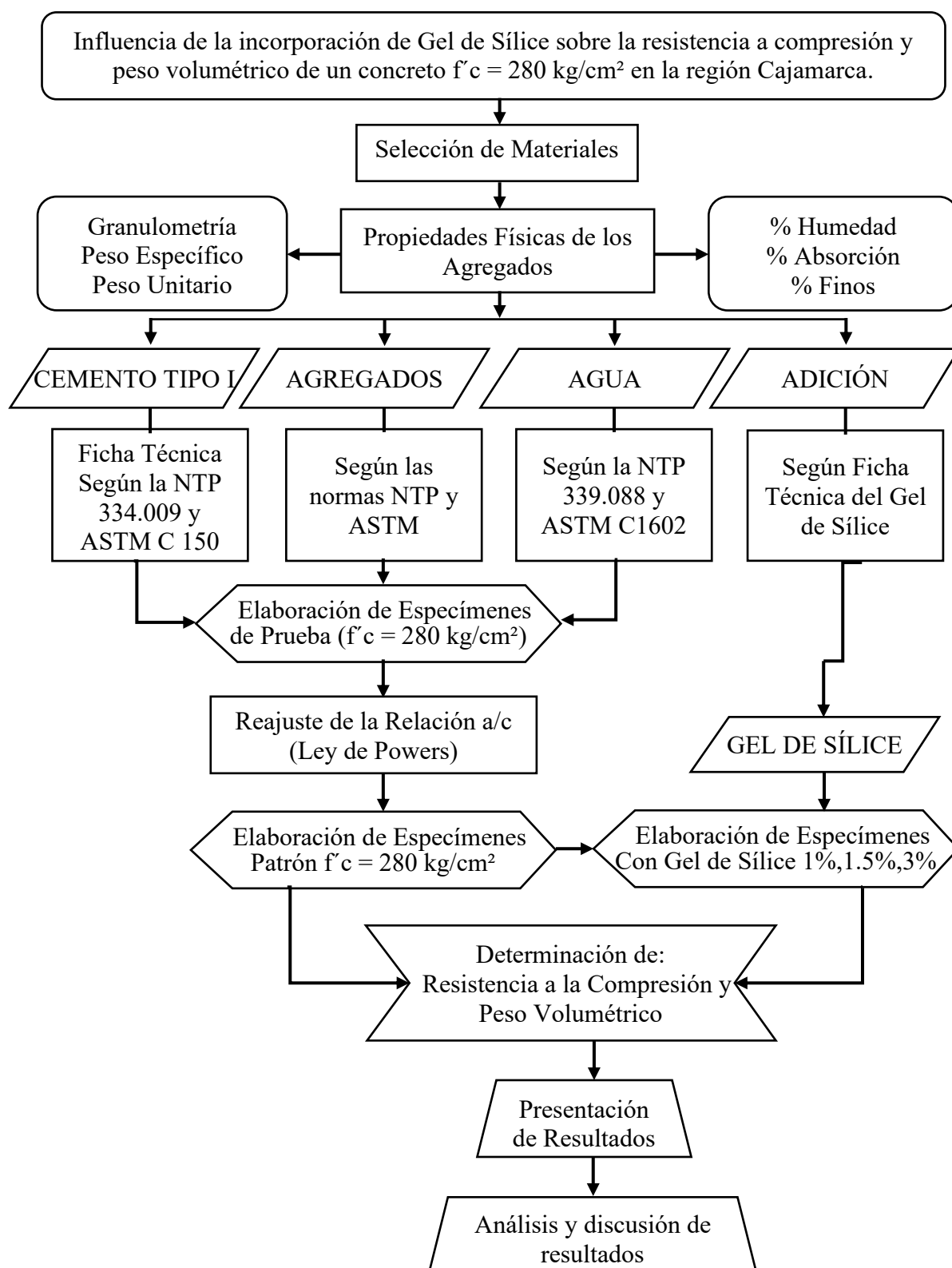
### **Elaboración de especímenes, Curado y Ensayos Finales**

Se procedió a la elaboración de los especímenes del Concreto Patrón y del concreto con Gel de Sílice. Tras el desmolde, todos los especímenes fueron sometidos a curado húmedo, sumergiéndose en una solución de agua con hidróxido de calcio (cal deshidratada) en proporción de 2.0 g/L para optimizar el proceso de hidratación.

En laboratorio se determinó y recopiló la información de las variables de estudio (resistencia a la compresión y peso volumétrico del concreto) mediante ensayos realizados a los 7, 14, y 28 días de curado en agua.

**Figura 8**

*Procedimiento Metodológico de la Investigación*



### **3.4.1. Selección de Materiales Para el Concreto**

#### **3.4.1.1. Agregado Fino y Grueso.**

Los agregados fueron seleccionados de la cantera “Margarita” la ubicación geográfica se muestra en la Tabla 12.

#### **3.4.1.2. Cemento.**

Se usó Cemento Portland Tipo I de la marca Pacasmayo por ser el más común y de uso general en la gran mayoría de las construcciones de Cajamarca.

#### **3.4.1.3. Gel de Sílice (GS).**

Se usó Gel de Sílice de color blanco, el diámetro original del producto según ficha técnica (Ver en anexos) es de 2.0 a 3.0 mm, se adquirió de la tienda oficial “Beliquímica Ingenieros”, ubicado en Pasaje los Zafiros N° 165 - Urb. Balconcillo - La Victoria, Lima – Perú, viene en bolsa transparente sin etiqueta en unidades de 1Kg.

### **3.4.2. Extracción y Preparación de las Muestras**

La extracción y preparación de las muestras de agregado se realizó conforme a la NTP 400.010:2020/ASTM D75. Se siguió el procedimiento de muestreo de depósito, diseñando un plan que asegura la cantidad necesaria de muestras para determinar con precisión las propiedades representativas del lote total (NTP 400.010, 2020).

### **3.4.3. Reducción de las Muestras de Agregados**

Para seleccionar las muestras de los agregados para el concreto se siguió el procedimiento que se estipula en la NTP 400.043:2021/ASTM C702.

#### **3.4.3.1. Selección del Método**

**Agregado Fino:** se selecciona el *método B – Cuarteo* debido a que la muestra tiene humedad libre en sus partículas.

**Agregado Grueso:** se selecciona el *método B – Cuarteo* debido a que en el laboratorio no se cuenta con cuarteador mecánico para emplear el método A y el método C no se usa para

agregado grueso.

### **3.4.3.2.Descripción del Procedimiento Método B – Cuarteo.**

Para reducir las muestras de agregados a un tamaño manejable (no menor de 5 kg), se utilizó el método de cuarteo asistido por pala, cucharón y lona. La muestra inicial se vertió y mezcló cuidadosamente tres veces sobre la lona, formando un apilamiento cónico. Este cono se aplanó para dividir el material en cuatro porciones iguales. Finalmente, se recogieron dos cuartos opuestos con el cucharón, descartando los otros dos. Este proceso se repitió hasta alcanzar el peso mínimo requerido para los ensayos.

### **3.4.4. *Propiedades Físicas y Mecánicas de los Agregados***

#### **3.4.4.1.Peso Específico y Absorción**

##### **3.4.4.1.1. *Peso Específico y Absorción del Agregado Fino***

También es conocida como densidad relativa, el peso específico y la absorción del agregado fino se determinaron mediante el procedimiento gravimétrico establecido en la NTP 400.022, 2024 / ASTM C128. Los detalles del procedimiento se describen paso a paso a continuación.

- ✓ Se obtuvo una muestra representativa de agregado fino de 1.0 kg mediante el método de cuarteo.
- ✓ Esta muestra se secó al horno por un periodo de 24 horas a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , y posteriormente se enfrió de 1 a 3 horas a temperatura ambiente.
- ✓ La muestra seca se sumerge en agua y se deja en reposo por  $24 \pm 4$  horas, luego se saca en un recipiente y se deja secar hasta que superficialmente esté seco.
- ✓ Se verifica el estado Saturado Superficialmente Seco (SSS) utilizando el cono de Abrams y el pisón, se llena el cono con agregado fino y se compacta con 25 golpes.
- ✓ Se pesa el picnómetro (aforado de  $500\text{ cm}^3$ ) con agua llenada hasta el menisco

y se anota la medida (B).

- ✓ Se introduce la muestra de peso (S), 500 gr SSS en el picnómetro y se agrega agua hasta el menisco, eliminado el aire atrapado.
- ✓ Se pesa el conjunto: picnómetro + agregado SSS + agua (C) y se deja reposar por  $24 \pm 4$  horas.
- ✓ Se retira la muestra de agregado fino del picnómetro y se seca en un horno a hasta alcanzar un peso constante. Finalmente se registra su peso (A).

**Tabla 14**

*Ecuaciones para el Cálculo del Peso Específico del agregado fino*

| Peso Específico de Masa (Pe) | Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco (Pesss) | Peso Específico Aparente (Pea) | Absorción (%)                      |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| $Pe = \frac{A}{B + S - C}$   | $Pesss = \frac{S}{B + S - C}$                                  | $Pea = \frac{A}{B + A - C}$    | $Abs = \frac{S - A}{A} \times 100$ |

A: Masa de la muestra seca al horno luego del ensayo (gr).

B: Masa del picnómetro + agua hasta la marca de calibración (gr).

C: Masa del picnómetro + agregado SSS + agua hasta la marca de calibración (gr).

S: Masa de la muestra saturada superficialmente seca usada para el ensayo (gr).

*Nota.* Estas fórmulas se aplican para el procedimiento gravimétrico, NTP 400.022 (2018).

#### **3.4.4.1.2. *Peso Específico o Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso***

El peso específico y absorción del agregado grueso se determina siguiendo el procedimiento de la NTP 400.021, 2020/ASTM - C127, y se detalla a continuación:

- ✓ Se determina la cantidad mínima de agregado grueso a utilizar para el ensayo de acuerdo con el TMN según la tabla de la NTP 400.021, 2020.
- ✓ Se lava la muestra para eliminar los finos y se seca en el horno a una temperatura de  $110 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta alcanzar una masa constante.
- ✓ Se sumerge el agregado en el agua a temperatura ambiente durante un periodo de  $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$  hasta alcanzar la saturación. Se retira la muestra del agua y se seca

superficie de las partículas con un paño absorbente o con aire tibio.

- ✓ Cuando toda el agua superficial ha sido retirada, la muestra alcanza la condición saturada superficialmente, se toma la medida (B) pesando la muestra SSS.
- ✓ Luego se sumerge la muestra saturada superficialmente seca en la canastilla de alambre y se registra la masa (C) de la muestra SSS sumergida en agua.
- ✓ Luego de sacar la muestra del agua se coloca en el horno y luego de 24 horas se toma medida de la masa (A) del agregado seco al horno.

**Tabla 15**

*Fórmulas para calcular el peso específico del agregado grueso.*

| Peso Específico de Masa (Pe)                                                  | Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco (Pesss) | Peso Específico Aparente (Pea) | Absorción (%)                      |
|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| $Pe = \frac{A}{B - C}$                                                        | $Pesss = \frac{B}{B - C}$                                      | $Pea = \frac{A}{A - C}$        | $Abs = \frac{B - A}{A} \times 100$ |
| A: Masa de la muestra seca al horno luego del ensayo (gr).                    |                                                                |                                |                                    |
| B: Masa de la muestra saturada superficialmente seca, pesado en el aire (gr). |                                                                |                                |                                    |
| C: Masa aparente de la muestra pesado saturado en agua (gr).                  |                                                                |                                |                                    |

Nota. Estas ecuaciones son tomadas de la NTP 400.021 (2020)

### 3.4.4.2. Peso Unitario y porcentaje de Vacíos.

También es conocida como densidad de masa, el peso unitario para los agregados fino y grueso se determina mediante el procedimiento establecido por la norma NTP 400.017/ASTM C-29/MTC E203. Los cálculos son idénticos para el agregado fino y grueso.

#### 3.4.4.2.1. *Peso Unitario Suelto.*

- ✓ Se seleccionó el recipiente de acuerdo con el TMN del agregado grueso según la tabla 1 de la NTP 400.017. Se toma la masa del recipiente seleccionado y se llena con agua destilada para determinar su volumen.
- ✓ Se llena el recipiente con el agregado, dejando caer desde una altura no mayor de 5cm por encima del borde superior del agregado.



- ✓ Se enraza el agregado y se procede a pesar para anotar la masa del recipiente más el agregado, la NTP 400.017 recomienda realizar dos veces este procedimiento.

#### 3.4.4.2.2. *Peso Unitario Compactado o Varillado.*

- ✓ Determinación del método de compactación según el TMN del agregado, en esta investigación se usó el método “A” apisonado - Rodding debido a que el  $TMN \leq 37.5mm$ .
- ✓ Pesar el recipiente vacío y llenar con agua para determinar su volumen.
- ✓ Realizar el llenado del recipiente con agregado en tres capas compactando con 25 golpes cada capa según la NTP 400.017.
- ✓ Enrazar el exceso de agregado y tomar la medida de la masa del recipiente más agregado, la NTP 400.017 recomienda realizar dos repeticiones de este procedimiento.

**Tabla 16**

*Fórmulas para Calcular el Peso Unitario.*

| Peso Unitario Suelto<br>(PUs)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Peso Unitario Compactado<br>(PUc)                     | Porcentaje de Vacíos (%)                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $PUs = \frac{Ms - Mr}{Vr}$ $PUs = (Ms - Mr) \times f$                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | $PUc = \frac{Mc - Mr}{Vr}$ $PUs = (Mc - Mr) \times f$ | $\%V = \frac{Pex\gamma_{\omega} - PU}{Pex\gamma_{\omega}} \times 100$ $f = \gamma_{\omega} / (Mc - Mr)$ |
| <p>Ms/Mc: Masa del agregado (fino o grueso) suelto/compactado (gr)</p> <p>Mr: Masa del recipiente (gr)</p> <p>Vr: Volumen del recipiente (cm<sup>3</sup>)</p> <p>Pe: Peso específico de masa según la NTP 400.021/400.022</p> <p>PU: Peso unitario suelto o compactado.</p> <p><math>\gamma_{\omega}</math>: Densidad del agua</p> <p>f = Factor del molde</p> |                                                       |                                                                                                         |

*Nota.* Estas ecuaciones son tomadas de la NTP 400.017 (2020)

### 3.4.4.3. Análisis Granulométrico.

#### 3.4.4.3.1. Análisis granulométrico del Agregado Fino y Grueso

Este ensayo se realiza siguiendo el procedimiento que estipula la NTP 400.012.

- ✓ Se escoge una muestra de agregado según la NTP 400.043, para el agregado fino no debe ser menor a 300 gr y para el agregado según el TMN.
- ✓ Se seca la muestra en el horno a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  hasta alcanzar una masa constante entre dos pesadas consecutivas.
- ✓ Se ordena los tamices en orden de abertura decreciente y colocamos la muestra sobre el tamiz superior y agitamos, luego se pesa el agregado que se retiene en cada tamiz.
- ✓ Luego se procede a realizar los cálculos en base al peso retenido en cada tamiz. Finalmente, con estos datos se procede a calcular las propiedades físicas de los agregados.

$$\% \text{ Retenido}_r = \frac{P_r}{P} \times 100$$

$\% \text{ Retenido}_r$ : Porcentaje de agregado retenido en cada tamiz

$P_r$ : Peso de agregado retenido en cada tamiz (gr)

$P$ : peso total de la muestra ensayada (gr)

#### 3.4.4.4. Módulo de finura

##### 3.4.4.4.1. Módulo de finura del Agregado Fino y Grueso

Según NTP 400.011 (2008) el módulo de finura del agregado fino y grueso se determina mediante la suma de los porcentajes retenidos acumulados en cada tamiz estandarizado de la serie especificada dividido entre 100. Y se calcula según la NTP 400.012.

$$MF_{AF} = \frac{\sum \% \text{Retenido Acum}(\text{N}^{\circ}4 + \text{N}^{\circ}8 + \text{N}^{\circ}16 + \text{N}^{\circ}30 + \text{N}^{\circ}50 + \text{N}^{\circ}100)}{100}$$

$$MF_{AG} = \frac{\sum \%(3''+1 \frac{1}{2}'' + 3/4'' + 3/8'' + \text{N}^{\circ}4 + \text{N}^{\circ}8 + \text{N}^{\circ}16 + \text{N}^{\circ}30 + \text{N}^{\circ}50 + \text{N}^{\circ}100)}{100}$$

#### **3.4.4.5. Tamaño Máximo Nominal del Agregado**

El Tamaño Máximo Nominal se define según la NTP 400.011 (2008) como el diámetro del tamiz que produce el primer retenido del agregado grueso (entre el 5% y 15%). Este valor se calcula luego de los cálculos de granulometría de acuerdo con la NTP 400.012.

#### **3.4.4.6. Contenido de Humedad**

Se determina según lo establecido por las normas NTP 339.185/ASTM C-566. Según la NTP 400.011 (2008) se define como la cantidad de agua que contiene el agregado tanto en sus poros como en su superficie. Los pasos para calcular este valor se detallan a continuación:

- ✓ Se selecciona la muestra de acuerdo con las normas NTP 400.010 y 400.043.

Según la NTP 339.185 el tamaño de muestra para A. grueso depende del TMN.

- ✓ Se anota la masa de la muestra húmeda y se coloca la muestra al horno a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta alcanzar una masa constante, luego sacar la muestra y medir su peso seco. Finalmente se procede a realizar los cálculos.

$$\%humedad = \% \omega = \frac{H - S}{S} \times 100$$

H = peso del agregado húmedo.

S = peso del agregado en condición seca

#### **3.4.4.7. Material más fino que pasa el tamiz N.º 200**

Este ensayo se realiza según lo establecido por la NTP 400.018 (2002), el objetivo de este ensayo es determinar la cantidad de partículas finas que pasa el tamiz N.º 200. Se sigue el siguiente procedimiento.

- ✓ Según la NTP 400.018 la cantidad de agregado fino es de 500 g como mínimo y para el agregado grueso depende del TMN, varía de 2 Kg a 10 Kg.
- ✓ Se seca la muestra de agregado fino o grueso en el horno a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta alcanzar una masa constante.
- ✓ Se deja enfriar la muestra y se toma su peso seco, luego se procedió a realizar

el lavado de la mezcla en el tamiz N.º 200 hasta que visualice el agua totalmente transparente.

- ✓ Secar en el horno la muestra de agregado que quedó retenido luego del lavado en el tamiz N.º 200. Luego tomar el peso de la muestra seca lavada. Y se realizaron los cálculos.

$$A = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

A: % de material fino que pasa por el tamiz de 75 µm (N.º 200) por lavado

P<sub>1</sub>: Peso seco de la muestra antes del lavado (gr)

P<sub>2</sub>: Peso seco de la muestra luego del lavado (gr)

### 3.4.5. *Diseño de Mezclas de Concreto*

#### 3.4.5.1. **Diseño de Mezclas Para el Concreto de Prueba.**

Se realiza mediante el método de módulo de finura de la combinación de agregados

##### 3.4.5.1.1. *Procedimiento del Diseño de Mezcla para el Concreto de Prueba.*

##### a) **Determinación de la resistencia promedio**

Debido a que no se cuenta con un registro de resultados de ensayos que posibilite el cálculo de la desviación estándar, la resistencia promedio se determinó teniendo en cuenta la resistencia de diseño  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$  y considerando que el vaciado del concreto se realizará con un nivel de control bueno.

**Tabla 17**

*Resistencia a la Compresión Promedio según el Nivel de Control*

| Nivel de Control | $f'_{cr} \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$ |
|------------------|------------------------------------|
| Regular o malo   | $1.35f'c - 1.60 f'c$               |
| Bueno            | $1.20f'c - 1.25 f'c$               |
| Excelente        | $1.15f'c$                          |

Nota. Datos tomados de (Rivva, 2014)

Debido a que el concreto de prueba es diseñado con un nivel de control bueno, entonces la resistencia promedio requerida será:  $f'_{cr} = 1.20 \times f'_c$  (Kg/cm<sup>2</sup>)

Donde:  $f'_{cr}$ : Resistencia a la compresión promedio (Kg/cm<sup>2</sup>).

$f'_c$ : Resistencia a la compresión de diseño (Kg/cm<sup>2</sup>).

**b) Selección del Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso (TMN).**

El TMN del agregado grueso para el diseño de mezclas del concreto de prueba se obtuvo del ensayo granulométrico del agregado grueso según la NTP 400.021.

**c) Selección del Asentamiento.**

El concreto de prueba de esta investigación se dosificó para una consistencia plástica, por lo cual el asentamiento o slump será de 3" a 4".

**d) Selección del Volumen Unitario de Agua.**

El volumen unitario de agua se determinó para un concreto sin aire incorporado, en función del asentamiento y el Tamaño Máximo Nominal (TMN). Se usará la tabla 18.

**Tabla 18**

*Volumen Unitario de Agua.*

| Asentamiento                         | Agua en L/m <sup>3</sup> , para tamaños máximos nominales de agregado grueso y consistencia indicadas |      |      |     |        |     |     |     |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|-----|--------|-----|-----|-----|
|                                      | 3/8"                                                                                                  | 1/2" | 3/4" | 1"  | 1 1/2" | 2"  | 3"  | 6"  |
| <b>Concreto sin aire incorporado</b> |                                                                                                       |      |      |     |        |     |     |     |
| 1" a 2"                              | 207                                                                                                   | 199  | 190  | 179 | 166    | 154 | 130 | 113 |
| 3" a 4"                              | 228                                                                                                   | 216  | 205  | 193 | 181    | 169 | 145 | 124 |
| 6" a 7"                              | 243                                                                                                   | 228  | 216  | 202 | 190    | 178 | 100 | ... |
| <b>Concreto con aire incorporado</b> |                                                                                                       |      |      |     |        |     |     |     |
| 1" a 2"                              | 181                                                                                                   | 175  | 168  | 160 | 150    | 142 | 122 | 107 |
| 3" a 4"                              | 202                                                                                                   | 193  | 184  | 175 | 165    | 157 | 133 | 119 |
| 6" a 7"                              | 216                                                                                                   | 205  | 197  | 184 | 174    | 166 | 154 | ... |

*Nota.* Esta tabla ha sido elaborada por el Comité 211 del ACI. Datos tomados de (Rivva, 2014).

**e) Selección del Contenido de Aire.**

Teniendo en cuenta que al concreto de prueba no se va a incorporar aire, el porcentaje de aire atrapado se seleccionó en función del TMN del agregado grueso de la tabla 19.

**Tabla 19**

*Contenido de Aire Atrapado.*

| <b>Tamaño Máximo Nominal</b> | <b>% Aire Atrapado</b> |
|------------------------------|------------------------|
| 3/8"                         | 3.0%                   |
| 1/2"                         | 2.5%                   |
| 3/4"                         | 2.0%                   |
| 1"                           | 1.5%                   |
| 1 1/2"                       | 1.0%                   |
| 2"                           | 0.5%                   |
| 3"                           | 0.3%                   |
| 6"                           | 0.2%                   |

*Nota.* Datos tomados de (Rivva, 2014)

**f) Selección de la relación agua/cemento por resistencia.**

Se seleccionó la relación a/c en función de la resistencia promedio  $f'_{cr} = 280 \text{ g/cm}^2$  y el TMN, para un concreto sin aire incorporado. Para estimar este valor se usó la tabla 20.

**Tabla 20**

*Relación agua/cemento por resistencia.*

| <b>Relación agua - cemento de diseño en Peso</b> |                             |                             |
|--------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| <b><math>f'_{cr}</math> (28 días)</b>            | <b>Sin aire Incorporado</b> | <b>Con aire Incorporado</b> |
| 150                                              | 0.80                        | 0.71                        |
| 200                                              | 0.70                        | 0.61                        |
| 250                                              | 0.62                        | 0.53                        |
| 300                                              | 0.55                        | 0.46                        |
| 350                                              | 0.48                        | 0.40                        |
| 400                                              | 0.43                        | ...                         |
| 450                                              | 0.38                        | ...                         |

*Nota.* Esta tabla es una adaptación del Comité 211 del ACI. Obtenido de (Rivva, 2014).

**g) Selección de la relación agua/cemento por durabilidad.**

En esta investigación se planteó que el concreto no estará expuesto al ataque de sulfatos tampoco a ciclos de congelamiento y deshielo que comprometan la durabilidad y resistencia del concreto, por lo tanto, no fue necesario estimar este valor de la relación agua/cemento.

**h) Cálculo del Contenido de Cemento.**

El contenido de cemento y el factor cemento se determinó en función del agua de diseño y de la relación agua/cemento, mediante las siguientes ecuaciones

$$\text{Contenido de Cemento (Kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Agua de diseño (Kg/m}^3\text{)}}{\text{Relación a/c}}$$

$$\text{Factor Cemento (FC)} = \frac{\text{Contenido de cemento}}{42.5}$$

**i) Cálculo del volumen absoluto de la pasta de cemento**

El volumen absoluto de la pasta de cemento se determinó como la suma de volúmenes absolutos del aire atrapado, agua de diseño y cemento portland.

**j) Cálculo del volumen absoluto del agregado**

Este valor se determinó como la diferencia entre la unidad cúbica de concreto y el volumen absoluto de la pasta de cemento.

**k) Cálculo del módulo de finura de la combinación de agregados (m)**

El valor inicial se obtuvo de la Tabla 21, en función del (TMN) del agregado grueso y el factor cemento. Dado que la tabla asume un 35 % de vacíos en el agregado grueso, por lo tanto, se calculó el porcentaje real de vacíos del agregado grueso para luego aplicar un ajuste del módulo de finura de  $\pm 0.1$  por cada  $\pm 5$  % de variación del porcentaje de vacíos.

**Tabla 21**

*Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados.*

| Tamaño<br>Máximo<br>Nominal del<br>Agregado<br>Grueso | Módulo de fineza de la combinación de agregados que da las mejores condiciones de trabajabilidad para los contenidos de cemento en sacos/m <sup>3</sup> indicados |      |      |      |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|
|                                                       | Factor Cemento                                                                                                                                                    |      |      |      |
|                                                       | 6                                                                                                                                                                 | 7    | 8    | 9    |
| 3/8"                                                  | 3.96                                                                                                                                                              | 4.04 | 4.11 | 4.19 |
| 1/2"                                                  | 4.46                                                                                                                                                              | 4.54 | 4.61 | 4.69 |
| 3/4"                                                  | 4.96                                                                                                                                                              | 5.04 | 5.11 | 5.19 |
| 1"                                                    | 5.26                                                                                                                                                              | 5.34 | 5.41 | 5.49 |
| 1 1/2"                                                | 5.56                                                                                                                                                              | 5.64 | 5.71 | 5.79 |
| 2"                                                    | 5.86                                                                                                                                                              | 5.94 | 6.01 | 6.09 |
| 3"                                                    | 6.16                                                                                                                                                              | 6.24 | 6.31 | 6.39 |

Nota. La tabla muestra valores para un 35% de vacíos. Obtenido de (Rivva, 2014)

#### **l) Cálculo del porcentaje de influencia de los agregados**

Este valor se determinó en función del módulo de finura del agregado fino y grueso obtenido del análisis granulométrico, y en función del módulo de finura de la combinación de agregados, para lo cual se aplicó las siguientes ecuaciones:

$$r_r(\%) = \frac{m_g - m}{m_r - m} \times 100 \rightarrow r_g = 100\% - r_r(\%)$$

Dónde:  $m_f, m_g$ : Módulo de fineza del agregado fino y grueso respectivamente.

$r_f, r_g$ : porcentaje de influencia de agregado fino y grueso respectivamente.

#### **m) Cálculo de los volúmenes absolutos del agregado**

Este valor se calculó multiplicando el volumen absoluto del agregado fino y grueso por el porcentaje de influencia de cada agregado.

#### **n) Determinación del peso seco de los agregados.**

Estos valores se obtuvieron multiplicando el volumen absoluto del agregado fino y



grueso por el peso específico de masa de cada agregado.

**o) Valores de diseño**

Corresponde a la cantidad de cemento, agua de diseño y pesos secos de los agregados sin corregir por humedad de los agregados.

**p) Cálculo del Peso Húmedo de los Agregados.**

Los pesos húmedos de los agregados se determinaron multiplicando el peso seco del agregado fino y grueso por el porcentaje de humedad del agregado.

**q) Aporte de agua de los agregados**

Primero se determinó la humedad superficial de los agregados (fino y grueso) calculado como la diferencia entre el porcentaje de humedad y la absorción. Luego, al multiplicar este valor por el peso seco del agregado, se cuantificó la cantidad de agua (en litros) que aporta o sustrae el agregado, de la mezcla de concreto según el estado de humedad.

**r) Cálculo del agua efectiva**

Este valor se calculó como la suma o diferencia entre el agua de diseño y el aporte del agregado de acuerdo con las condiciones de humedad de los agregados.

**s) Resumen de los materiales corregidos por humedad**

Aquí se detalló el peso del cemento, el agua efectiva, y los pesos húmedos de los agregados fino y grueso.

**t) Proporción en peso de diseño y corregido por humedad de los componentes.**

Se determinó las proporciones en peso de diseño y corregidas por humedad.

**u) Determinación de los pesos por tanda de cemento**

Aquí se determinó los pesos húmedos de los agregados, el agua efectiva y cemento para una tanda de cemento.

**3.4.6. *Elaboración de Probetas del Concreto de Prueba***

Se fabricó seis (6) especímenes de concreto de prueba, siguiendo la NTP 339.183, 2013.

Se ensayaron a los 7 días de curado en agua. Los resultados obtenidos se detallan a continuación.

**Tabla 22**

*Resultados de Resistencia a Compresión  $f'_c$  en Probetas de Ensayo.*

| Muestra                                               | Ø Sup.<br>(cm) | Ø Inf.<br>(cm) | Ø Prom.<br>(cm) | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | Altura<br>(cm) | Carga<br>Última (KN) | $f'_c$<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------------------------------------------|----------------|----------------|-----------------|----------------------------|----------------|----------------------|---------------------------------|
| P1                                                    | 15.21          | 15.12          | 15.17           | 180.62                     | 30.29          | 605.98               | 342.105                         |
| P2                                                    | 15.17          | 15.15          | 15.16           | 180.51                     | 30.18          | 601.58               | 339.850                         |
| P3                                                    | 15.12          | 15.19          | 15.16           | 180.39                     | 30.21          | 604.21               | 341.560                         |
| P4                                                    | 15.14          | 15.18          | 15.16           | 180.51                     | 30.22          | 602.25               | 340.225                         |
| P5                                                    | 15.11          | 15.13          | 15.12           | 179.55                     | 30.25          | 604.16               | 343.112                         |
| P6                                                    | 15.15          | 15.17          | 15.16           | 180.51                     | 30.17          | 602.78               | 340.528                         |
| <b><math>f'_c</math> Promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b> |                |                |                 |                            |                |                      | <b>341.230</b>                  |

Los resultados de resistencia a la compresión del concreto de prueba obtenidos a los 7 días dan un promedio de 341.230 Kg/cm<sup>2</sup>, equivalente al 121.87% de la resistencia de diseño.

Según la Norma Técnica ACI -209.2R (2008), desde los 7 días hasta los 28 días de curado sumergido en agua, el concreto aumenta su resistencia en 45% $f'_c$ , en base a ello, proyectando la resistencia a la compresión a los 28 días, se obtiene:

$$f'_c (07 \text{ días}) = 341.230 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f'_c (28 \text{ días}) = 341.230 + 0.45 * (280) = 467.23 \text{ Kg/cm}^2$$

### **3.4.7. Reajuste y/o Corrección de la Relación agua – cemento**

El ajuste de la relación agua-cemento (a/c) del concreto de prueba se realizó con base en la ley de Powers. Dicha ley establece que la resistencia a la compresión (R) y la durabilidad del concreto endurecido dependen directamente de tres factores clave: la relación agua/cemento (a/c), el grado de hidratación del cemento ( $\alpha$ ) y la relación gel-espacio (X).

$$R = 2380 X^3, \text{ donde } X = \frac{0.647 \alpha}{0.319 \alpha + a/c}$$

R: Resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>).

X: Relación Gel/Espacio.

$\alpha$ : Grado de hidratación del cemento.

a/c: Relación agua – cemento

Datos de diseño del Concreto de Prueba:

➤  $f'c = 467.230 \text{ Kg/cm}^2$

➤  $a/c = 0.50$

Datos de diseño del concreto patrón:

➤  $f'c = 280.00 \text{ Kg/cm}^2$

➤  $a/c = ??$

Cálculo de la relación Gel – Espacio y el Grado de hidratación del Cemento:

Para el Concreto de Prueba:

$$467.230 = 2380 * X^3$$

$$X = 0.581$$

$$0.581 = \frac{0.647\alpha}{0.319\alpha + 0.50}$$

$$\alpha = 0.629$$

Cálculo de la Relación (a/c) corregida Para el Concreto Patrón

Para el concreto patrón:

$$280.000 = 2380 * X^3$$

$$X = 0.490$$

$$0.490 = \frac{0.647 * 0.629}{0.319 * 0.629 + a/c}$$

$$a/c = 0.630$$

Con esta nueva relación agua/cemento (0.630), se procede a realizar el diseño de mezcla para determinar la dosificación para el concreto patrón.

### **3.4.8. *Diseño de mezclas para el concreto patrón $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$***

Conociendo la nueva relación agua – cemento obtenido de la corrección por la ley de Powers, se realizó el diseño de mezcla para el concreto patrón  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ , para el cual se siguen todos los pasos ya detallados en el diseño de mezcla del concreto de prueba.

- ✓ Se realizó el diseño de mezclas para el concreto patrón con una resistencia de diseño  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ , determinando los pesos secos de los materiales.
- ✓ Se corrigieron los pesos por la humedad de los agregados y se determinaron los pesos húmedos de los materiales, así como la dosificación correspondiente en peso.
- ✓ Se estableció la dosificación en peso y se realizó la conversión a dosificación en volumen.

### **3.4.9. *Diseño de mezclas con la adición del 1.0%, 1.5% y 3.0% de Gel de Sílice.***

Dado que ya se cuenta con el diseño de mezclas para el concreto patrón, se procedió a elaborar el diseño de mezclas adicionando Gel de Sílice, siguiendo todos los pasos detallados utilizado previamente para el concreto Patrón. En esta sección de la investigación se desarrollaron tres diseños de mezclas, correspondientes a las adiciones de 1.0%, 1.5% y 3.0% de Gel de Sílice, respecto al cemento determinado para el concreto patrón.

- ✓ Se realizaron los tres diseños de mezclas para el concreto con la adición de 1.0%, 1.5% y 3.0% para una resistencia de diseño  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ , determinando los pesos secos de los materiales.
- ✓ Una vez determinado el peso del cemento requerido para el concreto patrón, se adicionó Gel de Sílice en porcentajes de 1.0%, 1.5% y 3.0% respecto al peso total del cemento.
- ✓ Se corrigieron los pesos por la humedad de los agregados y se determinaron los pesos húmedos de los materiales, así como la dosificación en peso.

- ✓ Se estableció la dosificación en peso y se realizó la conversión a dosificación en volumen para proceder a la elaboración de los especímenes de concreto.

#### **3.4.10. *Elaboración de Especímenes de Concreto.***

La elaboración de los 72 especímenes cilíndricos de concreto (150 mm x 300 mm) se realizó según los procedimientos de la norma NTP 339.183/ASTM C192. Se fabricaron cuatro tandas de 18 especímenes cada una: una tanda de concreto patrón y tres tandas con adición de Gel de Sílice al 1.0%, 1.5% y 3.0% (respecto al peso del cemento).

El proceso de fabricación de los especímenes de concreto, según la NTP 339.183, se estructuró en tres fases: preparación, moldeado/compactación y curado.

##### **3.4.10.1. Fase 1: Preparación.**

- ✓ Se realizó la preparación de los moldes cilíndricos, se limpió y se aplicó una capa delgada de aceite en la superficie interna para facilitar la remoción del molde.
- ✓ Se pesaron los materiales según las dosificaciones indicadas por los diseños de mezcla tanto para el concreto patrón y el concreto con adición de Gel de Sílice. Posteriormente, se procedió a preparar la mezcla de concreto utilizando una mezcladora tipo trompo.
- ✓ Se realizó las pruebas de control de calidad del concreto fresco. Específicamente, se midió el asentamiento mediante el ensayo del cono de Abrams (según la NTP 339.035), verificando que estuviera en el rango de 3" a 4". Además, se registró la temperatura del concreto.

##### **3.4.10.2. Fase 2: Moldeado y Compactación.**

- ✓ Los moldes cilíndricos se llenaron en tres capas, compactando cada capa con 25 golpes utilizando una varilla de acero. Luego, se golpeó el molde con 25 golpes por cada capa de concreto con un martillo de goma para asegurar la eliminación

del aire atrapado.

- ✓ Una vez que se ha terminado de compactar la capa final se enrazó la parte superior con la varilla de compactación. Se marcó cada espécimen para poder identificarlo.

#### **3.4.10.3. Fase 3: Curado de las Probetas.**

- ✓ Luego del acabado final, para asegurar el curado inicial del concreto, se protegió a las probetas con plástico hasta el momento de quitar el molde.
- ✓ Después de 24 horas se desmoldó a las probetas, inmediatamente se sumergió en agua con una solución de cal hidratada (2 g/L) para iniciar el curado en húmedo hasta la hora programada para su ensayo.

#### **3.4.11. Contenido de Aire del Concreto Fresco**

El contenido de aire en el concreto fresco se realizó siguiendo el procedimiento establecido en la NTP 339.080 (2017), usando el método de presión, empleando el medidor Tipo B (Olla de Washington). El proceso se dividió en dos etapas fundamentales: primero, la determinación del Factor de Corrección por Agregado (G); y la medición del contenido de aire del concreto fresco.

##### **3.4.11.1. Primera Etapa: Determinación del Factor de Corrección por Agregado (G)**

El factor de corrección (G) se determina sin cemento, utilizando solo la muestra con agregado fino y grueso en proporciones y condiciones de humedad igual a la mezcla real de concreto. El procedimiento que se detalla a continuación:

- ✓ Se colocó la muestra de agregado fino + grueso + agua en el recipiente de medición, en tres capas y compactando con 25 golpes por capa, se enrazó y se coló la cubierta.
- ✓ Se cierra la válvula de purga y se bombea aire hasta la marca de lectura inicial cero, luego se procede a retirar el agua medido como un porcentaje del volumen

del recipiente y se anota la medición (B)

- ✓ Se abrió la válvula principal de aire y se midió la lectura final de manómetro ( $A_1$ ). El factor de corrección G se determina como:  $G = A_1 - B$

#### 3.4.11.2. Segunda Etapa: Determinación del Contenido de Aire del concreto ( $A_s$ )

- ✓ Se obtuvo una muestra representativa de concreto fresco según el procedimiento de la NTP 339.036 (2017). Se colocó la muestra en el recipiente en tres capas, compactando con 25 golpes por cada capa.
- ✓ Se enrazó con la barra la superficie superior del recipiente, se limpió el borde del recipiente y se procedió a sellar herméticamente con la cubierta.
- ✓ Se cerró la válvula principal de aire y se abrió los dos grifos de la cubierta. Usando un frasco de boquilla flexible se inyectó agua por un grifo hasta que el agua salió por el otro grifo, para garantizar que el espacio libre esté libre de aire.
- ✓ Se cerró la válvula de purga de aire en la cámara de aire y se bombeó aire dentro de la cámara hasta que la aguja del manómetro se estabilice en la lectura de presión inicial ( $P_0$ ).
- ✓ Se cerró ambos grifos en la cubierta, luego se abrió la cámara principal de aire, se golpeó ligeramente el recipiente y el manómetro hasta que se estabilice y se dio lectura al contenido aparente de aire ( $A$ ).

Los cálculos se realizan se detallan a continuación

#### Para el Factor de Corrección:

$$G = A_1 - B$$

G = Factor de corrección del agregado (%)

$A_1$  = Lectura final de manómetro (%)

B = Volumen de agua retirada (B)) %

### **Contenido de Aire de la Muestra de Concreto Fresco Ensayada:**

$$A_s = A - G$$

$A_s$  = Contenido de aire en la muestra ensayada (%).

$A$  = Contenido de aire aparente en la muestra ensayada (%) (Lectura del manómetro).

$G$  = Factor de corrección del agregado (%).

### **3.4.12. Peso Unitario del Concreto.**

#### **3.4.12.1. Peso Unitario de Concreto en Estado Fresco.**

Este valor se determinó de acuerdo con el procedimiento establecido por las normas NTP 339.046/ASTM C138. Este ensayo se realizó con el mismo concreto que se usó para la fabricación de probetas después de haberse realizado las pruebas de control de calidad.

- ✓ Luego de limpiar y engrasar los moldes se pesó el molde registrando su peso.
- ✓ después de vaciar, compactar y enraizar las probetas cilíndricas se procedió a pesar el espécimen (probeta + molde). Registrando su peso.
- ✓ Después de desmoldar los especímenes (24 horas después), se procedió a tomar las medidas del diámetro inferior, superior y la altura. Luego se realizaron los cálculos.

$$PU_{CF} = \frac{M_{C+m} - M_m}{V_m}$$

$PU_{CF}$  = Peso Unitario o densidad del Concreto fresco ( $\text{g/cm}^3$ )

$M_{C+m}$ : = Peso del Concreto + Molde (g)

$M_m$  = Masa del Molde cilíndrico (g)

$V_m$  = Volumen del Molde Cilíndrico ( $\text{cm}^3$ )

#### **3.4.12.2. Peso Unitario de Concreto en Estado Endurecido.**

Para el cálculo del Peso Unitario del concreto endurecido no se aplicó el procedimiento de las normas NTP 339.187/ASTM C642, debido a que el motivo principal de esta investigación es estudiar la variación del peso volumétrico del concreto con gel de sílice. Los



cálculos del peso volumétrico se realizaron siguiendo el siguiente procedimiento.

- ✓ Se tomaron las medidas de la altura y los diámetros inferior y superior de las probetas de concreto para calcular su volumen.
- ✓ Se pesaron las probetas de concreto patrón y las probetas de concreto con la adición de 1.0%, 1.5% y 3.0% de gel de sílice. Y se procedió a realizar los cálculos.

$$PU_{CE} = \frac{W_{CE}}{V_P} \times 1000$$

$PU_{CE}$  = Peso Unitario o Peso Volumétrico del Concreto Endurecido (Kg/m<sup>3</sup>)

$W_{CE}$  = Peso de la probeta de concreto en estado endurecido (g)

$V_P$  = Volumen de la probeta cilíndrica (cm<sup>3</sup>)

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

La resistencia a la compresión del concreto constituye la variable de principal estudio en esta investigación, por ser un parámetro fundamental para evaluar la calidad del concreto. Se realiza según la NTP 339.034 /ASTM C39.

La evaluación de la resistencia a la compresión se efectuó tanto en el concreto patrón como en el concreto adicionado 1.0%, 1.5% y 3.0% de GS. Se analizaron 6 especímenes del concreto patrón y 6 especímenes por cada porcentaje de adición a las edades de 7, 14 y 28 días, lo que representa 24 probetas para cada edad, haciendo un total 72 especímenes.

- ✓ Se sacaron las probetas de concreto del curado húmedo.
- ✓ Se tomaron las medidas de los especímenes (diámetros inferior, superior, altura)
- ✓ Se coloca el espécimen en la máquina de ensayo y se calibra la velocidad de carga hasta que el espécimen falle por compresión.
- ✓ Luego de realizados los ensayos en el laboratorio se determinó la resistencia a la compresión del concreto mediante la siguiente ecuación:

$$f'c = \frac{P_{m\acute{a}x}}{\frac{\pi}{4}D^2}$$

Dónde:

$f'c$  = Resistencia a la compresión del concreto (Kg/cm<sup>2</sup>)

$P_{m\acute{a}x}$  = Carga máxima de rotura (Kg)

D = Diámetro promedio de la probeta cilíndrica (cm)

### **3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

La técnica es el método o procedimiento que se sigue para la recolección de datos y el instrumento es la herramienta o equipo que se usa para medir las variables, basada principalmente en ensayos de laboratorio estandarizados para el concreto  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  siguiendo las normas técnicas pertinentes.

#### **3.5.1. Técnicas de recolección**

La técnica empleada fue la Observación Experimental Directa. Esta técnica permitió recopilar los datos durante la manipulación de las variables (resistencia a la compresión, peso volumétrico y porcentaje de Gel de Sílice) en el laboratorio, dado que la investigación requirió la medición directa y sistemática de magnitudes físicas (peso, volumen, carga de rotura) durante los ensayos de laboratorio.

#### **3.5.2. Instrumentos de recolección**

Los instrumentos empleados fueron los formatos y/o fichas de recolección de datos para cada ensayo en laboratorio, tales como peso, diámetro, altura y carga máxima de rotura de los especímenes de concreto, para su posterior procesamiento. Así mismo se consideran como instrumentos a los equipos calibrados de laboratorio que se usaron para medir las variables:

- ✓ Prensa de compresión, mide la carga máxima que soporta el espécimen.
- ✓ Balanza de laboratorio, para medir la masa de los moldes, especímenes y Gel de Sílice.
- ✓ Vernier, mide el diámetro y la altura de los especímenes cilíndricos.

### **3.5.3. Datos recolectados**

- ✓ Carga Máxima (en kg-f) y cálculo de  $f'_c$  (en kg-f/cm<sup>2</sup>).
- ✓ Peso del molde vacío, peso del molde + concreto, peso de la probeta de concreto y cálculo del Peso Volumétrico del concreto fresco y endurecido.
- ✓ Porcentaje de adición (1.0%, 1.5% y 3.0%) de Gel de sílice.

## **3.6. Técnicas y Herramientas para el Procesamiento de datos, Análisis de Datos y Presentación de Resultados.**

### **3.6.1. Procesamiento de Datos**

Los datos recopilados en laboratorio de cada ensayo se ordenaron, clasificaron y procesaron, para lo cual se usó como herramienta informática el software Microsoft Excel, utilizando las fórmulas indicadas en las bases teóricas y normas correspondientes a cada ensayo, para su posterior análisis.

### **3.6.2. Análisis de Datos**

La técnica empleada es el análisis estadístico descriptivo y comparativo, con los datos procesados sobre resistencias a la compresión y peso volumétrico del concreto, se realiza un análisis estadístico descriptivo y comparativo utilizando medidas como la media, varianza, desviación estándar y coeficiente de variación para describir características de un conjunto de datos, el cual nos permitió resumir y presentar datos de manera clara y concisa.

### **3.6.3. Técnicas para la Presentación de Resultados**

Los resultados de las propiedades físicas de los agregados, las dosificaciones del concreto y las propiedades físicas y mecánicas del concreto en estado fresco y en estado endurecido son presentados mediante tablas y figuras, permitiendo que la información sea precisa, y de fácil análisis e interpretación.

### 3.7. Presentación de Resultados

#### 3.7.1. Resultados de las Propiedades Físicas de los Agregados

**Tabla 23**

*Propiedades físicas del Agregado Fino y Grueso*

| Propiedades Físicas                   | Agregado Fino | Agregado Grueso | Unidad            |
|---------------------------------------|---------------|-----------------|-------------------|
| Peso Específico de Masa               | 2.612         | 2.619           | g/cm <sup>3</sup> |
| Peso Específico de Masa Saturado SS   | 2.651         | 2.652           | g/cm <sup>3</sup> |
| Peso Específico Aparente              | 2.717         | 2.707           | g/cm <sup>3</sup> |
| Peso Unitario Suelto                  | 1695.095      | 1450.361        | Kg/m <sup>3</sup> |
| Peso Unitario Compactado              | 1796.891      | 1567.083        | Kg/m <sup>3</sup> |
| Porcentaje de Absorción               | 1.488         | 1.239           | %                 |
| Contenido de Humedad                  | 4.52          | 1.413           | %                 |
| Módulo de Finura                      | 2.873         | 6.850           |                   |
| Tamaño Máximo Nominal                 | ---           | 3/4"            |                   |
| Material Fino que Pasa el Tamiz N°200 | 2.697         | 0.359           | %                 |

*Nota.* Los agregados han sido obtenidos de la Cantera Margarita – Chilete. Ver Anexo N°01.

#### 3.7.2. Resultados del Diseño de Mezcla del Concreto

##### 3.7.2.1. Resultados del Diseño de Mezcla del Concreto de Prueba.

**Tabla 24**

*Dosificación y Proporción de los Materiales del Concreto de Prueba*

| Materiales      | Dosificación por m <sup>3</sup><br>Corregido por humedad | Unidad | Proporción Corregido por %H |         |        |
|-----------------|----------------------------------------------------------|--------|-----------------------------|---------|--------|
|                 |                                                          |        | Peso                        | Volumen | Unidad |
| Cemento         | 410.328                                                  | Kg     | 1.00                        | 1.00    |        |
| Agregado Fino   | 770.414                                                  | Kg     | 1.88                        | 1.56    |        |
| Agregado Grueso | 984.267                                                  | Kg     | 2.40                        | 2.45    |        |
| Agua efectiva   | 167.978                                                  | L      | 17.40                       | 17.40   | L/bls  |

*Nota.* Las proporciones corresponden a materiales corregidos por humedad. Ver Anexo N°04.

**3.7.2.2.Resultados del Diseño de Mezcla del Concreto Patrón (0.0% GS) y del concreto con incorporación del 1.0%, 1.5% y 3.0% de Gel de Sílice, Respecto al Peso del Cemento.**

**Tabla 25**

*Dosificación de los Materiales del Concreto Patrón y adicionado.*

| Dosificaciones por m <sup>3</sup> Corregidos por Humedad |         |                          |         |         |        |
|----------------------------------------------------------|---------|--------------------------|---------|---------|--------|
| Materiales                                               | Patrón  | Adición de Gel de Sílice |         |         | Unidad |
| % Gel de Sílice                                          | 0.0%    | 1.0%                     | 1.5%    | 3.0%    |        |
| Cemento                                                  | 325.436 | 325.436                  | 325.436 | 325.436 | Kg     |
| Agregado Fino                                            | 869.817 | 869.817                  | 869.817 | 869.817 | Kg     |
| Agregado Grueso                                          | 946.333 | 946.333                  | 946.333 | 946.333 | Kg     |
| Agua                                                     | 178.151 | 178.151                  | 178.151 | 178.151 | L      |
| Gel de Sílice                                            | 0.000   | 3.254                    | 4.882   | 9.763   | Kg     |

*Nota.* La tabla muestra la dosificación de los materiales corregidos por humedad del agregado. La dosificación para el 0.0% de Gel de Sílice corresponde al concreto patrón. El peso del Gel de Sílice se considera como un porcentaje del peso del cemento. Ver Anexo N°05.

**Tabla 26**

*Proporción de Materiales del Concreto Patrón y Adicionado*

| Proporción de Materiales Corregido por Humedad |         |        |        |         |            |        |        |         |
|------------------------------------------------|---------|--------|--------|---------|------------|--------|--------|---------|
| Materiales                                     | En Peso |        |        |         | En Volumen |        |        |         |
| % de Adición                                   | 0.0%    | 1.0%   | 1.5%   | 3.0%    | 0.0%       | 1.0%   | 1.5%   | 3.0%    |
| Cemento                                        | 1.00    | 1.00   | 1.00   | 1.00    | 1.00       | 1.00   | 1.00   | 1.00    |
| Agregado Fino                                  | 2.67    | 2.67   | 2.67   | 2.67    | 2.26       | 2.26   | 2.26   | 2.26    |
| Agregado Grueso                                | 2.91    | 2.91   | 2.91   | 2.91    | 2.97       | 2.97   | 2.97   | 2.97    |
| Agua (L/bls)                                   | 23.27   | 23.27  | 23.27  | 23.27   | 23.27      | 23.27  | 23.27  | 23.27   |
| Gel de Sílice (g/bls)                          | 0.00    | 425.00 | 637.50 | 1275.00 | 0.00       | 425.00 | 637.50 | 1275.00 |

*Nota.* La dosificación en peso y volumen corresponde a valores de los materiales corregidos por humedad de los agregados. El peso del gel de Sílice se toma en estado seco y se adiciona a la mezcla de concreto después de haber sido saturado 24 horas. Ver Anexo N°05.

**3.7.3. Resultados de la Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón y con Adición de Gel de Sílice en 1.0%, 1.5% y 3.0% a los 7, 14 y 28 días.**

**Tabla 27**

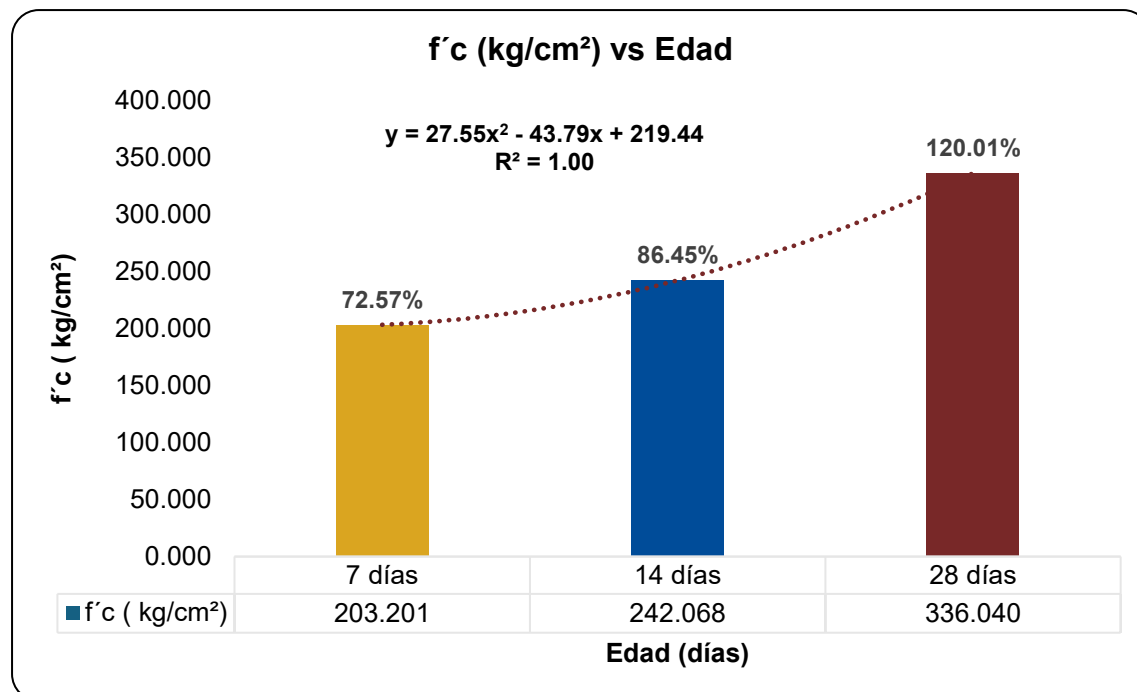
*Resultados de la Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón*

| Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón |                         |                                        |                                               |
|-------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Edad                                            | Carga de Rotura<br>(Kg) | f'c. Obtenida<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | % (f'c = 280 Kg/cm <sup>2</sup> )<br>Obtenido |
| 7 días                                          | 36201.11                | 203.201                                | 72.57%                                        |
| 14 días                                         | 43223.39                | 242.068                                | 86.45%                                        |
| 28 días                                         | 58635.45                | 336.040                                | 120.01%                                       |

*Nota.* El porcentaje obtenido es respecto a la resistencia de diseño especificada f'c= 280Kg/cm<sup>2</sup>

**Figura 9**

*Variación de la Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón*



*Nota.* La figura muestra la variación de la resistencia a la compresión con la edad de curado del concreto patrón.

**Tabla 28**

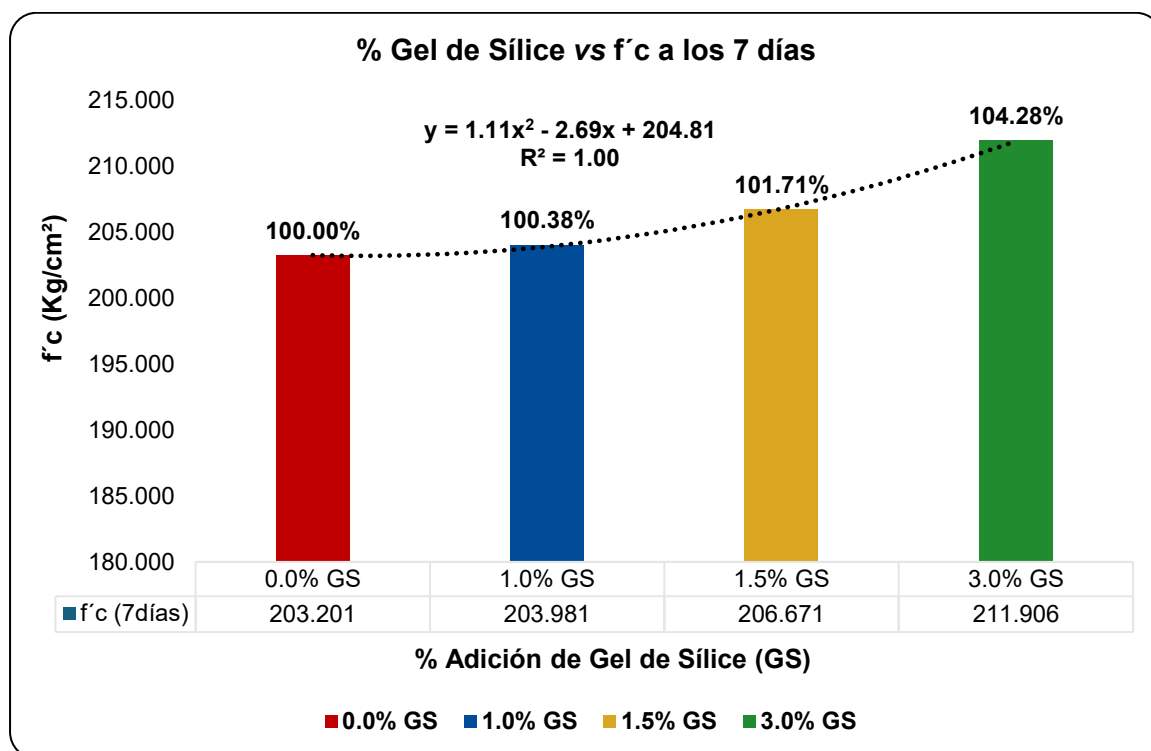
*Resistencia a la Compresión del Concreto a los 7, 14 y 28 días*

| Diseño de Concreto | Resistencia a la Compresión del Concreto |                      |                              |                      |                              |                      |
|--------------------|------------------------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|
|                    | Edad de Ensayo                           |                      |                              |                      |                              |                      |
|                    | 7 días                                   |                      | 14 días                      |                      | 28 días                      |                      |
|                    | f'c<br>(Kg/cm <sup>2</sup> )             | % Patrón<br>Obtenido | f'c<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | % Patrón<br>Obtenido | f'c<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | % Patrón<br>Obtenido |
| Patrón (0.0% GS)   | 203.201                                  | 100.00%              | 242.068                      | 100.00%              | 336.040                      | 100.00%              |
| 1.0% Gel de Sílice | 203.981                                  | 100.38%              | 246.594                      | 101.87%              | 344.924                      | 102.64%              |
| 1.5% Gel de Sílice | 206.671                                  | 101.71%              | 251.259                      | 103.80%              | 350.766                      | 104.38%              |
| 3.0% Gel de Sílice | 211.906                                  | 104.28%              | 255.330                      | 105.48%              | 359.151                      | 106.88%              |

Nota. El % Obtenido de la tabla corresponde al porcentaje obtenido respecto a la resistencia del concreto patrón a los 7, 14 y 28 días respectivamente. Las resistencias son el promedio de 06 especímenes por cada diseño de concreto. Ver Apéndice N° 09.

**Figura 10**

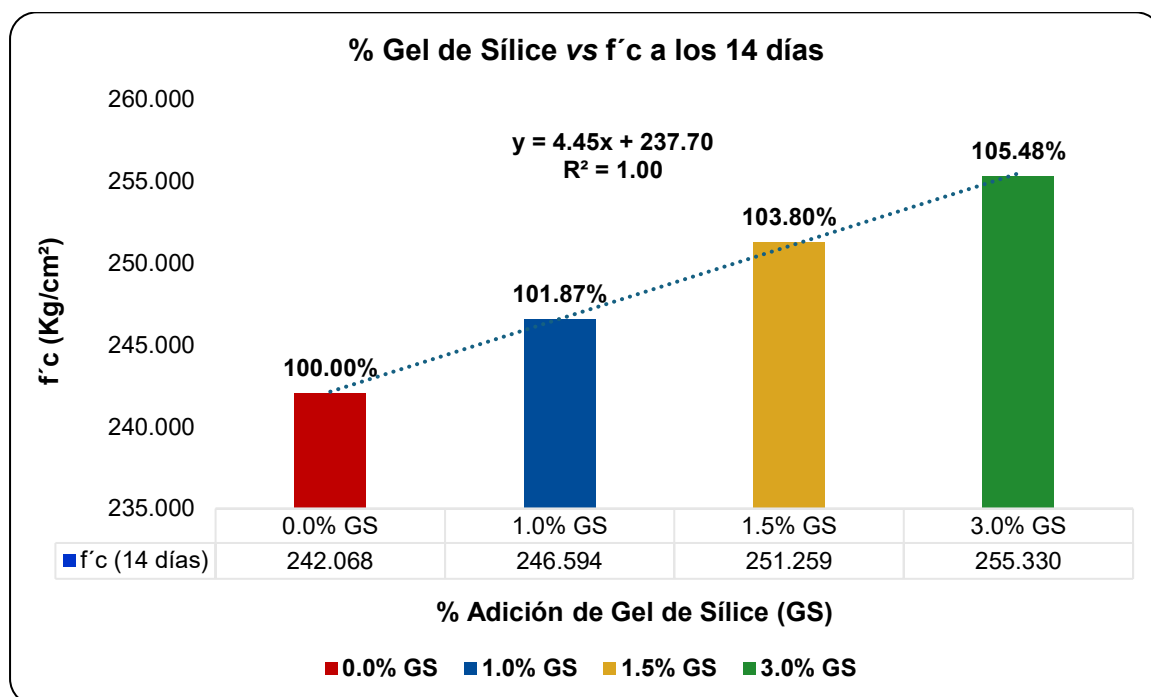
*Resistencia a la Compresión del Concreto a los 7 días*



Nota. La Figura muestra la variación de la resistencia a la compresión del concreto respecto al porcentaje de adición de Gel de Sílice, ensayado a los 7 días.

**Figura 11**

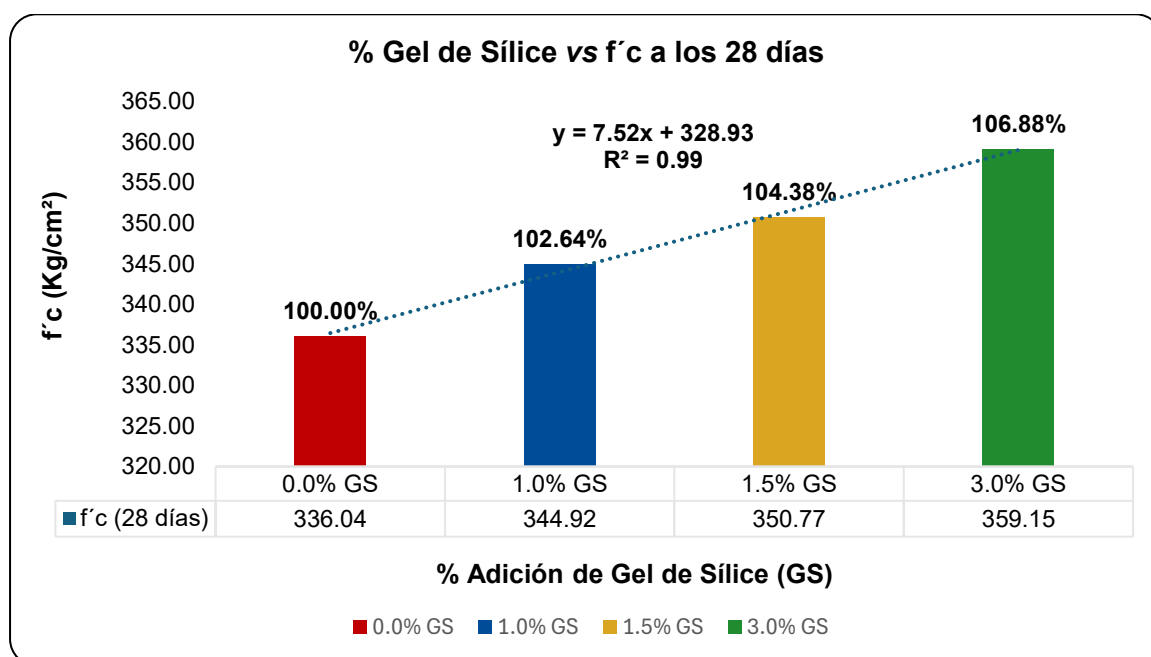
*Resistencia a la Compresión del Concreto a los 14 días*



*Nota.* La figura muestra la variación de la resistencia con el % de Gel de Sílice los 14 días.

**Figura 12**

*Resistencia a la Compresión del Concreto a los 28 días de Ensayo*



*Nota.* La figura muestra la variación de la resistencia con el % de Gel de Sílice los 28 días.



**3.7.4. Resultados del Peso Volumétrico del Concreto Patrón y con Adición de Gel de Sílice en 1.0%, 1.5% y 3.0%, en estado fresco y a los 7, 14 y 28 días.**

**Tabla 29**

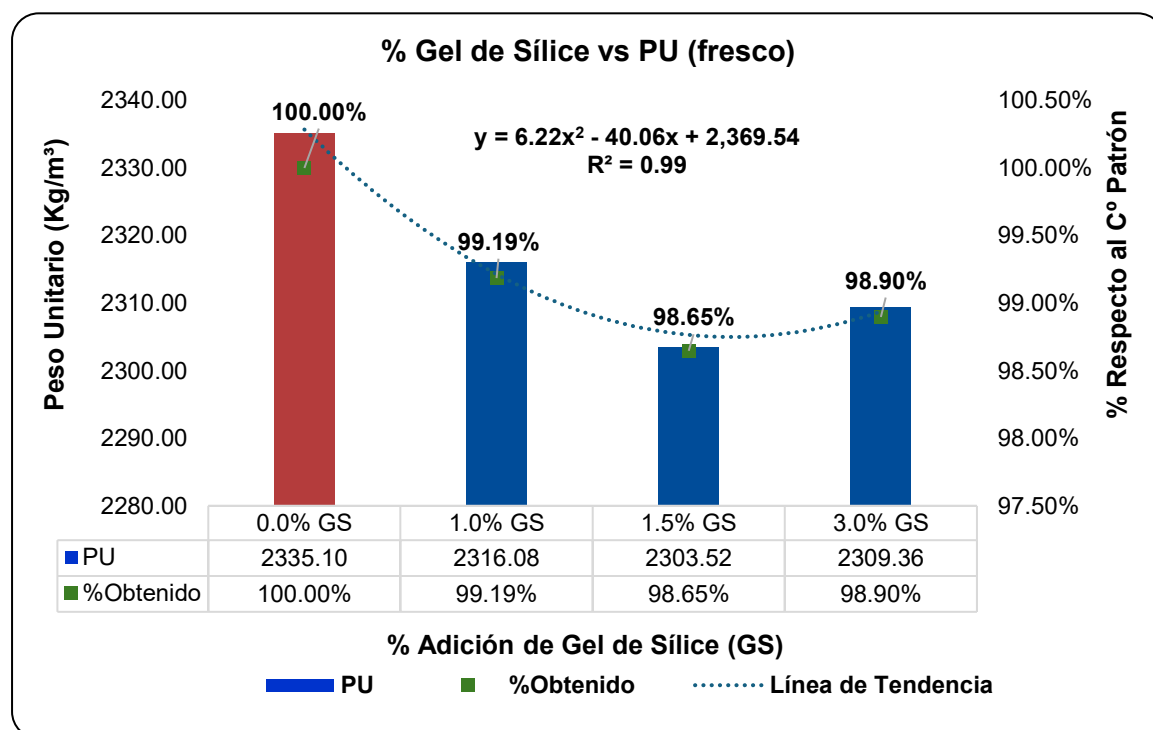
*Peso Volumétrico del Concreto en Estado Fresco*

| Diseño de Concreto | Peso Volumétrico del Concreto |          |                      |          |                      |          |                      |          |
|--------------------|-------------------------------|----------|----------------------|----------|----------------------|----------|----------------------|----------|
|                    | Edad de Ensayo                |          |                      |          |                      |          |                      |          |
|                    | Fresco                        |          |                      |          | Endurecido           |          |                      |          |
|                    | 0 días                        |          | 7 días               |          | 14 días              |          | 28 días              |          |
|                    | PV                            | %        | PV                   | %        | PV                   | %        | PV                   | %        |
|                    | (Kg/m <sup>3</sup> )          | Obtenido | (Kg/m <sup>3</sup> ) | Obtenido | (Kg/m <sup>3</sup> ) | Obtenido | (Kg/m <sup>3</sup> ) | Obtenido |
| Patrón             | 2335.10                       | 100.00%  | 2321.3               | 100.00%  | 2306.65              | 100.00%  | 2325.10              | 100.00%  |
| 1.0% GS            | 2316.08                       | 99.19%   | 2289.8               | 98.64%   | 2280.78              | 98.88%   | 2269.10              | 97.59%   |
| 1.5% GS            | 2303.52                       | 98.65%   | 2275.6               | 98.03%   | 2243.51              | 97.26%   | 2242.92              | 96.47%   |
| 3.0% GS            | 2309.36                       | 98.90%   | 2261.2               | 97.41%   | 2250.36              | 97.56%   | 2116.14              | 91.74%   |

*Nota.* Los resultados son el promedio de los especímenes por cada diseño. Ver Apéndice N°11.

**Figura 13**

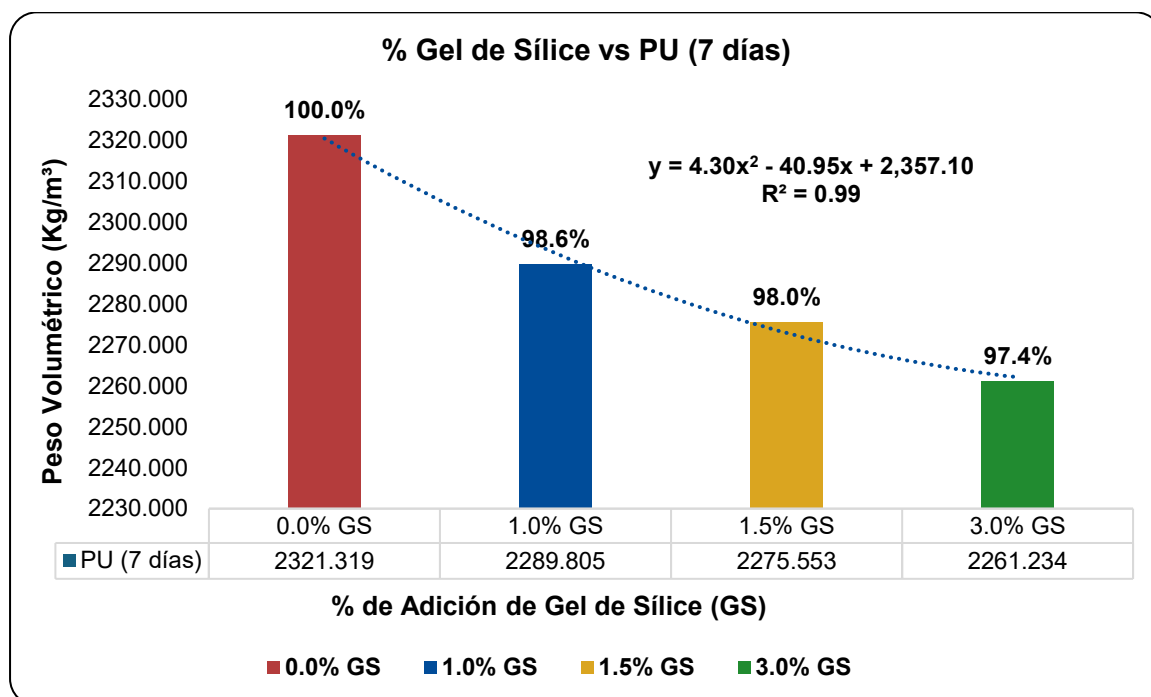
*Peso Volumétrico del Concreto Fresco vs Porcentaje de Gel de Sílice*



*Nota.* La figura muestra la variación del peso volumétrico del concreto con la adición de gel de sílice en los porcentajes de 1.0%, 1.5% y 3.0%, en estado fresco.

**Figura 14**

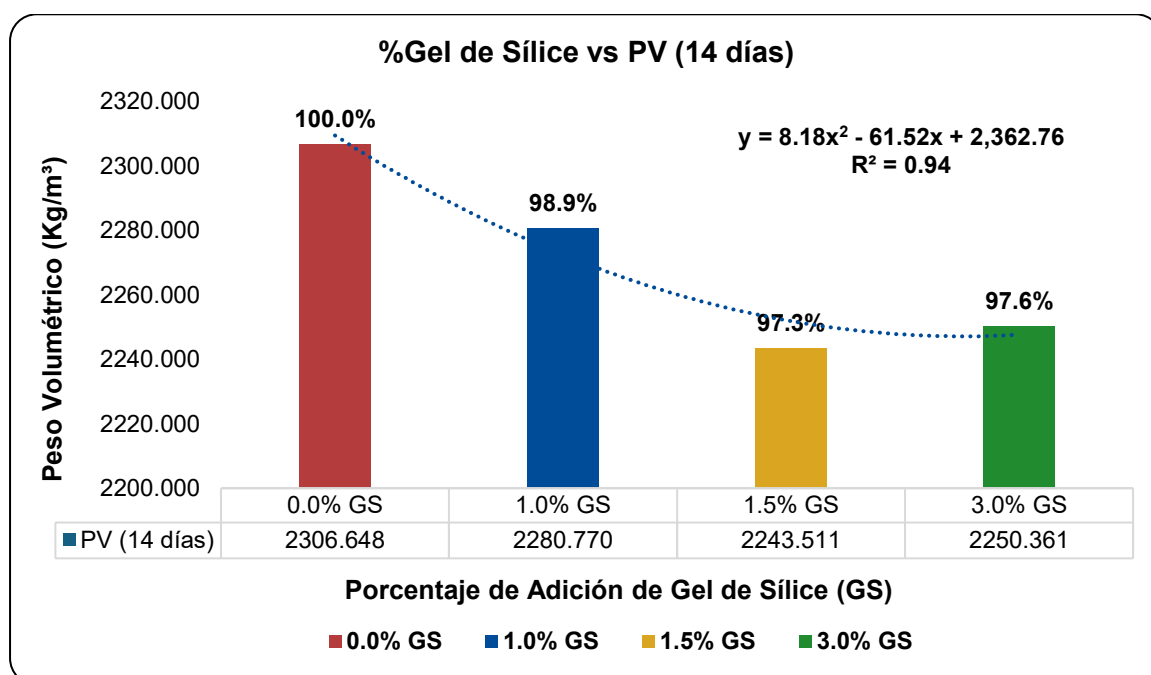
*Variación del Peso Volumétrico del Concreto a los 7 días*



*Nota.* La figura Muestra la variación del peso volumétrico con el % de Gel de Sílice.

**Figura 15**

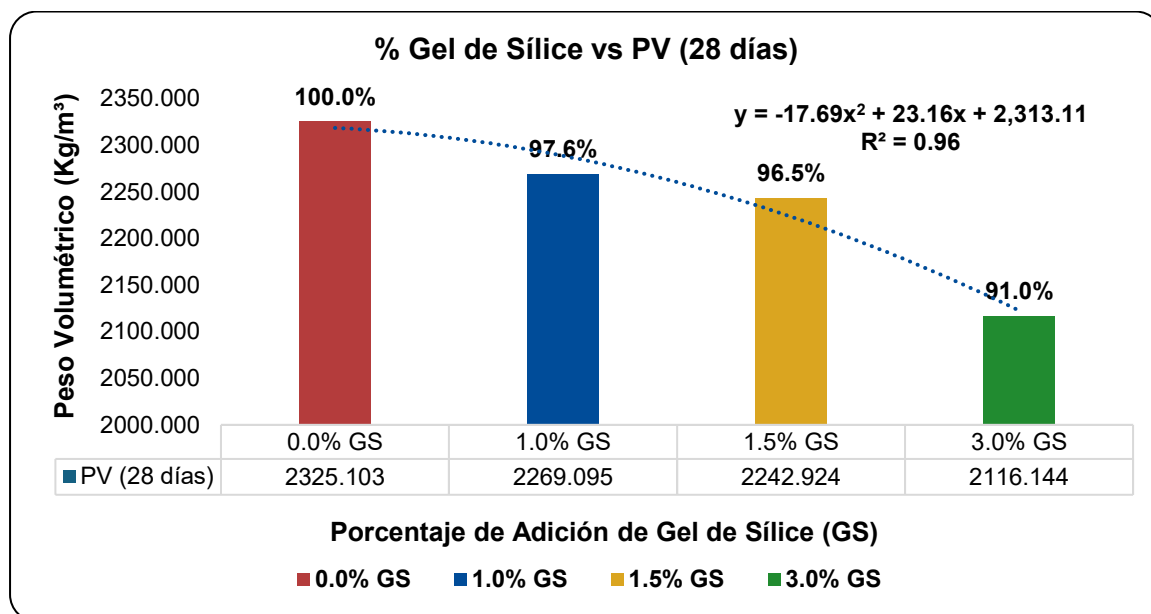
*Variación del Peso Volumétrico del Concreto a los 14 días*



*Nota.* La figura Muestra la variación del peso volumétrico con el porcentaje de Gel de Sílice.

**Figura 16**

*Variación del Peso Volumétrico del Concreto a los 28 días*

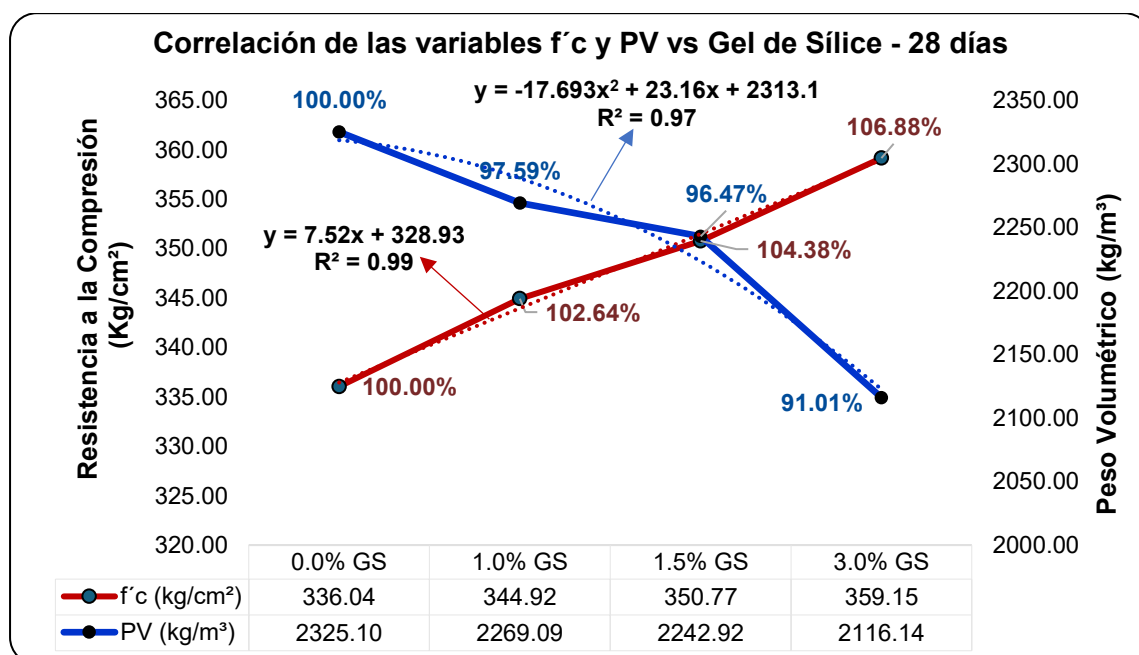


*Nota.* La figura Muestra la variación del peso volumétrico del concreto a los 28 días.

### 3.7.5. Comparación de la Resistencia a la Compresión y Peso Volumétrico del concreto con Adición de Gel de Sílice y el Concreto Patrón a Los 28 días.

**Figura 17**

*Comparación del concreto con Gel de Sílice y del concreto patrón a los 28 días*



*Nota.* En la figura se muestra la comparación de las variables de la investigación

## **CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **4.1. Análisis y Discusión de los Resultados**

#### **4.1.1. *Análisis y discusión de Resultados de las Propiedades de los Agregados.***

##### **4.1.1.1. Análisis Granulométrico.**

###### **4.1.1.1.1. *Agregado Fino***

En la Tabla 23, la distribución granulométrica del agregado fino se encuentra dentro de los límites establecidos por la NTP 400.037, lo cual indica que el agregado fino cumple con los requisitos normativos de gradación para su uso en el concreto.

El módulo de finura obtenido es de 2.873, cuyo valor está dentro del intervalo normativo de 2.30 a 3.10, lo que indica que el agregado es bien gradado, además según la ASTM C33, un módulo de finura del agregado fino cercano a 2.9 es ideal para diseños de mezclas debido a que posee una gradación optima; además según la NTP 400.037 el agregado fino se clasifica como una arena media debido a que el MF está en el rango de 2.60 – 2.90.

###### **4.1.1.1.2. *Agregado Grueso***

Los resultados se muestran en la Tabla 23, la distribución granulométrica del agregado grueso se adapta al huso 67 y cumple con los parámetros y requisitos de gradación especificados en la NTP 400.037.

El módulo de finura obtenido es de 6.850 y el tamaño máximo nominal es de 3/4”, lo cual indica que el agregado grueso es bien gradado y tiene una distribución equilibrada.

##### **4.1.1.2. Peso Específico de Masa de los Agregados.**

Según la Tabla 23, los resultados del peso específico de masa para el agregado fino y grueso son 2.612g/cm<sup>3</sup> y 2.619 g/cm<sup>3</sup> respectivamente, el peso específico de masa saturado superficialmente seco del agregado fino y grueso son 2.651 g/cm<sup>3</sup> y 2.652 g/cm<sup>3</sup> respectivamente y peso específico aparente del agregados fino y grueso son 2.717 g/cm<sup>3</sup> y 2.707 g/cm<sup>3</sup>. Estos valores obtenidos se encuentran dentro del rango entre 2.40 y 2.90 g/cm<sup>3</sup>

establecido por la NTP 339.047 (2014), para obtener un concreto de peso normal.

#### **4.1.1.3. Porcentaje de Absorción de los Agregados.**

Los resultados se detallan en la Tabla 23, el porcentaje de absorción o humedad en los poros para el agregado fino es de 1.488% y para el agregado grueso es de 1.239%. Según la NTP 400.022, 400.021 (2013), estos se encuentran dentro de rango que oscila entre 0.5% y 2.0% para agregados de buena calidad en el Perú, con baja porosidad y facilitando el control de la relación agua/cemento (a/c), ideales para concretos estructurales.

#### **4.1.1.4. Peso Unitario de los Agregados.**

El peso unitario suelto y compactado del agregados fino y grueso, según la tabla 23 son 1695.095 kg/m<sup>3</sup>, 1796.891 kg/m<sup>3</sup> y 1450.361 kg/m<sup>3</sup>, 1567.083 kg/m<sup>3</sup> respectivamente. Según la NTP 400.017 (2011) y la NTP 339.047 (2014), ambos materiales se clasifican como agregados de densidad normal al situarse en el rango de 1120 a 1920 kg/m<sup>3</sup>. Estos valores confirman una excelente gradación; asimismo, el incremento moderado en el peso unitario compactado evidencia un acomodo granular eficiente, lo que optimiza el volumen de vacíos y favorece a la mezcla de concreto.

#### **4.1.1.5. Contenido de Humedad de los Agregados.**

Conforme a la Tabla 23, la humedad del agregado fino es 4.519% y la del grueso 1.413%. Aunque las normas peruanas no fijan rangos de aceptación, el valor elevado en el agregado fino se atribuye a las precipitaciones en Cajamarca. Estos datos son críticos para realizar la corrección por humedad de la mezcla, garantizando el control de la relación agua/cemento efectivo y garantizando la resistencia a la compresión.

#### **4.1.1.6. Porcentaje que Pasa la Malla N° 200.**

La Tabla 23 muestra los resultados del porcentaje que pasa el tamiz N°200. De acuerdo con los ensayos realizados bajo la NTP 400.018 (2002), el contenido de material fino que pasa el tamiz de 75 µm (N° 200) fue de 2.697% para el agregado fino y 0.359% para el grueso.

Según los requisitos de la NTP 400.037 (2021), ambos valores se encuentran dentro de los límites permisibles (máximo 3.0% para agregado fino y 1.0% para agregado grueso).

#### **4.1.2. *Análisis y discusión de los Resultados del Diseño de Mezclas***

En las Tablas 24, 25 y 26 se muestran los resultados para el diseño de mezclas del concreto de prueba, concreto patrón y concreto con adición de Gel de Sílice. El diseño de mezclas para el concreto se realizó por el método del módulo de fineza de la combinación de agregados. Debido a las condiciones climáticas de Cajamarca, la humedad total de los agregados es mayor que su absorción. Por ello, siguiendo la NTP 339.185 (2021), se descontó el agua libre de los agregados del agua de diseño para obtener el agua efectiva. Este ajuste permitió mantener constante la relación agua/cemento ( $a/c$ ) y no alterar la resistencia final de diseño.

Según la Tabla 50, el asentamiento (*slump*) oscila entre 3.50” a 3.58” en todos los diseños, cumpliendo con la NTP 339.047 (2014) para un concreto de consistencia plástica. La uniformidad del asentamiento en todos los diseños demuestra que la adición de Gel de Sílice no afectó negativamente la trabajabilidad, manteniendo constante la relación agua/cemento.

#### **4.1.3. *Análisis y discusión de los resultados de la Resistencia a la Compresión del Concreto***

##### **4.1.3.1. Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón**

La Tabla 27 y Figura 9 muestran los resultados de la resistencia a la compresión del concreto patrón a los 7, 14 y 28 días es de 203.201 Kg/cm<sup>2</sup>, 242.068 Kg/cm<sup>2</sup>, 336.040 Kg/cm<sup>2</sup> respectivamente y alcanza los porcentajes respecto a la resistencia de diseño especificada de 72.57%, 86,45% y 120.01% respectivamente. Estos valores indican que la resistencia a la compresión del concreto patrón a los 28 días supera en 20.01% (36.040 kg/cm<sup>2</sup>,) a la resistencia de diseño especificada  $f'_c = 280$  Kg/cm<sup>2</sup>, esto se debe a que el concreto se diseñó con un factor de seguridad para un vaciado excelente ( $1.2 \cdot f'_c$ ), el cual nos da el parámetro conocido como resistencia promedio requerida ( $f'_{cr} = 1.2 \cdot f'_c$ ); por lo tanto como en laboratorio se controla

todos los procesos de elaboración del concreto, como curado que es el más importante, a los 28 días la resistencia de diseño del concreto patrón debe ser igual o superior a la resistencia promedio requerida  $f'_{cr}$ .

#### **4.1.3.2. Resistencia la compresión del Concreto Adicionado**

Según la Tabla 28 y las Figuras 10, 11 y 12 se detallan los resultados de la resistencia a la compresión del concreto patrón (0.0% Gel de Sílice) y adicionado en 1.0%, 1.5% y 3.0% de Gel de Sílice ensayado a los 7, 14 y 28 días.

Los resultados muestran que la resistencia a la compresión del concreto aumenta conforme aumenta el porcentaje de adición de Gel de Sílice (GS) y a medida que aumenta la edad de curado de los especímenes de concreto. A los 28 días, el concreto patrón con 0.0% de GS registró 336.04 Kg/cm<sup>2</sup>, mientras que las dosificaciones con el 1.0%, 1.5% y 3.0% de GS incrementaron la resistencia a 344.924 Kg/cm<sup>2</sup> (+2.64%), 350.151 Kg/cm<sup>2</sup> (+4.38%) y 359.151 Kg/cm<sup>2</sup> (+6.88%), respecto al concreto patrón respectivamente.

Este efecto se describe según Neville (2013) el cual menciona que el Gel de Sílice al considerarse como una puzolana de alta reactividad, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio ( $Ca(OH)_2$ ) – producto débil de la hidratación del cemento y lo transforma en un gel de silicato de calcio hidratado (C-S-H) secundario, que es el principal responsable de la ganancia de resistencia y durabilidad de la pasta, provocando una mejor adherencia entre la Pasta y el agregado en la zona de transición. Kosmatka et al. (2016) explican que las partículas finas de Gel de Sílice tienen un inicio de reacción ligeramente más lento que el cemento puro porque dependen del hidróxido de calcio liberado por la hidratación inicial, sin embargo, a partir de los 14 días la aceleración de las reacciones puzolánicas del Gel de Sílice supera al concreto convencional. El gel de sílice absorbe y se satura de agua durante el mezclado, la cual lo libera a edades tardías provocando mayores reacciones de los silicatos de calcio de cemento que aún no se han hidratado, incrementando la resistencia después de los 14 días.

#### **4.1.4. *Análisis y Discusión de los resultados del Peso Volumétrico del Concreto***

La Tabla 29 y Figuras 13, 14, 15 y 16 detallan el peso volumétrico del concreto patrón (0.0% de Gel de Sílice) y adicionado en 1.0%, 1.5% y 3.0% de GS en estado fresco y a los 7, 14 y 28 días.

Los resultados muestran una reducción progresiva del peso volumétrico del concreto adicionado a medida que aumenta el porcentaje de Gel de Sílice y la edad de curado. Respecto a los 28 días, el concreto patrón registró 2325.10 Kg/m<sup>3</sup>, mientras que las adiciones de 1.0%, 1.5% y 3.0% de GS redujeron el peso volumétrico en 2.41%, 3.54% y 8.99%, respecto al concreto patrón respectivamente, confirmando la eficacia del GS como agente aligerante para optimizar el desempeño sísmico de las estructuras."

Según la NTP 339.047 (2014) todos los diseños permanecen dentro de la clasificación de concreto de peso normal (rango de 1842 a 2483 Kg/m<sup>3</sup>). Debido a que el Gel de Sílice tiene peso específico (0.75 g/cm<sup>3</sup>) relativamente bajo en comparación al peso específico del cemento portland Pacasmayo Tipo I (3.12 g/cm<sup>3</sup>) y de los agregados (2.612 g/cm<sup>3</sup> fino y 2.619 g/cm<sup>3</sup> grueso), Kosmatka et al. (2016) señala que al adicionar un volumen específico más ligero el peso volumétrico de la mezcla de concreto disminuye.

Según ACI Perú (2015) menciona que las adiciones de sílice refinan los poros, es decir dividen los poros capilares grandes en microscópicos más pequeños y cerrados, incrementado ligeramente el contenido de aire microscópico y reduce el peso de la matriz sólida sin comprometer la resistencia.

#### **4.1.5. *Comparación de la resistencia a la compresión y Peso Volumétrico del Concreto con Gel de Sílice y del Concreto patrón a los 28 días.***

La Figura 17 detalla el comportamiento de la resistencia a la compresión y el peso volumétrico en función del porcentaje de gel de sílice a los 28 días de curado en agua.

Según la Figura 12 y 17 se presenta una correlación estadística entre la resistencia a la



compresión y porcentaje de Gel de sílice: El coeficiente de determinación ( $R^2 = 0.99$ ) indica una correlación muy fuerte entre la resistencia a la compresión y el porcentaje de adición de Gel de Sílice, esto significa que el 99% de la variación en la resistencia a la compresión esta influenciado directamente por el porcentaje de adición de Gel de Sílice. La ecuación polinómica obtenida ( $y = 7.52x + 328.93$ ) confirma que el comportamiento del concreto es predecible y estadísticamente significativo.

En la figura 16 y 17 se aprecia que existe una correlación estadística entre peso volumétrico y porcentaje de Gel de sílice: El coeficiente de determinación  $R^2= 0.97$ , indica una correlación muy fuerte entre el peso volumétrico y el porcentaje de adición del Gel de Sílice, esto significa que el 97% de la variación del peso volumétrico esta influenciado directamente por el porcentaje de Gel de Sílice. La ecuación polinómica obtenida ( $y = -17.69x^2 + 23.16x + 2313.11$ ) confirma que el comportamiento del concreto es predecible y estadísticamente significativo.

Según la Figura 17 se visualiza que existe correlación Inversa o Negativa entre la Resistencia a la Compresión y el Peso Volumétrico, influenciado por el porcentaje de adición de Gel de Sílice. A los 28 días para el concreto con adición del 1.0% de Gel de Sílice el peso volumétrico baja (de 2325.10 a 2269.09 Kg/m<sup>3</sup>) y la resistencia sube (de 336.04 a 344.92 Kg/cm<sup>2</sup>), para la adición con el 1.5% de Gel de Sílice el peso volumétrico baja (de 2325.10 a 2242.92 Kg/m<sup>3</sup>) y la resistencia sube (de 336.04 a 350.77 Kg/cm<sup>2</sup>) y para la adición del 3.0% de Gel de Sílice el peso volumétrico baja (de 2325.10 a 2116.14 Kg/m<sup>3</sup>) y la resistencia sube (de 336.04 a 359.15 Kg/cm<sup>2</sup>)

## 4.2. Contrastación de Hipótesis

### Hipótesis Planteada:

La incorporación de Gel de Sílice influye de manera positiva aumentando la resistencia a la compresión y reduciendo el peso volumétrico, en más del 5%, con respecto al concreto patrón diseñado con  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ , en la región Cajamarca.

### Análisis de Resultados:

**Resistencia a la Compresión ( $f'c$ ):** Según la Tabla 28 y la Figura 12, a los 28 días el concreto patrón alcanzó  $336.040 \text{ Kg/cm}^2$  y en el concreto con Gel de Sílice (GS), se observó un incremento progresivo: el 1.0% de GS alcanzó  $344.924 \text{ Kg/cm}^2$  (2.64%), el 1.5% de GS llegó a  $350.766 \text{ Kg/cm}^2$  (4.38%) y el 3.0% de GS obtuvo la mayor resistencia con  $359.151 \text{ Kg/cm}^2$  (6.88%).

**Peso Volumétrico (PV):** Según la Tabla 29 y Figura 16, el peso volumétrico del concreto patrón a los 28 días es de  $2325.10 \text{ kg/m}^3$ . Las adiciones de Gel de Sílice (GS) generaron una reducción en el peso volumétrico: el 1.0% de GS redujo el peso a  $2269.10 \text{ Kg/m}^3$  (2.41%), el 1.5% a  $2242.92 \text{ Kg/m}^3$  (3.53%) y el 3.0% a  $2116.14 \text{ Kg/m}^3$  (8.99%).

**Decisión:** Los resultados experimentales confirman que existe influencia positiva del Gel de Sílice, aumentando la resistencia a la compresión en 6.88% y reduciendo el peso volumétrico en 8.99%, que es más del 5%, con respecto al concreto patrón. Por lo tanto, se acepta y se valida la hipótesis de investigación.

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

La incorporación de Gel de Sílice (GS) influye de manera positiva aumentando la resistencia a la compresión y reduciendo el peso volumétrico, en más del 5%, con respecto al concreto patrón diseñado con  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ , en la región Cajamarca.

- ✓ La resistencia a la compresión del concreto patrón a los 7, 14 y 28 días es de 203.201  $\text{Kg/cm}^2$ , 242.068  $\text{Kg/cm}^2$  y 336.040  $\text{Kg/cm}^2$  respectivamente, el peso volumétrico del concreto patrón en estado fresco es de 2335.10  $\text{Kg/m}^3$  y en estado endurecido a los 7, 14, y 28 días es de 2321.319  $\text{Kg/m}^3$ , 2306.648  $\text{Kg/m}^3$  y 2325.103  $\text{kg/m}^3$  respectivamente.
- ✓ La resistencia a la compresión del concreto con Gel de Sílice (GS) en 1.0%, 1.5% y 3.0% a los 7 días es de 203.981  $\text{Kg/cm}^2$ , 206.671  $\text{Kg/cm}^2$  y 211.906  $\text{Kg/cm}^2$  respectivamente; a los 14 días es de 246.594  $\text{Kg/cm}^2$ , 251.259  $\text{Kg/cm}^2$  y 255.330  $\text{Kg/cm}^2$  respectivamente y los 28 días es de 344.924  $\text{Kg/cm}^2$ , 350.766  $\text{Kg/cm}^2$  y 359.151  $\text{Kg/cm}^2$  respectivamente.
- ✓ El peso volumétrico del concreto con Gel de Sílice (GS) en 1.0%, 1.5% y 3.0%, en estado fresco es de 2316.08  $\text{Kg/m}^3$ , 2303.52  $\text{Kg/m}^3$  y 2309.36  $\text{Kg/m}^3$  respectivamente; a los 7 días se obtuvo 2289.8  $\text{Kg/m}^3$ , 2275.6  $\text{Kg/m}^3$  y 2261.2  $\text{Kg/m}^3$  respectivamente; a los 14 días es 2280.78  $\text{Kg/m}^3$ , 2243.51  $\text{Kg/m}^3$  y 2250.36  $\text{Kg/m}^3$  respectivamente y a los 28 días se obtuvo 2269.10  $\text{Kg/m}^3$ , 2242.92  $\text{Kg/m}^3$  y 2116.14 respectivamente.
- ✓ Al comparar el concreto patrón con el concreto con Gel de Sílice en porcentajes de 1.0%, 1.5% y 3.0%; se determinó que la resistencia a la compresión a los 28 días aumentó en 2.64%, 4.38% y 6.88%, respectivamente. Asimismo, el peso volumétrico del concreto con Gel de Sílice (GS) en porcentajes de 1.0%, 1.5% y 3.0%, a los 28 días disminuyó en 2.41%, 3.53% y 8.99%, respectivamente.

## **5.2. Recomendaciones**

- ✓ Realizar una ampliación en el rango de dosificaciones de Gel de Sílice, integrando porcentajes tanto inferiores como superiores a los que se han evaluado en este estudio.
- ✓ Estudiar otras propiedades físico - mecánicas del concreto con Gel de Sílice tales como resistencia a la flexión, resistencia a la tracción, permeabilidad, durabilidad, resistencia al desgaste, resistencia a los sulfatos y la carbonatación.
- ✓ Evaluar la influencia del Gel de Sílice a edades mayores a los 28 días como 56, 90 y 120 días, Para determinar el comportamiento de la resistencia a la compresión y peso volumétrico del concreto a largo plazo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto, F. (2017). *Tecnología del Concreto*. San Marcos E.I.R.L.
- ACI 209.2R. (2008). *Guía para modelar y calcular Contracción y fluencia en Concreto Endurecido* (1.<sup>a</sup> ed.). <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-privada-de-tacna/medicion-de-operaciones-y-procesos/norma-aci-2092r-espanol/45752304>
- ACI Perú. (Julio de 2015). Concreto al Día: El cielo es el límite. *Revista Digital del ACI PERÚ*(4). <https://www.aci-peru.org>
- Al Ghabban, A., Al Zubaidi , A., & Fakhri, Z. (2018). Pozzolanic activity and durability of nano silica, micro silica and silica gel contained concrete. *AIP Conference Proceedings*, 1968(030019), 1 - 12. <https://doi.org/10.1063/1.5039159>
- ansal. (2024). Ficha Técnica de gel de sílice. <https://w3.ansal.com.ar/ansal/static/content/PDF/01efa680-314c-18da-8409-f29ad642bf5f.pdf>
- Christy, A. A. (2012). Effect of Heat on the Adsorption Properties of Silica Gel. *IACSIT International Journal of Engineering and Technology*, 4(4), 484 - 488. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ijetch.org/papers/416-T886.pdf](https://www.ijetch.org/papers/416-T886.pdf)
- Davila, G. (2024). Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$ . [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. Alicia Concytec. <https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/7581>
- Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG). (2022). *Manual de la Construcción* (18.<sup>a</sup> ed.). Lima, Perú: ICG.
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, J. (2016). *Diseño y control de mezclas de concreto* (15.<sup>a</sup> ed.). Portland Cement Association.

- Lezama, J. (2022). *Materiales de Construcción*. Cajamarca, Perú: Editorial.
- Mallcco, N., & Huallpa, L. (2022). Influencia de la adición de las partículas de Nano Sílice en las propiedades físico mecánicas del concreto de alto desempeño de resistencia a la compresión de  $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$ , en el distrito de Lircay - Angaraes – Huancavelica. [Tesis de titulación, UNH]. Alicia Concytec. [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNH\\_939da9ad98e92d251025bbae40600c8d](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNH_939da9ad98e92d251025bbae40600c8d)
- Matallana, R. (2019). *El Concreto Fundamentos y Nuevas Tecnologías*. Constructora Conconcreto.
- Mohammed, I., Ibrahim, A., & Azaga, A. (2017). El Efecto de la Adición de Partículas de Gel de Sílice en las Propiedades Mecánicas del Cemento Portland. [Proyecto de titulación, Sabha University]. <https://repository.sebhau.edu.ly/bitstreams/94bd0108-10d8-493d-a127-40cc53f60a4e/download>
- Muñasqui, J. (2023). Mejoramiento de la resistencia a la compresión del concreto  $F'C=210 \text{ kg/cm}^2$ , con la adición de Sílice en diferentes edades y porcentajes - Pasco – 2022. [Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Alicia Concytec. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/3529>
- Neville, A. M. (2013). *Tecnología del concreto* (4.<sup>a</sup> ed.). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. (IMCYC).
- Norma E.060. (2019). *Concreto Armado*. Perú: SENCICO. <https://www.gob.pe/institucion/sencico/informes-publicaciones/887225-normas-del-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>
- NTP 339.034. (2021). *Determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. Método de ensayo* (5.<sup>a</sup> ed.). INACAL.

- NTP 339.047. (2021). *Definiciones y Terminología relativas al concreto y agregados* (4.<sup>a</sup> ed.). Perú. <https://es.scribd.com/document/891295181/NTP-339-047-CONCRETO-Definiciones-y-Terminologia>
- NTP 339.080. (2017). *Método de ensayo para la determinación del contenido de aire en el concreto fresco. Método de presión* (3ra ed.). Perú.
- NTP 339.088. (2021). *Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto hidráulico. Especificaciones*. INACAL.
- NTP 339.183. (2013). *Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en laboratorio* (2<sup>a</sup> ed.). INACAL.
- NTP 339.185. (2021). *Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Método de ensayo* (3.<sup>a</sup> ed.). INACAL.
- NTP 339.187. (2018). *Método de ensayo para determinar la densidad, absorción y porcentaje de vacíos en concreto endurecido* (2.<sup>a</sup> ed.). INACAL.
- NTP 400.012. (2021). *Análisis granulométrico del agregado fino y grueso. Método de ensayo* (4.<sup>a</sup> ed.). Perú: INACAL. <https://www.collegesidekick.com/study-docs/19239362>
- NTP 400.018. (2002). *Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75  $\mu$ m (N° 200) por lavado en agregados*. (2da ed.). (INACAL, Ed.)
- NTP 400.021. (2020). *Densidad relativa (peso específico) y absorción de agregado grueso. Método de ensayo*. (4.<sup>a</sup> ed.). Perú: INACAL.
- NTP 400.022. (2024). *Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino* (5.<sup>a</sup> ed.). Perú: INACAL.
- NTP 400.037. (2021). *(Norma Técnica Peruana) Agregados para Concreto Especificaciones* (4.<sup>a</sup> ed.). INACAL.

- Onyelowe, K., Ebid, A., Riofrio, A., Soleymani, A., Baykara, H., Kontoni, D.-P., . . . Jahangir, H. (2022). Global warming potential-based life cycle assessment and optimization of the compressive strength of fly ash-silica fume concrete; environmental impact consideration. *Frontiers in Built Environment*, 8(992552), 01-15. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.992552>
- Perez, W. (2023). Evaluación de la resistencia a la compresión axial del concreto  $f'_c$ : 210 kg/cm<sup>2</sup>, elaborado con adiciones porcentuales de 5%, 10% y 15% de diatomita en estado calcinado con respecto a un concreto patrón a los 7, 14 y 28 días de curado. [Tesis de título profesional, Universidad Andina del Cusco]. Alicia Concytec. <https://repositorio.uandina.edu.pe/item/e8a2b8f3-68f9-47a0-a201-bcfff86e6a60>
- Quezada, N. (2010). *Estadística para Ingenieros* (1ra ed.). Perú: Empresa Editora Marco E.I.R.L.
- Rivva, E. (2014). *Diseño de Mezclas* (2.<sup>a</sup> ed.). Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG).
- Silva , V., Carvalho, R., Rêgo , J., & Evangelista, F. (2023). Machine Learning-Based Prediction of the Compressive Strength of Brazilian Concretes: A Dual-Dataset Study. *materials*, 16(4977). <https://doi.org/10.3390/ma16144977>
- Sourav, K., Deepika, P., Jasar, V., & Jia Jerin, C. (2023). Improving the Mechanical Properties of M35 Concrete Using Metakaolin and Silica Gel. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET)*, 11(VI), 45 - 98. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.53899>
- Vera , R. (2024). Influencia de la adición de diferentes porcentajes de marmolina en la resistencia mecánica del concreto  $f'_c = 210$  kg/cm<sup>2</sup>. [Tesi para optar el título profesional, Universidad Nacional de Cajamarca]. <https://repositorio.unc.edu.pe>
- Weintraub, S. (2002). Demystifying silica gel. *American Institute for Conversation of Historic and Artistic Works (AIC)*, 9(SN), 169 - 194. <https://doi.org/www.conservation-us.org>



Yaseen, N., Alcivar-Bastidas, S., Irfan-ul-Hassan, M., Petroche, D., Qazi, A., & Ramírez, Á. (2024). Concrete incorporating supplementary cementitious materials: Temporal evolution of compressive strength and environmental life cycle assessment. *Heliyon*, 10(3). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25056>

ydrygroup. (2024). *ydrygroup*. <https://ydrygroup.com/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-el-gel-de-silice-y-la-arcillacloruro-propiedades-y-beneficios-para-la-industria-farmacia-y-alimentacion?srsltid=AfmBOooJTaAHVeGfBLRvzrsJlor-hAC-IzbMXjuTEzmswiifPCj6mVeL>

## APÉNDICE

### APÉNDICE N.º 01: Resultados de los Ensayos para Determinar las Propiedades Físicas de los Agregados para el Concreto.

#### PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO FINO

**Tabla 30**

*Peso Específico de Masa del Agregado Fino.*

| Descripción                                                   | Unid.        | M - 1        | M - 2        | M - 3        | Promedio     |
|---------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Peso de la fiola                                              | g            | 191.760      | 191.76       | 191.76       |              |
| Peso de la fiola + agua hasta el menisco                      | g            | 689.970      | 689.97       | 689.97       |              |
| Peso de la fiola + agua + muestra                             | g            | 1003.21      | 1003.12      | 1003.04      |              |
| Peso de la muestra superficialmente seca                      | g            | 500.00       | 500.00       | 500.00       |              |
| Peso de la muestra secada al horno                            | g            | 492.48       | 492.85       | 492.68       |              |
| Volumen de agua añadida al frasco                             | g            | 311.45       | 311.36       | 311.28       |              |
| <b>Peso Específico de Masa</b>                                | <b>g/cm³</b> | <b>2.612</b> | <b>2.613</b> | <b>2.611</b> | <b>2.612</b> |
| <b>Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente seco</b> | <b>g/cm³</b> | <b>2.652</b> | <b>2.651</b> | <b>2.649</b> | <b>2.651</b> |
| <b>Peso Específico Aparente</b>                               | <b>g/cm³</b> | <b>2.720</b> | <b>2.716</b> | <b>2.716</b> | <b>2.717</b> |

**Tabla 31**

*Porcentaje de Absorción del Agregado Fino*

| Descripción                              | Unid.    | M - 1        | M - 2        | M - 3        | Promedio     |
|------------------------------------------|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Peso de la muestra superficialmente seca | g        | 500.000      | 500.000      | 500.000      |              |
| Peso de la muestra secada al horno       | g        | 492.480      | 492.850      | 492.680      |              |
| <b>Absorción</b>                         | <b>%</b> | <b>1.527</b> | <b>1.451</b> | <b>1.486</b> | <b>1.488</b> |

**Tabla 32**

*Contenido de Humedad del Agregado Fino*

| Descripción                          | Unid.    | M - 1       | M - 2       | M - 3       | Promedio    |
|--------------------------------------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Peso del recipiente                  | g        | 415.00      | 416.00      | 417.00      |             |
| Peso del recipiente + muestra húmeda | g        | 1552.00     | 1662.00     | 1593.00     |             |
| Peso del recipiente + muestra seca   | g        | 1501.00     | 1604.00     | 1548.00     |             |
| <b>Contenido de Humedad</b>          | <b>%</b> | <b>4.70</b> | <b>4.88</b> | <b>3.98</b> | <b>4.52</b> |

*Nota.* El contenido de humedad para el diseño del concreto de prueba es de 6.54%

**Tabla 33***Peso Específico del Agua Para Agregado Fino*

| Descripción              | Unid.                   | Resultados     |
|--------------------------|-------------------------|----------------|
| Peso de la fiola         | g                       | 191.760        |
| Peso de la fiola + agua  | g                       | 689.970        |
| Volumen de la fiola      | cm <sup>3</sup>         | 500.000        |
| Peso específico del agua | g/cm <sup>3</sup>       | 0.996          |
| <b>P.e. del agua</b>     | <b>kg/m<sup>3</sup></b> | <b>996.420</b> |

**Tabla 34***Factor "f" del Recipiente Para Agregado Fino*

| Descripción                      | Unid.                  | Resultados     |
|----------------------------------|------------------------|----------------|
| Peso del Molde                   | g                      | 1996.000       |
| Peso del Molde + Agua            | g                      | 4864.000       |
| Peso del Agua                    | Kg                     | 2.868          |
| <b>Factor del recipiente (f)</b> | <b>1/m<sup>3</sup></b> | <b>347.427</b> |

**Tabla 35***Peso Unitario Suelto Seco del Agregado Fino*

| Descripción                         | Unid.                   | M - 1          | M - 2         | M - 3          | Promedio        |
|-------------------------------------|-------------------------|----------------|---------------|----------------|-----------------|
| Peso del recipiente                 | g                       | 1996.00        | 1996.00       | 1996.00        |                 |
| Peso de muestra suelta + recipiente | g                       | 6885.00        | 6875.00       | 6865.00        |                 |
| Peso de la muestra suelta           | g                       | 4889.00        | 4879.00       | 4869.00        |                 |
| Factor del recipiente (f)           | 1/m <sup>3</sup>        | 347.43         | 347.43        | 347.43         |                 |
| Peso Unitario Suelto                | g/cm <sup>3</sup>       | 1.699          | 1.695         | 1.692          | <b>1.695</b>    |
| <b>Peso Unitario Suelto</b>         | <b>Kg/m<sup>3</sup></b> | <b>1698.57</b> | <b>1695.1</b> | <b>1691.62</b> | <b>1695.095</b> |

**Tabla 36***Peso Unitario Compactado Seco del Agregado Fino*

| Descripción                             | Unid.                   | M - 1          | M - 2          | M - 3          | Promedio        |
|-----------------------------------------|-------------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| Peso del recipiente                     | g                       | 1996.00        | 1996.00        | 1996.00        |                 |
| Peso de muestra compactada + recipiente | g                       | 7195.00        | 7184.00        | 7125.00        |                 |
| Peso de la muestra compactada           | g                       | 5199.00        | 5188.00        | 5129.00        |                 |
| Factor del recipiente (f)               | 1/m <sup>3</sup>        | 347.43         | 347.43         | 347.43         |                 |
| Peso Unitario Compactado                | g/cm <sup>3</sup>       | 1.806          | 1.802          | 1.782          | <b>1.797</b>    |
| <b>Peso Unitario Compactado</b>         | <b>Kg/m<sup>3</sup></b> | <b>1806.27</b> | <b>1802.45</b> | <b>1781.95</b> | <b>1796.891</b> |

**Tabla 37**

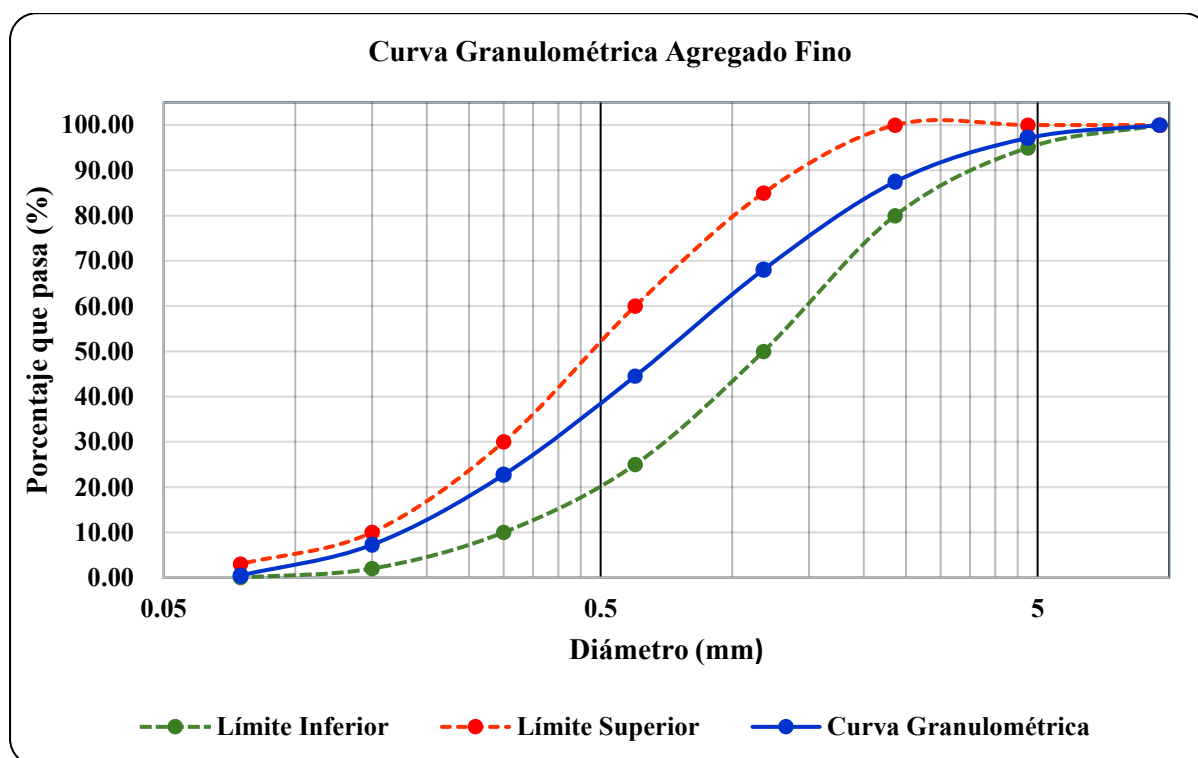
*Análisis granulométrico del Agregado Fino*

| N.º Tamiz                    | Abertura (mm) | Peso Retenido Parcial | Porcentaje Retenido Parcial | Porcentaje Retenido Acumulado | Porcentaje Que Pasa |
|------------------------------|---------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------|
| Nº4                          | 4.75          | 53.00                 | 3.53                        | 3.53                          | 96.47               |
| Nº8                          | 2.36          | 135.00                | 9.00                        | 12.53                         | 87.47               |
| Nº16                         | 1.18          | 352.00                | 23.47                       | 36.00                         | 64.00               |
| Nº30                         | 0.60          | 356.00                | 23.73                       | 59.73                         | 40.27               |
| Nº50                         | 0.30          | 358.00                | 23.87                       | 83.60                         | 16.40               |
| Nº100                        | 0.15          | 125.00                | 8.33                        | 91.93                         | 8.07                |
| Nº200                        | 0.075         | 113.00                | 7.53                        | 99.47                         | 0.53                |
| Cazoleta                     | --            | 8.00                  | 0.53                        | 100.00                        | 0.00                |
| <b>TOTAL (g)</b>             |               | <b>1500.00</b>        |                             |                               |                     |
| <b>Módulo de Finura (MF)</b> |               |                       |                             | <b>2.873</b>                  |                     |

*Nota.* El agregado fino es bien gradado, el módulo de finura lo clasifica como arena gruesa.

**Figura 18**

*Curva de Distribución Granulométrica del Agregado Fino*



*Nota.* La curva Granulométrica del agregado fino cumple en su totalidad con los límites granulométricos establecido por la NTP 400.037 - 2021.

## PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO GRUESO

**Tabla 38**

*Peso Específico de Masa del Agregado Grueso.*

| Descripción                                                   | Unid.                   | M - 1        | M - 2        | M - 3        | Prom.        |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Peso de muestra SSS + canastilla sumergida                    | g                       | 2744.21      | 2743.25      | 2743.31      |              |
| Peso de la canastilla sumergida                               | g                       | 875.00       | 875.00       | 875.00       |              |
| Peso de la muestra superficialmente seca                      | g                       | 3000.00      | 3000.00      | 3000.00      |              |
| Peso de la muestra secada al horno                            | g                       | 2963.34      | 2963.74      | 2962.78      |              |
| Peso de la muestra sumergida en agua                          | g                       | 1869.21      | 1868.25      | 1868.31      |              |
| <b>Peso Específico de Masa</b>                                | <b>g/cm<sup>3</sup></b> | <b>2.621</b> | <b>2.619</b> | <b>2.618</b> | <b>2.619</b> |
| <b>Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente seco</b> | <b>g/cm<sup>3</sup></b> | <b>2.653</b> | <b>2.651</b> | <b>2.651</b> | <b>2.652</b> |
| <b>Peso Específico Aparente</b>                               | <b>g/cm<sup>3</sup></b> | <b>2.708</b> | <b>2.705</b> | <b>2.707</b> | <b>2.707</b> |

**Tabla 39**

*Porcentaje de Absorción del Agregado Grueso.*

| Descripción                              | Unid.    | M - 1        | M - 2        | M - 3        | Promedio     |
|------------------------------------------|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Peso de la muestra superficialmente seca | g        | 3000.00      | 3000.00      | 3000.00      |              |
| Peso de la muestra secada al horno       | g        | 2963.34      | 2963.74      | 2962.78      |              |
| <b>Absorción</b>                         | <b>%</b> | <b>1.237</b> | <b>1.223</b> | <b>1.256</b> | <b>1.239</b> |

**Tabla 40**

*Contenido de Humedad del Agregado Grueso.*

| Descripción                          | Unid.    | M - 1        | M - 2        | M - 3        | Promedio     |
|--------------------------------------|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Peso del recipiente                  | g        | 415.00       | 411.00       | 417.00       |              |
| Peso del recipiente + muestra húmeda | g        | 1451.00      | 1581.00      | 1488.00      |              |
| Peso del recipiente + muestra seca   | g        | 1438.00      | 1561.00      | 1475.00      |              |
| <b>Contenido de Humedad</b>          | <b>%</b> | <b>1.271</b> | <b>1.739</b> | <b>1.229</b> | <b>1.413</b> |

*Nota.* El contenido de humedad para el diseño del concreto de prueba es de 1.290%

**Tabla 41**

*Porcentaje de agregado grueso que pasa el Tamiz N°200*

| Descripción                               | Unid     | M - 1        | M - 2        | M - 3        | Promedio     |
|-------------------------------------------|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Peso seco de Muestra Original             | g        | 3000         | 3000         | 3000         |              |
| Peso seco de la muestra lavada            | g        | 2990.11      | 2989.42      | 2988.16      |              |
| Peso Material que pasa el Tamiz N°200     | g        | 9.89         | 10.58        | 11.84        |              |
| <b>% Material que Pasa el Tamiz N°200</b> | <b>%</b> | <b>0.330</b> | <b>0.353</b> | <b>0.395</b> | <b>0.359</b> |

**Tabla 42***Factor "f" del recipiente para agregado grueso*

| Descripción                      | Unid.                  | Resultados     |
|----------------------------------|------------------------|----------------|
| Peso del Molde                   | g                      | 4222.000       |
| Peso del Molde + Agua            | g                      | 13968.000      |
| Peso del Agua                    | Kg                     | 9.746          |
| <b>Factor del recipiente (f)</b> | <b>1/m<sup>3</sup></b> | <b>102.239</b> |

**Tabla 43***Peso unitario suelto seco del agregado grueso*

| Descripción                         | Unid.                   | M - 1          | M - 2          | M - 3          | Promedio        |
|-------------------------------------|-------------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| Peso del recipiente                 | g                       | 4222.00        | 4222.00        | 4222.00        |                 |
| Peso de muestra suelta + recipiente | g                       | 18422.00       | 18497.00       | 18305.00       |                 |
| Peso de la muestra suelta           | g                       | 14200.00       | 14275.00       | 14083.00       |                 |
| Factor del recipiente (f)           | 1/m <sup>3</sup>        | 102.24         | 102.24         | 102.24         |                 |
| Peso Unitario Suelto                | g/cm <sup>3</sup>       | 1.452          | 1.459          | 1.440          | <b>1.450</b>    |
| <b>Peso Unitario Suelto</b>         | <b>Kg/m<sup>3</sup></b> | <b>1451.79</b> | <b>1459.46</b> | <b>1439.83</b> | <b>1450.361</b> |

**Tabla 44***Peso unitario compactado seco de agregado grueso*

| Descripción                          | Unid.                   | M - 1         | M - 2           | M - 3         | Promedio        |
|--------------------------------------|-------------------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|
| Peso del recipiente                  | g                       | 4222.00       | 4222.00         | 4222.00       |                 |
| Peso muestra compactada + recipiente | g                       | 19587.00      | 19564.00        | 19498.00      |                 |
| Peso de la muestra compactada        | g                       | 15365.00      | 15342.00        | 15276.00      |                 |
| Factor del recipiente (f)            | 1/m <sup>3</sup>        | 102.24        | 102.24          | 102.24        |                 |
| Peso Unitario Compactado             | g/cm <sup>3</sup>       | 1.571         | 1.569           | 1.562         | <b>1.567</b>    |
| <b>Peso Unitario Compactado</b>      | <b>Kg/m<sup>3</sup></b> | <b>1570.9</b> | <b>1568.549</b> | <b>1561.8</b> | <b>1567.083</b> |

**Tabla 45***Porcentaje de agregado fino que pasa el Tamiz N°200*

| Descripción                               | Unid     | M - 1        | M - 2        | M - 3        | Promedio     |
|-------------------------------------------|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Peso seco de Muestra Original             | g        | 500          | 500          | 500          |              |
| Peso seco de la muestra lavada            | g        | 486.56       | 486.95       | 486.04       |              |
| Peso del Material que pasa el Tamiz N°200 | g        | 13.44        | 13.05        | 13.96        |              |
| <b>Material que Pasa el Tamiz N°200</b>   | <b>%</b> | <b>2.688</b> | <b>2.610</b> | <b>2.792</b> | <b>2.697</b> |

**Tabla 46**

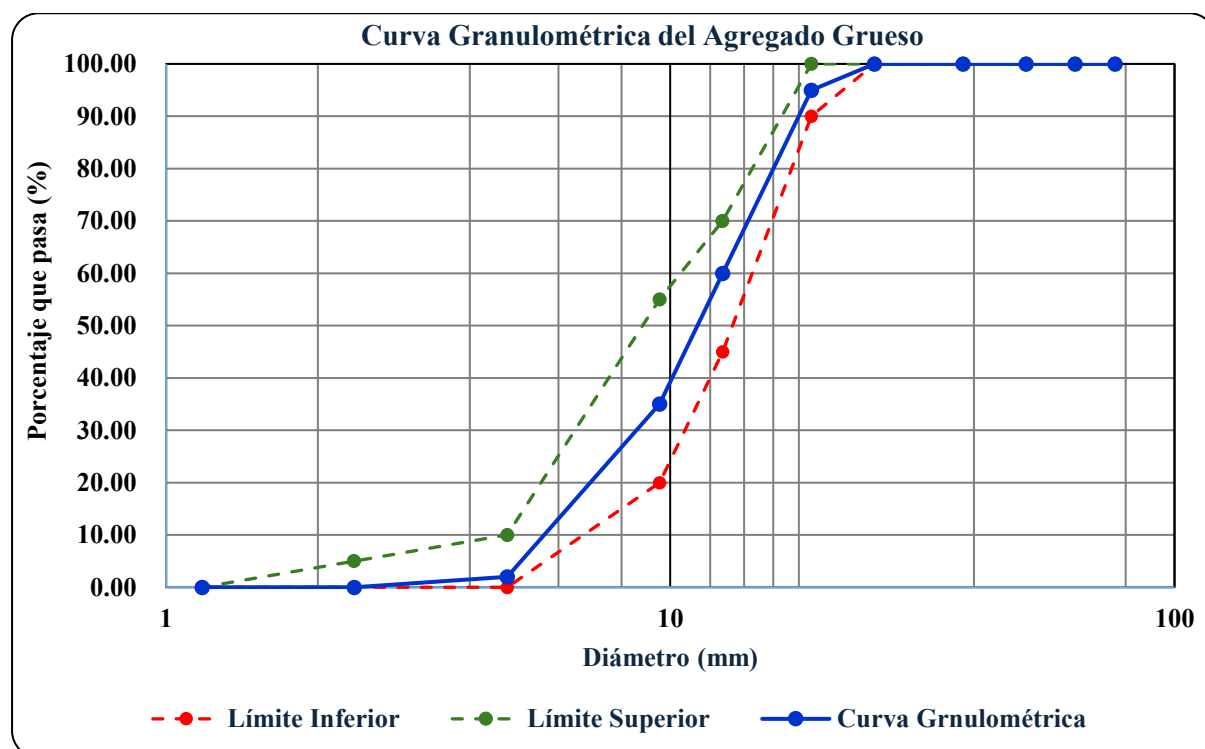
*Análisis granulométrico del Agregado Grueso*

| N.º Tamiz                          | Abertura (mm) | Peso Retenido Parcial | Peso Retenido Parcial | Peso Retenido Parcial | Peso Retenido Parcial |
|------------------------------------|---------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1"                                 | 25.40         | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                  | 100.00                |
| 3/4"                               | 19.05         | 784.00                | 9.80                  | 9.80                  | 95.00                 |
| 1/2"                               | 12.70         | 2655.00               | 33.19                 | 42.99                 | 60.00                 |
| 3/8"                               | 9.53          | 2573.00               | 32.36                 | 75.15                 | 35.00                 |
| Nº4                                | 4.75          | 1998.00               | 24.85                 | 100.00                | 2.00                  |
| Cazoleta                           | --            | 0.00                  | 0.00                  | 100.00                | 0.00                  |
| <b>TOTAL (g)</b>                   |               | <b>8000.00</b>        |                       |                       |                       |
| <b>Módulo de Finura (MF)</b>       |               |                       |                       | <b>6.850</b>          |                       |
| <b>Tamaño Máximo Nominal (TMN)</b> |               |                       |                       | <b>3/4"</b>           |                       |

Nota. El TMN se seleccionó para un porcentaje retenido entre 5 % y 15%, y un MF 6.865, cumpliendo con una gradación aceptable para concreto.

**Figura 19**

*Curva de distribución granulométrica del agregado grueso*



Nota. La curva de distribución granulométrica se graficó teniendo en cuenta el Huso Granulométrico 67 especificado en la Tabla 4 de la NTP 400.037 – 2021.

**APÉNDICE N°02. Determinación del Contenido de Aire en el Concreto fresco - Método de Presión (NTP 339.080) y Determinación del Peso Específico de Masa y Absorción del Gel de Sílice.**

**Tabla 47**

*Determinación del factor de Corrección del Agregado "G"*

| Descripción                                                  | Valor       | Unid     |
|--------------------------------------------------------------|-------------|----------|
| Volumen del Medidor Tipo B                                   | 6000        | mL       |
| Volumen de Agua Retirada                                     | 198.34      | mL       |
| Volumen de Agua Retirada (B)                                 | 3.31        | %        |
| Lectura Final de Manómetro (A <sub>1</sub> )                 | 3.5         | %        |
| <b>Factor de Corrección del Agregado (G=A<sub>1</sub>-B)</b> | <b>0.19</b> | <b>%</b> |

**Tabla 48**

*Determinación del Contenido de Aire del Concreto Fresco*

| Descripción                                                     | Valor       | Unid     |
|-----------------------------------------------------------------|-------------|----------|
| Lectura Inicial de Manómetro (P <sub>0</sub> )                  | 0.2         | %        |
| Lectura Final de Manómetro                                      | 2.4         | %        |
| Contenido Aparente de Aire de la Muestra (A)                    | 2.2         | %        |
| <b>Contenido de Aire de la Muestra Ensayada (A<sub>s</sub>)</b> | <b>2.01</b> | <b>%</b> |

**Tabla 49**

*Peso Específico y Absorción del Gel de Sílice*

| Descripción                                 | Unid.                   | M - 1         |
|---------------------------------------------|-------------------------|---------------|
| Peso de la fiola                            | g                       | 164.030       |
| Peso de la fiola + agua hasta el menisco    | g                       | 668.010       |
| Peso de la fiola + agua + gel de sílice     | g                       | 885.890       |
| Peso de la muestra superficialmente seca    | g                       | 500.000       |
| Peso de la muestra secada al horno          | g                       | 302.650       |
| Volumen de agua añadida al frasco           | g                       | 221.860       |
| <b>Peso Específico de Masa</b>              | <b>g/cm<sup>3</sup></b> | <b>1.088</b>  |
| <b>Absorción (hasta el estado saturado)</b> | <b>%</b>                | <b>65.207</b> |

**Nota.** Para Determinar el peso específico y absorción de hizo en condición saturado.



## APÉNDICE N.º 03. Procedimiento del Diseño de Mezclas del concreto de prueba

### DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO DE PRUEBA Método: Módulo de Fineza de La combinación de Agregados

#### I. Materiales

##### 1.- Cemento:

- Portland Pacasmayo Tipo I - A.S.T.M - C 150
- Peso específico de masa = 3.12 g/cm<sup>3</sup>

##### 2.- Agua:

- Agua Potable de la red Pública

##### 3.- Agregados:

Procedencia de los Agregados

- Agregado Fino Margarita - Chilete - Cajamarca
- Agregado Grueso Margarita - Chilete - Cajamarca

|                                 | Agregado Fino             | Agregado Grueso           |
|---------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| • Peso específico de masa       | 2.612 g/cm <sup>3</sup>   | 2.619 g/cm <sup>3</sup>   |
| • Peso específico SSS           | 2.651 g/cm <sup>3</sup>   | 2.652 g/cm <sup>3</sup>   |
| • Peso específico aparente      | 2.717 g/cm <sup>3</sup>   | 2.707 g/cm <sup>3</sup>   |
| • Peso unitario suelto seco     | 1695.10 Kg/m <sup>3</sup> | 1450.36 Kg/m <sup>3</sup> |
| • Peso unitario compactado seco | 1796.89 Kg/m <sup>3</sup> | 1567.08 Kg/m <sup>3</sup> |
| • Contenido de Humedad          | 6.539 %                   | 1.290 %                   |
| • Contenido de Absorción        | 1.488 %                   | 1.239 %                   |
| • % que pasan el Tamiz N° 200   | 2.697 %                   | 0.359 %                   |
| • Módulo de Finura              | 2.873                     | 6.850                     |
| • Tamaño Máximo Nominal         | ---                       | 3/4"                      |

#### II. Diseño de Mezcla

##### 1.- Determinación de la Resistencia Promedio $f'_{cr}$

De acuerdo con la tabla 17, para un concreto con un nivel de colocación bueno

- $f'_c = 280$  Kg/cm<sup>2</sup>
- $f'_{cr} = 336$  Kg/cm<sup>2</sup>

##### 2.- Selección del Tamaño Máximo Nominal (TMN) del Agregado

De acuerdo con el análisis granulométrico del Agregado grueso

- Perfil = Angular
- Tamaño Máximo Nominal = 3/4"

##### 3.- Selección del Asentamiento

Se diseñó para una consistencia plástica, según la Tabla 2.

- Asentamiento = 3" a 4"

#### 4.- Selección del Volumen Unitario de Agua

Para un asentamiento de 3" a 4" y TMN 3/4", de la Tabla 18

|                         |   |                      |
|-------------------------|---|----------------------|
| • Volumen Unitario Agua | = | 205 L/m <sup>3</sup> |
|-------------------------|---|----------------------|

#### 5.- Selección del Contenido de Aire

Para un TMN de 3/4", según la Tabla 19

|                   |   |       |
|-------------------|---|-------|
| • % Aire atrapado | = | 2.0 % |
|-------------------|---|-------|

#### 6.- Selección de la relación agua - cemento (a/c)

Seleccionamos la relación a/c por resistencia, de la Tabla 20

Para  $f'_{cr} = 336 \text{ Kg/cm}^2$  y sin aire incorporado

|       |   |       |
|-------|---|-------|
| • a/c | = | 0.500 |
|-------|---|-------|

#### 7.- Cálculo del Contenido de Cemento y Factor Cemento

|                            |   |         |
|----------------------------|---|---------|
| Una bolsa de Cemento Tiene | = | 42.5 Kg |
|----------------------------|---|---------|

|                        |   |                         |
|------------------------|---|-------------------------|
| • Contenido de Cemento | = | 410.3 Kg/m <sup>3</sup> |
|------------------------|---|-------------------------|

|                  |   |                            |
|------------------|---|----------------------------|
| • Factor Cemento | = | 9.65 bolsas/m <sup>3</sup> |
|------------------|---|----------------------------|

#### 8.- Cálculo del Volumen Absoluto de Pasta de Cemento

Volumen Absoluto de:

|           |   |                      |
|-----------|---|----------------------|
| • Cemento | = | 0.132 m <sup>3</sup> |
|-----------|---|----------------------|

|        |   |                      |
|--------|---|----------------------|
| • Agua | = | 0.205 m <sup>3</sup> |
|--------|---|----------------------|

|        |   |                      |
|--------|---|----------------------|
| • Aire | = | 0.020 m <sup>3</sup> |
|--------|---|----------------------|

|                            |   |                      |
|----------------------------|---|----------------------|
| Volumen. Absoluto de Pasta | = | 0.357 m <sup>3</sup> |
|----------------------------|---|----------------------|

#### 9.- Cálculo del Volumen Absoluto de los Agregados

|                              |   |                      |
|------------------------------|---|----------------------|
| • Volumen Absoluto Agregados | = | 0.643 m <sup>3</sup> |
|------------------------------|---|----------------------|

#### 10.- Cálculo del Porcentaje de Vacíos del Agregado Grueso

|                           |   |                           |
|---------------------------|---|---------------------------|
| Peso específico masa A.G. | = | 2619.11 Kg/m <sup>3</sup> |
|---------------------------|---|---------------------------|

|                               |   |                           |
|-------------------------------|---|---------------------------|
| Peso Unitario compactado A.G. | = | 1567.08 Kg/m <sup>3</sup> |
|-------------------------------|---|---------------------------|

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| • % Vacíos | = | 40.1673 % |
|------------|---|-----------|

#### 11.- Corrección del Porcentaje de Vacíos

La Tabla 21 muestra valores del módulo de finura para un 35% de vacíos

|                         |   |         |
|-------------------------|---|---------|
| • % Vacíos por corregir | = | 5.167 % |
|-------------------------|---|---------|

|                           |   |                                  |
|---------------------------|---|----------------------------------|
| se corrige en un valor de | = | $\pm 0.10$ por cada $\pm 5.00$ % |
|---------------------------|---|----------------------------------|

#### 12.- Cálculo del Módulo de Finura de la Combinación de Agregados ( $m_c$ )

Se determina de la Tabla 21 en función del:

|                       |   |      |
|-----------------------|---|------|
| Tamaño Máximo Nominal | = | 3/4" |
|-----------------------|---|------|

|                |   |                            |
|----------------|---|----------------------------|
| Factor Cemento | = | 9.65 bolsas/m <sup>3</sup> |
|----------------|---|----------------------------|

|         |   |       |
|---------|---|-------|
| • $m_c$ | = | 5.242 |
|---------|---|-------|

|                      |   |       |
|----------------------|---|-------|
| Factor de Corrección | = | 0.103 |
|----------------------|---|-------|

|                   |   |       |
|-------------------|---|-------|
| • $m_c$ corregido | = | 5.139 |
|-------------------|---|-------|

**13.- Cálculo del Porcentaje de influencia de los Agregado**

Conociendo los datos de módulo de finura de los agregados, obtenemos

- % Agregado Fino = 43.028 %
- % Agregado Grueso = 56.972 %

**14.- Cálculo de los Volúmenes Absolutos de los Agregados**

- Vol. Absoluto Agregado Fino = 0.277 m<sup>3</sup>
- Vol. Absoluto Agregado Grueso = 0.367 m<sup>3</sup>

**15.- Cálculo del Peso Seco de los Agregados**

- Peso seco del A. Fino = 723.127 Kg/m<sup>3</sup>
- Peso seco del A. Grueso = 971.733 Kg/m<sup>3</sup>

**16.- Valores de Diseño**

- Cemento = 410.3 Kg/m<sup>3</sup>
- Agua de diseño = 205 L/m<sup>3</sup>
- Agregado fino seco = 723.127 Kg/m<sup>3</sup>
- Agregado grueso seco = 971.733 Kg/m<sup>3</sup>

**17.- Corrección por Humedad de los Agregados**

- Peso húmedo del A. fino = 770.414 Kg/m<sup>3</sup>
- Peso húmedo del A. grueso = 984.267 Kg/m<sup>3</sup>

**18.- Cálculo de la Humedad Superficial de los Agregados**

Humedad superficial del:

- Agregado Fino = 5.051 %
- Agregado Grueso = 0.051 %

**19.- Aporte de Humedad de los Agregados**

Aporte de humedad del:

- Agregado Fino = 36.528 L/m<sup>3</sup>
- Agregado Grueso = 0.494 L/m<sup>3</sup>
- Aporte total de humedad = 

---

37.022 L/m<sup>3</sup>

**20.- Cálculo del Agua efectiva de mezclado**

- Agua efectiva = 167.978 L/m<sup>3</sup>

**21.- Materiales Corregidos por Humedad**

- Cemento = 410.3 Kg/m<sup>3</sup>
- Agua efectiva = 167.978 L/m<sup>3</sup>
- Agregado fino húmedo = 770.414 Kg/m<sup>3</sup>
- Agregado grueso húmedo = 984.267 Kg/m<sup>3</sup>

## 22.- Dosificación en Peso de Diseño

*Dosificación de diseño*

|                        |   |                 |
|------------------------|---|-----------------|
| • Cemento              | = | 1               |
| • Agregado fino seco   | = | 1.76            |
| • Agregado grueso seco | = | 2.37            |
| • Agua de diseño       | = | 21.23 (L/bolsa) |

## III. Dosificación en Peso Corregido por Humedad

|   |      |      |                 |
|---|------|------|-----------------|
| C | A.F. | A.G. | A. efectiva     |
| 1 | 1.88 | 2.40 | 17.40 (L/bolsa) |

## IV. Conversión de Dosificación de Peso a Volumen

### 1.- Cálculo del Peso Unitario Suelto Húmedo de los Agregados

Peso Unitario suelto del:

|                          |   |                           |
|--------------------------|---|---------------------------|
| • Agregado fino húmedo   | = | 1805.94 Kg/m <sup>3</sup> |
| • Agregado grueso húmedo | = | 1469.07 Kg/m <sup>3</sup> |

### 2.- Convertimos el Peso Unitario suelto Húmedo de kg/m<sup>3</sup> a kg/pie<sup>3</sup>

Peso Unitario suelto húmedo de:  $1\text{m}^3 = 35.315 \text{ pie}^3$

|                          |   |                           |
|--------------------------|---|---------------------------|
| • Agregado fino húmedo   | = | 51.14 Kg/pie <sup>3</sup> |
| • Agregado grueso húmedo | = | 41.60 Kg/pie <sup>3</sup> |

### 3.- Dosificación en Volumen

|                          |   |                  |
|--------------------------|---|------------------|
| • Cemento                | = | 1                |
| • Agregado fino húmedo   | = | 1.56             |
| • Agregado grueso húmedo | = | 2.45             |
| • Agua efectiva          | = | 17.40 (Lt/bolsa) |

## V. Dosificación en Volumen

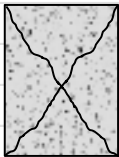
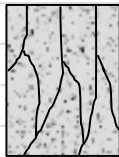
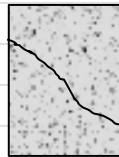
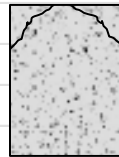
|   |      |      |                 |
|---|------|------|-----------------|
| C | A.F. | A.G. | A. efectiva     |
| 1 | 1.56 | 2.45 | 17.40 (L/bolsa) |

## VI. Dosificación por Tanda de 0.0545 m<sup>3</sup> (Rendimiento de la Mezcladora)

|                          |   |                       |
|--------------------------|---|-----------------------|
| • Tanda                  | = | 0.0545 m <sup>3</sup> |
| • Cemento                | = | 22362.89 g            |
| • Agregado fino húmedo   | = | 41987.55 g            |
| • Agregado grueso húmedo | = | 53642.52 g            |
| • Agua efectiva          | = | 9154.80 g             |

**APÉNDICE N°04. Resultados de Resistencia a Compresión del Concreto de Prueba y Corrección de la relación agua – cemento por la Ley de Powers.**

**I. Resultados de Resistencia a Compresión del Concreto de Prueba.**

| N.º DE TESTIGO                                                                                                                | 1                                                                                                                                                                            | 2                                                                                                  | 3                                                                                                                          | 4                                                                                                                               | 5                                                                                       | 6        |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------|
| Identificación                                                                                                                | P1                                                                                                                                                                           | P2                                                                                                 | P3                                                                                                                         | P4                                                                                                                              | P5                                                                                      | P6       |        |
| Fecha Fabricación                                                                                                             | 07/11/2025                                                                                                                                                                   |                                                                                                    |                                                                                                                            |                                                                                                                                 |                                                                                         |          |        |
| Fecha de Rotura                                                                                                               | 14/11/2025                                                                                                                                                                   |                                                                                                    |                                                                                                                            |                                                                                                                                 |                                                                                         |          |        |
| Edad (días)                                                                                                                   | 7                                                                                                                                                                            | 7                                                                                                  | 7                                                                                                                          | 7                                                                                                                               | 7                                                                                       | 7        |        |
| Diámetro (cm)                                                                                                                 | 15.17                                                                                                                                                                        | 15.16                                                                                              | 15.16                                                                                                                      | 15.16                                                                                                                           | 15.12                                                                                   | 15.16    |        |
| Altura (cm)                                                                                                                   | 30.29                                                                                                                                                                        | 30.18                                                                                              | 30.21                                                                                                                      | 30.22                                                                                                                           | 30.25                                                                                   | 30.17    |        |
| Sección Transversal (cm²)                                                                                                     | 180.62                                                                                                                                                                       | 180.50                                                                                             | 180.39                                                                                                                     | 180.50                                                                                                                          | 179.55                                                                                  | 180.50   |        |
| Volumen (cm³)                                                                                                                 | 5471.1                                                                                                                                                                       | 5447.6                                                                                             | 5449.4                                                                                                                     | 5454.8                                                                                                                          | 5431.5                                                                                  | 5445.8   |        |
| Peso (g)                                                                                                                      | 12516                                                                                                                                                                        | 12445                                                                                              | 12450                                                                                                                      | 12563                                                                                                                           | 12542                                                                                   | 12459    |        |
| Peso Unitario (kg/m³)                                                                                                         | 2287.66                                                                                                                                                                      | 2284.48                                                                                            | 2284.64                                                                                                                    | 2303.09                                                                                                                         | 2309.13                                                                                 | 2287.81  |        |
| Tipo de Falla (NTP 339.034)                                                                                                   | 2                                                                                                                                                                            | 2                                                                                                  | 3                                                                                                                          | 3                                                                                                                               | 2                                                                                       | 3        |        |
| Carga Máxima (kN)                                                                                                             | 605.98                                                                                                                                                                       | 601.58                                                                                             | 604.21                                                                                                                     | 602.25                                                                                                                          | 604.16                                                                                  | 602.78   |        |
| Carga Máxima (kg)                                                                                                             | 61792.27                                                                                                                                                                     | 61344.49                                                                                           | 61612.49                                                                                                                   | 61412.18                                                                                                                        | 61606.90                                                                                | 61466.87 |        |
| Resistencia de Diseño (kg/cm²)                                                                                                | 280                                                                                                                                                                          | 280                                                                                                | 280                                                                                                                        | 280                                                                                                                             | 280                                                                                     | 280      |        |
| Resistencia Otenida (kg/cm²)                                                                                                  | 342.11                                                                                                                                                                       | 339.85                                                                                             | 341.56                                                                                                                     | 340.23                                                                                                                          | 343.11                                                                                  | 340.53   |        |
| Porcentaje Otenido (%)                                                                                                        | 122.18%                                                                                                                                                                      | 121.38%                                                                                            | 121.99%                                                                                                                    | 121.51%                                                                                                                         | 122.54%                                                                                 | 121.62%  |        |
| Resistencia Promedio (kg/cm²)                                                                                                 | 341.23                                                                                                                                                                       |                                                                                                    |                                                                                                                            |                                                                                                                                 |                                                                                         |          |        |
| Resistencia Promedio (%)                                                                                                      | 121.87%                                                                                                                                                                      |                                                                                                    |                                                                                                                            |                                                                                                                                 |                                                                                         |          |        |
| Desviación Estándar (s)                                                                                                       | 1.25                                                                                                                                                                         |                                                                                                    |                                                                                                                            |                                                                                                                                 |                                                                                         |          |        |
| OBSERVACIONES:                                                                                                                |                                                                                                                                                                              |                                                                                                    |                                                                                                                            |                                                                                                                                 |                                                                                         |          |        |
| Los testigos se ensayaron con almohadillas elastoméricas, en la parte superior e inferior.                                    |                                                                                                                                                                              |                                                                                                    |                                                                                                                            |                                                                                                                                 |                                                                                         |          |        |
| Esquema de los patrones de tipos de fractura del Concreto (NTP 339.034 - 2021):                                               |                                                                                                                                                                              |                                                                                                    |                                                                                                                            |                                                                                                                                 |                                                                                         |          |        |
|                                            |                                                                                           |                 |                                         |                                            |    |          |        |
| <b>Tipo 1</b><br>Conos<br>razonablemente<br>bien formados, en<br>ambas bases,<br>menos de 25 mm<br>de grietas entre<br>capas. | <b>Tipo 2</b><br>Cono bien formado,<br>sobre una base,<br>desplazamiento de<br>grietas verticales a<br>través de las capas,<br>cono no bien definido<br>en las otras partes. | <b>Tipo 3</b><br>Grietas verticales<br>columnares en<br>ambas bases,<br>conos no bien<br>formados. | <b>Tipo 4</b><br>Fractura diagonal sin<br>grietas en las bases,<br>golpear con martillo<br>para diferenciar del<br>tipo 1. | <b>Tipo 5</b><br>Fracturas de lado en<br>las bases (superior o<br>inferior) ocurren<br>comúnmente con las<br>capas de embonado. | <b>Tipo 6</b><br>Similar al tipo 5<br>pero el terminal<br>del cilindro es<br>acentuado. |          |        |
| Valor de f'c Ideal Según ACI -209 (A-17)                                                                                      |                                                                                                                                                                              |                                                                                                    | Estimación de f'c=280kg/cm² en función de "t"                                                                              |                                                                                                                                 |                                                                                         |          |        |
| $f'_{(t)} = \left[ \frac{t}{a + bt} \right] * f'_{(28)}$<br>Dónde (*):<br><br>a = 4<br><br>b = 0.85<br><br>t = Edad (días)    |                                                                                                                                                                              |                                                                                                    | Edad                                                                                                                       | Resistencia (%)                                                                                                                 | Resistencia (kg/cm²)                                                                    |          |        |
|                                                                                                                               |                                                                                                                                                                              |                                                                                                    | Días                                                                                                                       | Mínimo                                                                                                                          | Ideal                                                                                   | Mínimo   | Ideal  |
|                                                                                                                               |                                                                                                                                                                              |                                                                                                    | 7.00                                                                                                                       | 55.00                                                                                                                           | 70.00                                                                                   | 154      | 196.00 |
|                                                                                                                               |                                                                                                                                                                              |                                                                                                    | 14.00                                                                                                                      | 70.00                                                                                                                           | 85.00                                                                                   | 196      | 238.00 |
| * Valores para Cemento Tipo I y curado                                                                                        |                                                                                                                                                                              |                                                                                                    | 21.00                                                                                                                      | 80.00                                                                                                                           | 95.00                                                                                   | 224      | 266.00 |
| en condición Húmedo                                                                                                           |                                                                                                                                                                              |                                                                                                    | 28.00                                                                                                                      | 100.00                                                                                                                          | 115.00                                                                                  | 280      | 322.00 |

## II. Reajuste y/o corrección de la relación agua – cemento del Concreto patrón.

Proyectamos la resistencia a los 28 días, que aumenta en mínimo 45% de  $f'_c$

- $f'_c (28 \text{ días}) = 341.123 + 0.45 \cdot 280 = 467.230 \text{ Kg/cm}^2$

### 1. Aplicando la Ley de Powers

$$S = 2380X^3, \text{ donde: } X = \frac{0.647 * \alpha}{0.319 * \alpha + a/c}$$

### 2. Datos de diseño del Concreto de Prueba

- $f'_c = 467.230 \text{ Kg/cm}^2$

- $a/c = 0.50$

### 3. Datos de diseño del Concreto de Patrón

- $f'_c = 280.000 \text{ Kg/cm}^2$

- $a/c = ??$

### 4. Cálculo de la Relación Gel Espacio y grado de hidratación del cemento

Para el concreto de prueba:

$$467.230 = 2380 * X^3$$

$$X = 0.581$$

$$0.581 = \frac{0.647\alpha}{0.319\alpha + 0.50}$$

$$\alpha = 0.629$$

### 5. Cálculo de la Relación a/c Para el Concreto Patrón

Para el concreto patrón:

$$280.000 = 2380 * X^3$$

$$X = 0.490$$

$$0.490 = \frac{0.647 * 0.629}{0.319 * 0.629 + a/c}$$

$$a/c = 0.630$$

Con esta nueva relación agua cemento (0.630), se diseñó el concreto patrón.

## APÉNDICE N.º 05. Procedimiento del Diseño de Mezclas del concreto Patrón

### DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO PATRÓN Método: Módulo de Fineza de La combinación de Agregados

#### I. Materiales

##### 1.- Cemento:

- Portland Pacasmayo Tipo I - A.S.T.M - C 150
- Peso específico de masa = 3.12 g/cm<sup>3</sup>

##### 2.- Agua:

- Agua Potable de la red Pública - Cajamarca

##### 3.- Agregados:

Procedencia de los Agregados

|                 |                                 |
|-----------------|---------------------------------|
| Agregado Fino   | Margarita - Chilete - Cajamarca |
| Agregado Grueso | Margarita - Chilete - Cajamarca |

|                                 | Agregado Fino             | Agregado Grueso           |
|---------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| • Peso específico de masa       | 2.612 g/cm <sup>3</sup>   | 2.619 g/cm <sup>3</sup>   |
| • Peso específico SSS           | 2.651 g/cm <sup>3</sup>   | 2.652 g/cm <sup>3</sup>   |
| • Peso específico aparente      | 2.717 g/cm <sup>3</sup>   | 2.707 g/cm <sup>3</sup>   |
| • Peso unitario suelto seco     | 1695.10 Kg/m <sup>3</sup> | 1450.36 Kg/m <sup>3</sup> |
| • Peso unitario compactado seco | 1796.89 Kg/m <sup>3</sup> | 1567.08 Kg/m <sup>3</sup> |
| • Contenido de Humedad          | 4.519 %                   | 1.413 %                   |
| • Contenido de Absorción        | 1.488 %                   | 1.239 %                   |
| • % que pasan el Tamiz N° 200   | 2.697 %                   | 0.359 %                   |
| • Módulo de Finura              | 2.873                     | 6.850                     |
| • Tamaño Máximo Nominal         | ---                       | 3/4"                      |

#### II. Diseño de Mezcla

##### 1.- Determinación de la Resistencia Promedio $f'_{cr}$

De acuerdo con la tabla 17, para un concreto con un nivel de colocación bueno

- $f'_c = 280$  Kg/cm<sup>2</sup>
- $f'_{cr} = 336$  Kg/cm<sup>2</sup>

##### 2.- Selección del Tamaño Máximo Nominal (TMN) del Agregado

De acuerdo con el análisis granulométrico del Agregado grueso

- Perfil angular
- Tamaño Máximo Nominal = 3/4"

##### 3.- Selección del Asentamiento

Se diseñó para una consistencia plástica, según la Tabla 2.

- Asentamiento = 3" a 4"

#### 4.- Selección del Volumen Unitario de Agua

Para un asentamiento de 3" a 4" y TMN 3/4", de la Tabla 18

• Volumen Unitario Agua = 205 L/m<sup>3</sup>

#### 5.- Selección del Contenido de Aire

Para un TMN de 3/4", según la Tabla 19

• % Aire atrapado = 2.0 %

#### 6.- Selección de la relación agua - cemento (a/c)

Seleccionamos la relación a/c por resistencia corregida por la ley de Powers

Para  $f'_{cr}$  = 336 Kg/cm<sup>2</sup> y sin aire incorporado

• a/c = 0.630

#### 7.- Cálculo del Contenido de Cemento y Factor Cemento

Una bolsa de Cemento = 42.5 Kg

• Contenido de Cemento = 325.4 Kg/m<sup>3</sup>

• Factor Cemento = 7.66 bolsas/m<sup>3</sup>

#### 8.- Cálculo del Volumen Absoluto de Pasta de Cemento

Volumen Absoluto de:

• Cemento = 0.104 m<sup>3</sup>

• Agua = 0.205 m<sup>3</sup>

• Aire = 0.020 m<sup>3</sup>

Volumen. Absoluto de Pasta = 0.329 m<sup>3</sup>

#### 9.- Cálculo del Volumen Absoluto de los Agregados

• Volumen. Absoluto Pasta = 0.329 m<sup>3</sup>

• Volumen Absoluto Agregados = 0.671 m<sup>3</sup>

#### 10.- Cálculo del Porcentaje de Vacíos del Agregado Grueso

Peso específico masa A.G. = 2619.11 Kg/m<sup>3</sup>

Peso Unitario compactado A.G. = 1567.08 Kg/m<sup>3</sup>

• % Vacíos = 40.1673 %

#### 11.- Corrección del Porcentaje de Vacíos

La Tabla 21 muestra valores del módulo de finura para un 35% de vacíos

• % Vacíos por corregir = 5.167 %

se corrige en un valor de =  $\pm 0.10$  por cada  $\pm 5.00$  %

#### 12.- Cálculo del Módulo de Finura de la Combinación de Agregados ( $m_c$ )

Se determina de la Tabla 21 en función del:

Tamaño Máximo Nominal = 3/4"

Factor Cemento = 7.66 bolsas/m<sup>3</sup>

•  $m_c$  = 5.0638

Factor de Corrección = 0.103



- $m_c$  corregido = 4.960

### 13.- Cálculo del Porcentaje de influencia de los Agregado

Conociendo los datos de módulo de finura de los agregados, obtenemos

- % Agregado Fino = 47.509 %
- % Agregado Grueso = 52.491 %

### 14.- Cálculo de los Volúmenes Absolutos de los Agregados

- Vol. Absoluto Agregado Fino = 0.319 m<sup>3</sup>
- Vol. Absoluto Agregado Fino = 0.352 m<sup>3</sup>

### 15.- Cálculo del Peso Seco de los Agregados

- Peso seco del A. Fino = 832.209 Kg/m<sup>3</sup>
- Peso seco del A. Grueso = 933.149 Kg/m<sup>3</sup>

### 16.- Valores de Diseño

- Cemento = 325.4 Kg/m<sup>3</sup>
- Agua de diseño = 205 Lt/m<sup>3</sup>
- Agregado fino seco = 832.209 Kg/m<sup>3</sup>
- Agregado grueso seco = 933.149 Kg/m<sup>3</sup>

### 17.- Corrección por Humedad de los Agregados

- Peso húmedo del A. fino = 869.817 Kg/m<sup>3</sup>
- Peso húmedo del A. grueso = 946.333 Kg/m<sup>3</sup>

### 18.- Cálculo de la Humedad Superficial de los Agregados

Humedad superficial del:

- Agregado Fino = 3.031 %
- Agregado Grueso = 0.174 %

### 19.- Aporte de Humedad de los Agregados

Aporte de humedad del:

- Agregado Fino = 25.226 L/m<sup>3</sup>
- Agregado Grueso = 1.623 L/m<sup>3</sup>
- Aporte total de humedad = 26.849 L/m<sup>3</sup>

### 20.- Cálculo del Agua efectiva de mezclado

- Agua efectiva = 178.151 L/m<sup>3</sup>

### 21.- Materiales Corregidos por Humedad

- Cemento = 325.4 Kg/m<sup>3</sup>
- Agua efectiva = 178.151 L/m<sup>3</sup>
- Agregado fino húmedo = 869.817 Kg/m<sup>3</sup>
- Agregado grueso húmedo = 946.333 Kg/m<sup>3</sup>

## 22.- Dosificación en Peso de Diseño y Corregidos por humedad

### *Dosificación de diseño*

|                        |   |                  |
|------------------------|---|------------------|
| • Cemento              | = | 1                |
| • Agregado fino seco   | = | 2.56             |
| • Agregado grueso seco | = | 2.87             |
| • Agua de diseño       | = | 26.77 (Lt/bolsa) |

## III. Dosificación en Peso

|   |      |      |                  |
|---|------|------|------------------|
| C | A.F. | A.G. | A. efectiva      |
| 1 | 2.67 | 2.91 | 23.27 (Lt/bolsa) |

## IV. Conversión de Dosificación de Peso a Volumen

### 1.- Cálculo del Peso Unitario Suelto Húmedo de los Agregados

Peso Unitario suelto del:

|                          |   |                           |
|--------------------------|---|---------------------------|
| • Agregado fino húmedo   | = | 1771.70 Kg/m <sup>3</sup> |
| • Agregado grueso húmedo | = | 1470.85 Kg/m <sup>3</sup> |

### 2.- Convertimos el Peso Unitario suelto Húmedo de kg/m<sup>3</sup> a kg/pie<sup>3</sup>

Peso Unitario suelto húmedo de:  $1\text{m}^3 = 35.315 \text{ pie}^3$

|                          |   |                           |
|--------------------------|---|---------------------------|
| • Agregado fino húmedo   | = | 50.17 Kg/pie <sup>3</sup> |
| • Agregado grueso húmedo | = | 41.65 Kg/pie <sup>3</sup> |

### 3.- Dosificación en Volumen

|                          |   |                  |
|--------------------------|---|------------------|
| • Cemento                | = | 1                |
| • Agregado fino húmedo   | = | 2.26             |
| • Agregado grueso húmedo | = | 2.97             |
| • Agua efectiva          | = | 23.27 (Lt/bolsa) |

## V. Dosificación en Volumen

|   |      |      |                  |
|---|------|------|------------------|
| C | A.F. | A.G. | A. efectiva      |
| 1 | 2.26 | 2.97 | 23.27 (Lt/bolsa) |

## VI. Dosificación por Tanda de 0.0545 m<sup>3</sup>

|                          |   |                        |
|--------------------------|---|------------------------|
| • Tanda                  | = | 0.05450 m <sup>3</sup> |
| • Cemento                | = | 17736.26 g             |
| • Agregado fino húmedo   | = | 47405.00 g             |
| • Agregado grueso húmedo | = | 51575.16 g             |
| • Agua efectiva          | = | 9709.23 g              |

## DOSIFICACIONES PARA EL CONCRETO ADICIONADO

### 1. Criterio de Adición

$$P_{GS} = C * \% \text{ adición}$$

$S_g$  = Peso de Gel de Sílice para adicionar (kg).

$C$  = Peso del cemento del diseño patrón (kg).

$\%$  adición = Porcentajes de Gel de Sílice (1.0%, 1.5% y 3.0%)

### 2. Dosificación por m³ Corregido Humedad

| Material        | Patrón  | Adicionado |         |         | Unidad |
|-----------------|---------|------------|---------|---------|--------|
| % Gel de Sílice | 0.0%    | 1.0%       | 1.5%    | 3.0%    |        |
| Cemento         | 325.436 | 325.436    | 325.436 | 325.436 | Kg     |
| Agregado Fino   | 869.817 | 869.817    | 869.817 | 869.817 | Kg     |
| Agregado Grueso | 946.333 | 946.333    | 946.333 | 946.333 | Kg     |
| Agua            | 178.151 | 178.151    | 178.151 | 178.151 | L      |
| Gel de Sílice   | 0.000   | 3.254      | 6.509   | 13.017  | Kg     |

### 3. Dosificación en Peso Corregido Por Humedad

| Material        | Patrón | Adicionado |        |         | Unidad  |
|-----------------|--------|------------|--------|---------|---------|
| % Gel de Sílice | 0.0%   | 1.0%       | 1.5%   | 3.0%    |         |
| Cemento         | 1.00   | 1.00       | 1.00   | 1.00    |         |
| Agregado Fino   | 2.67   | 2.67       | 2.67   | 2.67    |         |
| Agregado Grueso | 2.91   | 2.91       | 2.91   | 2.91    |         |
| Agua Efectiva   | 23.27  | 23.27      | 23.27  | 23.27   | L/bolsa |
| Gel de Sílice   | 0.00   | 425.00     | 637.50 | 1275.00 | g/bolsa |

### 4. Dosificación en Volumen Corregido por Humedad

| Material        | Patrón | Adicionado |        |         | Unidad  |
|-----------------|--------|------------|--------|---------|---------|
| % Gel de Sílice | 0.0%   | 1.0%       | 1.5%   | 3.0%    |         |
| Cemento         | 1.00   | 1.00       | 1.00   | 1.00    |         |
| Agregado Fino   | 2.26   | 2.26       | 2.26   | 2.26    |         |
| Agregado Grueso | 2.97   | 2.97       | 2.97   | 2.97    |         |
| Agua Efectiva   | 23.27  | 23.27      | 23.27  | 23.27   | L/bolsa |
| Gel de Sílice   | 0.00   | 425.00     | 637.50 | 1275.00 | g/bolsa |

### 5. Dosificación por Tanda de 0.0545 m³

| Material        | Patrón   | Adicionado |          |          | Unidad |
|-----------------|----------|------------|----------|----------|--------|
| % Gel de Sílice | 0.0%     | 1.0%       | 1.5%     | 3.0%     |        |
| Cemento         | 17736.26 | 17736.26   | 17736.26 | 17736.26 | g      |
| Agregado Fino   | 47405.00 | 47405.00   | 47405.00 | 47405.00 | g      |
| Agregado Grueso | 51575.16 | 51575.16   | 51575.16 | 51575.16 | g      |
| Agua Efectiva   | 9709.23  | 9709.23    | 9709.23  | 9709.23  | g      |
| Gel de Sílice   | 0.00     | 177.36     | 266.04   | 532.09   | g      |

**APÉNDICE N.º 06. Resultados del Control de Calidad y propiedades físicas del Concreto en estado Fresco (Patrón y con Adición de 1.0%, 1.5% y 3.05 de Gel de Sílice).**

**Tabla 50**

*Resultados del Control de Asentamiento del Concreto Fresco.*

| Tipo de Concreto                       | Resultados (pulgadas) |       |       | Promedio (pulg) |
|----------------------------------------|-----------------------|-------|-------|-----------------|
|                                        | S1                    | S2    | S3    |                 |
| Patrón ( $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ ) | 3.50"                 | 3.45" | 3.25" | 3.50"           |
| Con 1.0% Gel de Sílice                 | 3.75"                 | 3.50" | 3.55" | 3.53"           |
| Con 1.5% Gel de Sílice                 | 3.50"                 | 3.50" | 3.25" | 3.50"           |
| Con 2.0% Gel de Sílice                 | 3.75"                 | 3.50" | 3.50" | 3.58"           |

Nota. Se realizó en ensayo según la NTP 339.035 para una consistencia plástica

**Tabla 51**

*Resultados del Control de Temperatura del Concreto Fresco.*

| Tipo de Concreto                       | Resultados |        |        | Promedio |
|----------------------------------------|------------|--------|--------|----------|
|                                        | T1         | T2     | T3     |          |
| Patrón ( $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ ) | 24.64°     | 24.63° | 24.64° | 24.64°   |
| Con 1.0% Gel de Sílice                 | 22.10°     | 22.20° | 22.20° | 22.17°   |
| Con 1.5% Gel de Sílice                 | 21.20°     | 21.30° | 21.20° | 21.23°   |
| Con 2.0% Gel de Sílice                 | 20.90°     | 20.80° | 20.80° | 20.83°   |

Nota. El control de temperatura del concreto se realizó según la NTP 339.184

**Tabla 52**

*Resultados del Contenido de Aire Atrapado del Concreto Fresco.*

| Tipo de Concreto                       | Resultados (%) |      |      | Promedio. (%) |
|----------------------------------------|----------------|------|------|---------------|
|                                        | A1             | A2   | A3   |               |
| Patrón ( $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ ) | 2.01           | 2.02 | 2.00 | 2.01          |
| Con 1.0% Gel de Sílice                 | 2.00           | 2.01 | 2.00 | 2.00          |
| Con 1.5% Gel de Sílice                 | 2.03           | 2.01 | 2.00 | 2.01          |
| Con 2.0% Gel de Sílice                 | 2.00           | 2.02 | 2.03 | 2.02          |

Nota. El ensayo se realizó según la NTP 339.083 por el Método de Presión

**APÉNDICE N.º 7. Resultados del Peso Volumétrico o Peso Unitario del Concreto Patrón y con Adición de 1.0%, 1.5% y 3.0% de Gel de Sílice en Estado Fresco.**

**Tabla 53**

*Peso Volumétrico del Concreto Fresco Patrón y con % de Gel de Sílice*

| <b>Concreto Patrón<br/>(f'c = 280 Kg/cm²)</b> |                       |                       | <b>Concreto con1.0%<br/>de Gel de Sílice</b> |                       |                       | <b>Concreto con1.5%<br/>de Gel de Sílice</b> |                       |                       | <b>Concreto con3.0%<br/>de Gel de Sílice</b> |                       |                       |
|-----------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>Peso<br/>(g)</b>                           | <b>Vol.<br/>(cm³)</b> | <b>PU<br/>(g/cm³)</b> | <b>Peso<br/>(g)</b>                          | <b>Vol.<br/>(cm³)</b> | <b>PU<br/>(g/cm³)</b> | <b>Peso<br/>(g)</b>                          | <b>Vol.<br/>(cm³)</b> | <b>PU<br/>(g/cm³)</b> | <b>Peso<br/>(g)</b>                          | <b>Vol.<br/>(cm³)</b> | <b>PU<br/>(g/cm³)</b> |
| 12476                                         | 5326                  | 2.342                 | 12504                                        | 5407                  | 2.313                 | 12403                                        | 5375                  | 2.307                 | 12598                                        | 5376                  | 2.343                 |
| 12527                                         | 5410                  | 2.315                 | 12511                                        | 5409                  | 2.313                 | 12389                                        | 5406                  | 2.292                 | 12362                                        | 5342                  | 2.314                 |
| 12480                                         | 5409                  | 2.307                 | 12413                                        | 5324                  | 2.331                 | 12517                                        | 5445                  | 2.299                 | 12448                                        | 5366                  | 2.320                 |
| 12532                                         | 5313                  | 2.359                 | 12453                                        | 5432                  | 2.293                 | 12270                                        | 5332                  | 2.301                 | 12470                                        | 5476                  | 2.277                 |
| 12549                                         | 5406                  | 2.321                 | 12569                                        | 5348                  | 2.350                 | 12318                                        | 5407                  | 2.278                 | 12471                                        | 5365                  | 2.324                 |
| 12483                                         | 5445                  | 2.292                 | 12376                                        | 5431                  | 2.279                 | 12387                                        | 5480                  | 2.260                 | 12410                                        | 5485                  | 2.262                 |
| 12494                                         | 5334                  | 2.342                 | 12529                                        | 5457                  | 2.296                 | 12392                                        | 5333                  | 2.324                 | 12522                                        | 5530                  | 2.265                 |
| 12629                                         | 5420                  | 2.330                 | 12538                                        | 5401                  | 2.321                 | 12390                                        | 5421                  | 2.286                 | 12556                                        | 5437                  | 2.309                 |
| 12478                                         | 5410                  | 2.306                 | 12378                                        | 5394                  | 2.295                 | 12540                                        | 5408                  | 2.319                 | 12368                                        | 5394                  | 2.293                 |
| 12545                                         | 5286                  | 2.373                 | 12530                                        | 5367                  | 2.335                 | 12351                                        | 5305                  | 2.328                 | 12614                                        | 5403                  | 2.335                 |
| 12466                                         | 5317                  | 2.344                 | 12520                                        | 5452                  | 2.296                 | 12474                                        | 5324                  | 2.343                 | 12615                                        | 5488                  | 2.299                 |
| 12718                                         | 5365                  | 2.371                 | 12577                                        | 5333                  | 2.358                 | 12263                                        | 5374                  | 2.282                 | 12605                                        | 5404                  | 2.332                 |
| 12649                                         | 5354                  | 2.363                 | 12486                                        | 5344                  | 2.337                 | 12460                                        | 5350                  | 2.329                 | 12634                                        | 5397                  | 2.341                 |
| 12590                                         | 5419                  | 2.323                 | 12423                                        | 5451                  | 2.279                 | 12550                                        | 5419                  | 2.316                 | 12475                                        | 5487                  | 2.274                 |
| 12624                                         | 5454                  | 2.315                 | 12487                                        | 5377                  | 2.322                 | 12380                                        | 5491                  | 2.255                 | 12548                                        | 5377                  | 2.334                 |
| 12645                                         | 5368                  | 2.356                 | 12605                                        | 5396                  | 2.336                 | 12472                                        | 5368                  | 2.323                 | 12544                                        | 5396                  | 2.325                 |
| 12580                                         | 5361                  | 2.347                 | 12415                                        | 5412                  | 2.294                 | 12424                                        | 5356                  | 2.320                 | 12794                                        | 5484                  | 2.333                 |
| 12526                                         | 5388                  | 2.325                 | 12568                                        | 5367                  | 2.342                 | 12447                                        | 5406                  | 2.302                 | 12566                                        | 5491                  | 2.288                 |
| <b>P.U (g/cm³): 2.335</b>                     |                       |                       | <b>P.U (g/cm³): 2.316</b>                    |                       |                       | <b>P.U (g/cm³): 2.304</b>                    |                       |                       | <b>P.U (g/cm³): 2.309</b>                    |                       |                       |
| <b>P.U (Kg/m³): 2335.1</b>                    |                       |                       | <b>P.U (Kg/m³): 2316.1</b>                   |                       |                       | <b>P.U (kg/m³): 2303.5</b>                   |                       |                       | <b>P.U (kg/m³): 2309.4</b>                   |                       |                       |

**APÉNDICE N.º 08. Resultados del Peso Unitario del Concreto Patrón y con Adición de 1.0%, 1.5% y 3.0% de Gel de Sílice en Estado Endurecido.**

**I PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO PATRÓN**

**Tabla 54**

*Peso Volumétrico del Concreto Patrón a los 7 días.*

| Nº Muestra                               | Ø Sup. (cm) | Ø Inf. (cm) | Ø Prom. (cm) | Área (cm²) | Altura (cm) | Vol. (cm³) | Peso Cº (g) | P.U. (Kg/m²)   |
|------------------------------------------|-------------|-------------|--------------|------------|-------------|------------|-------------|----------------|
| PP-01                                    | 15.11       | 15.11       | 15.11        | 179.32     | 30.29       | 5431.48    | 12510       | 2303.24        |
| PP-02                                    | 14.96       | 15.06       | 15.01        | 176.95     | 30.33       | 5366.90    | 12400       | 2310.46        |
| PP-03                                    | 15.07       | 15.05       | 15.06        | 178.13     | 30.14       | 5368.87    | 12550       | 2337.55        |
| PP-04                                    | 15.05       | 15.03       | 15.04        | 177.66     | 30.27       | 5377.72    | 12600       | 2343.00        |
| PP-05                                    | 15.06       | 15.18       | 15.12        | 179.55     | 30.29       | 5438.67    | 12540       | 2305.71        |
| PP-06                                    | 15.11       | 14.94       | 15.03        | 177.30     | 30.26       | 5365.22    | 12490       | 2327.96        |
| <b>Peso Volumétrico Promedio (Kg/m³)</b> |             |             |              |            |             |            |             | <b>2321.32</b> |

**Tabla 55**

*Peso Volumétrico del Concreto Patrón a los 14 días.*

| Nº Muestra                               | Ø Sup. (cm) | Ø Inf. (cm) | Ø Prom. (cm) | Área (cm²) | Altura (cm) | Vol. (cm³) | Peso Cº (g) | P.U. (Kg/m²)   |
|------------------------------------------|-------------|-------------|--------------|------------|-------------|------------|-------------|----------------|
| PP-07                                    | 15.07       | 15.04       | 15.06        | 178.01     | 30.40       | 5411.59    | 12547       | 2318.54        |
| PP-08                                    | 15.12       | 15.24       | 15.18        | 180.98     | 30.22       | 5469.25    | 12443       | 2275.08        |
| PP-09                                    | 15.12       | 15.08       | 15.10        | 179.08     | 30.28       | 5422.50    | 12519       | 2308.71        |
| PP-10                                    | 15.12       | 15.11       | 15.12        | 179.43     | 30.16       | 5411.75    | 12494       | 2308.68        |
| PP-11                                    | 14.95       | 14.92       | 14.94        | 175.19     | 30.42       | 5329.17    | 12366       | 2320.44        |
| PP-12                                    | 15.07       | 15.10       | 15.09        | 178.72     | 30.15       | 5388.50    | 12439       | 2308.43        |
| <b>Peso Volumétrico Promedio (Kg/m³)</b> |             |             |              |            |             |            |             | <b>2306.65</b> |

**Tabla 56**

*Peso Volumétrico del Concreto Patrón a los 28 días.*

| Nº Muestra                               | Ø Sup. (cm) | Ø Inf. (cm) | Ø Prom. (cm) | Área (cm²) | Altura (cm) | Vol. (cm³) | Peso Cº (g) | P.U. (Kg/m²)   |
|------------------------------------------|-------------|-------------|--------------|------------|-------------|------------|-------------|----------------|
| PP-13                                    | 15.07       | 15.05       | 15.06        | 178.13     | 30.11       | 5363.53    | 12435       | 2318.44        |
| PP-14                                    | 15.11       | 15.08       | 15.10        | 178.96     | 30.21       | 5406.38    | 13667       | 2527.94        |
| PP-15                                    | 15.04       | 15.00       | 15.02        | 177.19     | 30.14       | 5340.39    | 12377       | 2317.62        |
| PP-16                                    | 15.21       | 15.11       | 15.16        | 180.50     | 30.35       | 5478.31    | 12404       | 2264.20        |
| PP-17                                    | 15.28       | 15.13       | 15.21        | 181.58     | 30.18       | 5480.02    | 12395       | 2261.85        |
| PP-18                                    | 15.28       | 15.12       | 15.20        | 181.46     | 30.10       | 5461.90    | 12347       | 2260.57        |
| <b>Peso Volumétrico Promedio (Kg/m³)</b> |             |             |              |            |             |            |             | <b>2325.10</b> |

## II PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO CON 1.0% DE GEL SE SÍLICE

**Tabla 57**

*Peso Volumétrico del Concreto Con 1.0% de Gel de Sílice a los 7 días.*

| Nº Muestra                               | Ø Sup. (cm) | Ø Inf. (cm) | Ø Prom. (cm) | Área (cm²) | Altura (cm) | Vol. (cm³) | Peso Cº (g) | P.U. (Kg/m²)   |
|------------------------------------------|-------------|-------------|--------------|------------|-------------|------------|-------------|----------------|
| PG1-01                                   | 15.15       | 15.05       | 15.10        | 179.08     | 30.52       | 5465.48    | 12410       | 2270.61        |
| PG1-02                                   | 15.16       | 15.13       | 15.15        | 180.15     | 30.39       | 5474.69    | 12420       | 2268.62        |
| PG1-03                                   | 15.01       | 14.94       | 14.98        | 176.13     | 30.43       | 5359.52    | 12370       | 2308.04        |
| PG1-04                                   | 15.08       | 15.01       | 15.05        | 177.78     | 30.43       | 5409.74    | 12340       | 2281.07        |
| PG1-05                                   | 14.89       | 14.98       | 14.94        | 175.19     | 30.42       | 5329.17    | 12300       | 2308.05        |
| PG1-06                                   | 14.87       | 14.99       | 14.93        | 175.07     | 30.49       | 5337.86    | 12290       | 2302.42        |
| <b>Peso Volumétrico Promedio (Kg/m³)</b> |             |             |              |            |             |            |             | <b>2289.80</b> |

**Tabla 58**

*Peso Volumétrico del Concreto Con 1.0% de Gel de Sílice a los 14 días.*

| Nº Muestra                               | Ø Sup. (cm) | Ø Inf. (cm) | Ø Prom. (cm) | Área (cm²) | Altura (cm) | Vol. (cm³) | Peso Cº (g) | P.U. (Kg/m²)   |
|------------------------------------------|-------------|-------------|--------------|------------|-------------|------------|-------------|----------------|
| PG1-07                                   | 15.08       | 15.11       | 15.10        | 178.96     | 30.45       | 5449.33    | 12389       | 2273.49        |
| PG1-08                                   | 15.07       | 15.10       | 15.09        | 178.72     | 30.41       | 5434.97    | 12309       | 2264.78        |
| PG1-09                                   | 15.03       | 15.06       | 15.05        | 177.78     | 30.40       | 5404.40    | 12414       | 2297.02        |
| PG1-10                                   | 15.03       | 15.10       | 15.07        | 178.25     | 30.51       | 5438.39    | 12385       | 2277.33        |
| PG1-11                                   | 15.02       | 15.05       | 15.04        | 177.54     | 30.55       | 5423.85    | 12420       | 2289.88        |
| PG1-12                                   | 15.16       | 15.08       | 15.12        | 179.55     | 30.32       | 5444.06    | 12424       | 2282.12        |
| <b>Peso Volumétrico Promedio (Kg/m³)</b> |             |             |              |            |             |            |             | <b>2280.77</b> |

**Tabla 59**

*Peso Volumétrico del Concreto Con 1.0% de Gel de Sílice a los 28 días.*

| Nº Muestra                               | Ø Sup. (cm) | Ø Inf. (cm) | Ø Prom. (cm) | Área (cm²) | Altura (cm) | Vol. (cm³) | Peso Cº (g) | P.U. (Kg/m²)   |
|------------------------------------------|-------------|-------------|--------------|------------|-------------|------------|-------------|----------------|
| PG1-13                                   | 15.03       | 15.00       | 15.02        | 177.07     | 30.49       | 5398.81    | 12335       | 2284.76        |
| PG1-14                                   | 15.28       | 15.11       | 15.20        | 181.34     | 30.45       | 5521.77    | 12390       | 2243.84        |
| PG1-15                                   | 15.26       | 15.12       | 15.19        | 181.22     | 30.67       | 5558.01    | 12400       | 2231.01        |
| PG1-16                                   | 15.15       | 15.08       | 15.12        | 179.43     | 30.75       | 5517.61    | 12380       | 2243.72        |
| PG1-17                                   | 14.78       | 15.00       | 14.89        | 174.13     | 30.16       | 5251.83    | 12197       | 2322.43        |
| PG1-18                                   | 15.03       | 15.01       | 15.02        | 177.19     | 30.31       | 5370.51    | 12292       | 2288.79        |
| <b>Peso Volumétrico Promedio (Kg/m³)</b> |             |             |              |            |             |            |             | <b>2269.09</b> |

### III. PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO CON 1.5% DE GEL SE SÍLICE

**Tabla 60**

*Peso Volumétrico del Concreto Con 1.5% de Gel de Sílice a los 7 días.*

| Nº Muestra                                          | Ø Sup. (cm) | Ø Inf. (cm) | Ø Prom. (cm) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Altura (cm) | Vol. (cm <sup>3</sup> ) | Peso Cº (g) | P.U. (Kg/m <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------------------------------|-------------|-------------|--------------|-------------------------|-------------|-------------------------|-------------|---------------------------|
| PG2-01                                              | 14.95       | 15.01       | 14.98        | 176.24                  | 30.27       | 5334.90                 | 12187       | 2284.39                   |
| PG2-02                                              | 15.12       | 15.13       | 15.13        | 179.67                  | 30.15       | 5417.11                 | 12268       | 2264.67                   |
| PG2-03                                              | 15.19       | 15.15       | 15.17        | 180.74                  | 30.46       | 5505.43                 | 12379       | 2248.51                   |
| PG2-04                                              | 15.03       | 15.07       | 15.05        | 177.89                  | 30.20       | 5372.42                 | 12287       | 2287.05                   |
| PG2-05                                              | 15.06       | 15.05       | 15.06        | 178.01                  | 30.25       | 5384.89                 | 12126       | 2251.86                   |
| PG2-06                                              | 14.75       | 15.02       | 14.89        | 174.02                  | 30.34       | 5279.63                 | 12232       | 2316.83                   |
| <b>Peso Volumétrico Promedio (Kg/m<sup>3</sup>)</b> |             |             |              |                         |             |                         |             | <b>2275.55</b>            |

**Tabla 61**

*Peso Volumétrico del Concreto Con 1.5% de Gel de Sílice a los 14 días.*

| Nº Muestra                                          | Ø Sup. (cm) | Ø Inf. (cm) | Ø Prom. (cm) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Altura (cm) | Vol. (cm <sup>3</sup> ) | Peso Cº (g) | P.U. (Kg/m <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------------------------------|-------------|-------------|--------------|-------------------------|-------------|-------------------------|-------------|---------------------------|
| PG2-07                                              | 15.19       | 15.14       | 15.17        | 180.62                  | 30.12       | 5440.39                 | 12264       | 2254.25                   |
| PG2-08                                              | 15.21       | 15.13       | 15.17        | 180.74                  | 30.43       | 5500.00                 | 12238       | 2225.09                   |
| PG2-09                                              | 15.26       | 15.18       | 15.22        | 181.94                  | 30.41       | 5532.68                 | 12254       | 2214.84                   |
| PG2-10                                              | 15.16       | 15.12       | 15.14        | 180.03                  | 30.28       | 5451.27                 | 12247       | 2246.63                   |
| PG2-11                                              | 15.23       | 15.19       | 15.21        | 181.70                  | 30.35       | 5514.51                 | 12279       | 2226.67                   |
| PG2-12                                              | 15.00       | 15.02       | 15.01        | 176.95                  | 30.26       | 5354.52                 | 12281       | 2293.58                   |
| <b>Peso Volumétrico Promedio (Kg/m<sup>3</sup>)</b> |             |             |              |                         |             |                         |             | <b>2243.51</b>            |

**Tabla 62**

*Peso Volumétrico del Concreto Con 1.5% de Gel de Sílice a los 24 días.*

| Nº Muestra                                          | Ø Sup. (cm) | Ø Inf. (cm) | Ø Prom. (cm) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Altura (cm) | Vol. (cm <sup>3</sup> ) | Peso Cº (g) | P.U. (Kg/m <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------------------------------|-------------|-------------|--------------|-------------------------|-------------|-------------------------|-------------|---------------------------|
| PG2-13                                              | 14.97       | 14.98       | 14.98        | 176.13                  | 30.46       | 5364.80                 | 12200       | 2274.08                   |
| PG2-14                                              | 14.92       | 15.00       | 14.96        | 175.77                  | 30.28       | 5322.42                 | 12240       | 2299.71                   |
| PG2-15                                              | 15.14       | 15.13       | 15.14        | 179.91                  | 30.68       | 5519.63                 | 12018       | 2177.32                   |
| PG2-16                                              | 15.17       | 15.19       | 15.18        | 180.98                  | 30.63       | 5543.45                 | 12130       | 2188.17                   |
| PG2-17                                              | 15.03       | 15.06       | 15.05        | 177.78                  | 30.31       | 5388.40                 | 12267       | 2276.56                   |
| PG2-18                                              | 15.11       | 15.11       | 15.11        | 179.32                  | 30.38       | 5447.62                 | 12212       | 2241.71                   |
| <b>Peso Volumétrico Promedio (Kg/m<sup>3</sup>)</b> |             |             |              |                         |             |                         |             | <b>2242.92</b>            |



#### IV PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO CON 3.0 % DE GEL SE SÍLICE

**Tabla 63**

*Peso Volumétrico del Concreto Con 3.0 % de Gel de Sílice a los 7 días.*

| Nº Muestra                               | Ø Sup. (cm) | Ø Inf. (cm) | Ø Prom. (cm) | Área (cm²) | Altura (cm) | Vol. (cm³) | Peso Cº (g) | P.U. (Kg/m²)   |
|------------------------------------------|-------------|-------------|--------------|------------|-------------|------------|-------------|----------------|
| PG3-01                                   | 15.13       | 15.17       | 15.15        | 180.27     | 30.12       | 5429.63    | 12210       | 2248.77        |
| PG3-02                                   | 15.17       | 15.19       | 15.18        | 180.98     | 30.50       | 5519.93    | 12305       | 2229.20        |
| PG3-03                                   | 15.16       | 15.13       | 15.15        | 180.15     | 30.40       | 5476.49    | 12297       | 2245.42        |
| PG3-04                                   | 15.03       | 15.06       | 15.05        | 177.78     | 30.63       | 5445.29    | 12334       | 2265.08        |
| PG3-05                                   | 14.95       | 15.01       | 14.98        | 176.24     | 30.23       | 5327.85    | 12265       | 2302.06        |
| PG3-06                                   | 15.03       | 15.05       | 15.04        | 177.66     | 30.39       | 5399.04    | 12293       | 2276.89        |
| <b>Peso Volumétrico Promedio (Kg/m³)</b> |             |             |              |            |             |            |             | <b>2261.23</b> |

**Tabla 64**

*Peso Volumétrico del Concreto Con 3.0 % de Gel de Sílice a los 14 días.*

| Nº Muestra                               | Ø Sup. (cm) | Ø Inf. (cm) | Ø Prom. (cm) | Área (cm²) | Altura (cm) | Vol. (cm³) | Peso Cº (g) | P.U. (Kg/m²)   |
|------------------------------------------|-------------|-------------|--------------|------------|-------------|------------|-------------|----------------|
| PG3-07                                   | 15.18       | 15.14       | 15.16        | 180.50     | 30.64       | 5530.66    | 12233       | 2211.85        |
| PG3-08                                   | 15.11       | 15.19       | 15.15        | 180.27     | 30.43       | 5485.51    | 12339       | 2249.38        |
| PG3-09                                   | 15.14       | 15.13       | 15.14        | 179.91     | 30.74       | 5530.43    | 12223       | 2210.14        |
| PG3-10                                   | 14.97       | 15.01       | 14.99        | 176.48     | 30.32       | 5350.84    | 12243       | 2288.05        |
| PG3-11                                   | 15.09       | 15.06       | 15.08        | 178.49     | 30.59       | 5459.89    | 12394       | 2270.01        |
| PG3-12                                   | 15.07       | 15.11       | 15.09        | 178.84     | 30.34       | 5426.05    | 12332       | 2272.74        |
| <b>Peso Volumétrico Promedio (Kg/m³)</b> |             |             |              |            |             |            |             | <b>2250.36</b> |

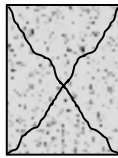
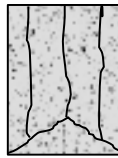
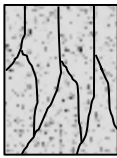
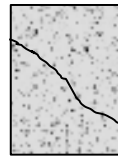
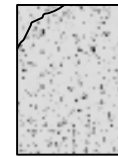
**Tabla 65**

*Peso Volumétrico del Concreto Con 3.0% de Gel de Sílice a los 28 días.*

| Nº Muestra                               | Ø Sup. (cm) | Ø Inf. (cm) | Ø Prom. (cm) | Área (cm²) | Altura (cm) | Vol. (cm³) | Peso Cº (g) | P.U. (kg/m²)   |
|------------------------------------------|-------------|-------------|--------------|------------|-------------|------------|-------------|----------------|
| PG3-13                                   | 15.78       | 15.65       | 15.72        | 193.96     | 30.94       | 6001.21    | 12348       | 2057.58        |
| PG3-14                                   | 15.01       | 15.00       | 15.01        | 176.83     | 30.92       | 5467.66    | 12366       | 2261.66        |
| PG3-15                                   | 15.98       | 15.72       | 15.85        | 197.31     | 30.19       | 5956.78    | 12379       | 2078.14        |
| PG3-16                                   | 15.76       | 15.64       | 15.70        | 193.59     | 30.34       | 5873.61    | 12292       | 2092.75        |
| PG3-17                                   | 15.31       | 15.25       | 15.28        | 183.37     | 30.35       | 5565.39    | 12284       | 2207.21        |
| PG3-18                                   | 15.72       | 15.57       | 15.65        | 192.24     | 30.24       | 5813.30    | 12212       | 2100.70        |
| <b>Peso Volumétrico Promedio (Kg/m³)</b> |             |             |              |            |             |            |             | <b>2133.01</b> |

**APÉNDICE N.º 09. Resultados de la Resistencia a la compresión del Concreto Patrón y del Concreto con Adición de 1.0%, 1.5% y 3.0% de Gel de Sílice a los 7, 14 y 28 días.**

**I. Resultados de Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón a los 7 días**

| f'c del Concreto Patrón a los 7 días                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                            |                                                                                        |                                                                                                                |                                                                                                                     |                                                                                       |                      |        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------|
| N.º DE TESTIGO                                                                                                                                                                                   | 1                                                                                                                                                          | 2                                                                                      | 3                                                                                                              | 4                                                                                                                   | 5                                                                                     | 6                    |        |
| Identificación                                                                                                                                                                                   | PP-01                                                                                                                                                      | PP-02                                                                                  | PP-03                                                                                                          | PP-04                                                                                                               | PP-05                                                                                 | PP-06                |        |
| Fecha de Vaciado                                                                                                                                                                                 | 15/11/2025                                                                                                                                                 |                                                                                        |                                                                                                                |                                                                                                                     |                                                                                       |                      |        |
| Fecha de Rotura                                                                                                                                                                                  | 22/11/2025                                                                                                                                                 |                                                                                        |                                                                                                                |                                                                                                                     |                                                                                       |                      |        |
| Edad (días)                                                                                                                                                                                      | 7                                                                                                                                                          | 7                                                                                      | 7                                                                                                              | 7                                                                                                                   | 7                                                                                     | 7                    |        |
| Diámetro (cm)                                                                                                                                                                                    | 15.11                                                                                                                                                      | 15.01                                                                                  | 15.06                                                                                                          | 15.04                                                                                                               | 15.12                                                                                 | 15.03                |        |
| Altura (cm)                                                                                                                                                                                      | 30.29                                                                                                                                                      | 30.33                                                                                  | 30.14                                                                                                          | 30.27                                                                                                               | 30.29                                                                                 | 30.26                |        |
| Sección Transversal (cm²)                                                                                                                                                                        | 179.32                                                                                                                                                     | 176.95                                                                                 | 178.13                                                                                                         | 177.66                                                                                                              | 179.55                                                                                | 177.30               |        |
| Volumen (cm³)                                                                                                                                                                                    | 5431.5                                                                                                                                                     | 5366.9                                                                                 | 5368.9                                                                                                         | 5377.7                                                                                                              | 5438.7                                                                                | 5365.2               |        |
| Peso (g)                                                                                                                                                                                         | 12510                                                                                                                                                      | 12400                                                                                  | 12550                                                                                                          | 12600                                                                                                               | 12540                                                                                 | 12490                |        |
| Peso Unitario (kg/m³)                                                                                                                                                                            | 2303.24                                                                                                                                                    | 2310.46                                                                                | 2337.55                                                                                                        | 2343.00                                                                                                             | 2305.71                                                                               | 2327.96              |        |
| Tipo de Falla (NTP 339.034)                                                                                                                                                                      | 3                                                                                                                                                          | 3                                                                                      | 2                                                                                                              | 3                                                                                                                   | 2                                                                                     | 2                    |        |
| Carga Máxima (kN)                                                                                                                                                                                | 355.7                                                                                                                                                      | 349.37                                                                                 | 359.87                                                                                                         | 351.83                                                                                                              | 359.25                                                                                | 354.05               |        |
| Carga Máxima (kg)                                                                                                                                                                                | 36271.31                                                                                                                                                   | 35625.82                                                                               | 36696.53                                                                                                       | 35876.68                                                                                                            | 36633.30                                                                              | 36103.05             |        |
| Resistencia de Diseño (kg/cm²)                                                                                                                                                                   | 280                                                                                                                                                        | 280                                                                                    | 280                                                                                                            | 280                                                                                                                 | 280                                                                                   | 280                  |        |
| Resistencia Otenida (kg/cm²)                                                                                                                                                                     | 202.28                                                                                                                                                     | 201.33                                                                                 | 206.01                                                                                                         | 201.94                                                                                                              | 204.02                                                                                | 203.62               |        |
| Porcentaje Otenido (%)                                                                                                                                                                           | 72.24%                                                                                                                                                     | 71.90%                                                                                 | 73.57%                                                                                                         | 72.12%                                                                                                              | 72.87%                                                                                | 72.72%               |        |
| Resistencia Promedio (kg/cm²)                                                                                                                                                                    | 203.20                                                                                                                                                     |                                                                                        |                                                                                                                |                                                                                                                     |                                                                                       |                      |        |
| Porcentaje Promedio (%)                                                                                                                                                                          | 72.57%                                                                                                                                                     |                                                                                        |                                                                                                                |                                                                                                                     |                                                                                       |                      |        |
| Desviación Estándar (s)                                                                                                                                                                          | 1.71                                                                                                                                                       |                                                                                        |                                                                                                                |                                                                                                                     |                                                                                       |                      |        |
| OBSERVACIONES:                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                            |                                                                                        |                                                                                                                |                                                                                                                     |                                                                                       |                      |        |
| Los testigos se ensayaron con almohadillas elastoméricas, en la parte superior e inferior.                                                                                                       |                                                                                                                                                            |                                                                                        |                                                                                                                |                                                                                                                     |                                                                                       |                      |        |
| Esquema de los patrones de tipos de fractura del Concreto (NTP 339.034 - 2021):                                                                                                                  |                                                                                                                                                            |                                                                                        |                                                                                                                |                                                                                                                     |                                                                                       |                      |        |
|                                                                                                               |                                                                         |     |                             |                                |  |                      |        |
| <b>Tipo 1</b><br>Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.                                                                                      | <b>Tipo 2</b><br>Cono bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes. | <b>Tipo 3</b><br>Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados. | <b>Tipo 4</b><br>Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferenciar del tipo 1. | <b>Tipo 5</b><br>Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado. | <b>Tipo 6</b><br>Similar al tipo 5 pero el terminal del cilindro es acentuado.        |                      |        |
| Valor de f'c Ideal Según ACI -209 (A-17)                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                            |                                                                                        | Estimación de f'c=280kg/cm² en función de "t"                                                                  |                                                                                                                     |                                                                                       |                      |        |
| $f'_{(t)} = \left[ \frac{t}{a + bt} \right] * f'_{(28)}$ <p>Dónde (*):</p> <p>a = 4</p> <p>b = 0.85</p> <p>t = Edad (días)</p> <p>* Valores para Cemento Tipo I y curado en condición Húmedo</p> |                                                                                                                                                            |                                                                                        | Edad                                                                                                           | Resistencia (%)                                                                                                     |                                                                                       | Resistencia (kg/cm²) |        |
|                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                            |                                                                                        | Días                                                                                                           | Mínimo                                                                                                              | Ideal                                                                                 | Mínimo               | Ideal  |
|                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                            |                                                                                        | 7.00                                                                                                           | 55.00                                                                                                               | 70.00                                                                                 | 154                  | 196.00 |
|                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                            |                                                                                        | 14.00                                                                                                          | 70.00                                                                                                               | 85.00                                                                                 | 196                  | 238.00 |
|                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                            |                                                                                        | 21.00                                                                                                          | 80.00                                                                                                               | 95.00                                                                                 | 224                  | 266.00 |
| 28.00                                                                                                                                                                                            | 100.00                                                                                                                                                     | 115.00                                                                                 | 280                                                                                                            | 322.00                                                                                                              |                                                                                       |                      |        |

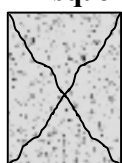
## II. Resultados de Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón a los 14 días

| f'c del Concreto Patrón a los 14 días |            |          |          |          |          |          |
|---------------------------------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| N.º DE TESTIGO                        | 1          | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        |
| Identificación                        | PP-07      | PP-08    | PP-09    | PP-10    | PP-11    | PP-12    |
| Fecha de Vaciado                      | 15/11/2025 |          |          |          |          |          |
| Fecha de Rotura                       | 29/11/2025 |          |          |          |          |          |
| Edad (días)                           | 14         | 14       | 14       | 14       | 14       | 14       |
| Diámetro (cm)                         | 15.06      | 15.18    | 15.10    | 15.12    | 14.94    | 15.09    |
| Altura (cm)                           | 30.40      | 30.22    | 30.28    | 30.16    | 30.42    | 30.15    |
| Sección Transversal (cm²)             | 178.01     | 180.98   | 179.08   | 179.43   | 175.19   | 178.72   |
| Volumen (cm³)                         | 5411.6     | 5469.3   | 5422.5   | 5411.7   | 5329.2   | 5388.5   |
| Peso (g)                              | 12547      | 12443    | 12519    | 12494    | 12366    | 12439    |
| Peso Unitario (kg/m³)                 | 2318.54    | 2275.08  | 2308.71  | 2308.68  | 2320.44  | 2308.43  |
| Tipo de Falla (NTP 339.034)           | 3          | 3        | 5        | 2        | 2        | 2        |
| Carga Máxima (kN)                     | 426.27     | 425.12   | 424.86   | 419.22   | 418.26   | 429.53   |
| Carga Máxima (kg)                     | 43467.44   | 43350.18 | 43323.66 | 42748.54 | 42650.65 | 43799.87 |
| Resistencia de Diseño (kg/cm²)        | 280        | 280      | 280      | 280      | 280      | 280      |
| Resistencia Otenida (kg/cm²)          | 244.18     | 239.53   | 241.93   | 238.24   | 243.46   | 245.07   |
| Porcentaje Otenido (%)                | 87.21%     | 85.55%   | 86.40%   | 85.09%   | 86.95%   | 87.53%   |
| Resistencia Promedio (kg/cm²)         | 242.068    |          |          |          |          |          |
| Porcentaje Promedio (%)               | 86.453%    |          |          |          |          |          |
| Desviación Estándar (s)               | 2.703      |          |          |          |          |          |
| Coeficiente de Variación (CV)         | 1.12%      |          |          |          |          |          |

### OBSERVACIONES:

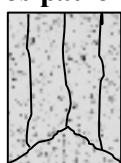
Los testigos se ensayaron con almohadillas elastoméricas, en la parte superior e inferior.

#### Esquema de los patrones de tipos de fractura del Concreto (NTP 339.034 - 2021):



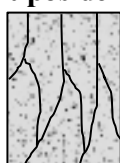
**Tipo 1**

Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.



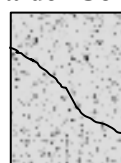
**Tipo 2**

Cono bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.



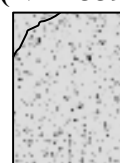
**Tipo 3**

Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.



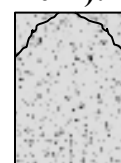
**Tipo 4**

Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferenciar del tipo 1.



**Tipo 5**

Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.



**Tipo 6**

Similar al tipo 5 pero el terminal del cilindro es acentuado.

Valor de f'c Ideal Según ACI -209 (A-17)

$$f'_{(t)} = \left[ \frac{t}{a + bt} \right] * f'_{(28)}$$

Dónde (\*):

$$a = 4$$

$$b = 0.85$$

$$t = \text{Edad (días)}$$

\* Valores para Cemento Tipo I y curado en condición Húmedo

#### Estimación de f'c=280kg/cm² en función de "t"

| Edad  | Resistencia (%) |        | Resistencia (kg/cm²) |        |
|-------|-----------------|--------|----------------------|--------|
| Días  | Mínimo          | Ideal  | Mínimo               | Ideal  |
| 7.00  | 55.00           | 70.00  | 154                  | 196.00 |
| 14.00 | 70.00           | 85.00  | 196                  | 238.00 |
| 21.00 | 80.00           | 95.00  | 224                  | 266.00 |
| 28.00 | 100.00          | 115.00 | 280                  | 322.00 |

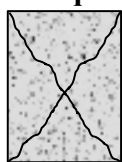
### III. Resultados de Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón a los 28 días

| f'c del Concreto Patrón a los 28 días |            |          |          |          |          |          |
|---------------------------------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| N.º DE TESTIGO                        | 1          | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        |
| Identificación                        | PP-13      | PP-14    | PP-15    | PP-16    | PP-17    | PP-18    |
| Fecha de Vaciado                      | 15/11/2025 |          |          |          |          |          |
| Fecha de Rotura                       | 13/12/2025 |          |          |          |          |          |
| Edad (días)                           | 28         | 28       | 28       | 28       | 28       | 28       |
| Diámetro (cm)                         | 15.06      | 15.10    | 15.02    | 15.16    | 15.21    | 15.20    |
| Altura (cm)                           | 30.11      | 30.21    | 30.14    | 30.35    | 30.18    | 30.10    |
| Sección Transversal (cm²)             | 178.13     | 178.96   | 177.19   | 180.50   | 181.58   | 181.46   |
| Volumen (cm³)                         | 5363.5     | 5406.4   | 5340.4   | 5478.3   | 5480.0   | 5461.9   |
| Peso (g)                              | 12435      | 13667    | 12377    | 12404    | 12395    | 12347    |
| Peso Unitario (kg/m³)                 | 2318.44    | 2527.94  | 2317.62  | 2264.20  | 2261.85  | 2260.57  |
| Tipo de Falla (NTP 339.034)           | 2          | 3        | 2        | 5        | 3        | 2        |
| Carga Máxima (kN)                     | 591.42     | 588.97   | 587.896  | 592.567  | 595.07   | 595.79   |
| Carga Máxima (kg)                     | 60308.06   | 60058.23 | 59948.71 | 60425.02 | 60679.95 | 60754.08 |
| Resistencia de Diseño (kg/cm²)        | 280        | 280      | 280      | 280      | 280      | 280      |
| Resistencia Otenida (kg/cm²)          | 338.56     | 335.60   | 338.34   | 334.76   | 334.18   | 334.81   |
| Porcentaje Otenido (%)                | 120.91%    | 119.86%  | 120.83%  | 119.56%  | 119.35%  | 119.57%  |
| Resistencia Promedio (kg/cm²)         | 336.040    |          |          |          |          |          |
| Porcentaje Promedio (%)               | 120.014%   |          |          |          |          |          |
| Desviación Estándar (s)               | 1.920      |          |          |          |          |          |
| Coefficiente de Variación (CV)        | 0.57%      |          |          |          |          |          |

#### OBSERVACIONES:

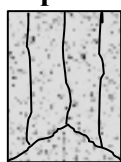
Los testigos se ensayaron con almohadillas elastoméricas, en la parte superior e inferior.

#### Esquema de los patrones de tipos de fractura del Concreto (NTP 339.034 - 2021):



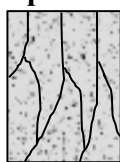
**Tipo 1**

Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.



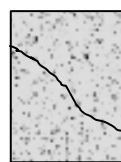
**Tipo 2**

Cono bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.



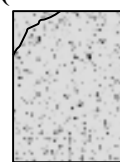
**Tipo 3**

Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.



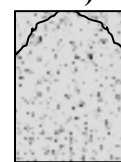
**Tipo 4**

Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferenciar del tipo 1.



**Tipo 5**

Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.



**Tipo 6**

Similar al tipo 5 pero el terminal del cilindro es acentuado.

Valor de f'c Ideal Según ACI -209 (A-17)

$$f'_{(t)} = \left[ \frac{t}{a + bt} \right] * f'_{(28)}$$

Dónde (\*):

$$a = 4$$

$$b = 0.85$$

$$t = \text{Edad (días)}$$

\* Valores para Cemento Tipo I y curado en condición Húmedo

#### Estimación de f'c=280kg/cm² en función de "t"

| Edad  | Resistencia (%) |        | Resistencia (kg/cm²) |        |
|-------|-----------------|--------|----------------------|--------|
| Días  | Mínimo          | Ideal  | Mínimo               | Ideal  |
| 7.00  | 55.00           | 70.00  | 154                  | 196.00 |
| 14.00 | 70.00           | 85.00  | 196                  | 238.00 |
| 21.00 | 80.00           | 95.00  | 224                  | 266.00 |
| 28.00 | 100.00          | 115.00 | 280                  | 322.00 |

## Resultados de resistencia a la compresión del concreto con adición de 1.0% de gel de sílice

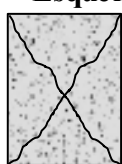
### I. Resultados de Resistencia a la Compresión del Concreto con 1.0 % de GS a los 7 días.

| f'c del Concreto con 1.0% de Gel de Sílice a los 7 días |            |          |          |          |          |          |
|---------------------------------------------------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| N.º DE TESTIGO                                          | 1          | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        |
| Identificación                                          | PG1-01     | PG1-02   | PG1-03   | PG1-04   | PG1-05   | PG1-06   |
| Fecha de Vaciado                                        | 15/11/2025 |          |          |          |          |          |
| Fecha de Rotura                                         | 22/11/2025 |          |          |          |          |          |
| Edad (días)                                             | 7          | 7        | 7        | 7        | 7        | 7        |
| Diámetro (cm)                                           | 15.10      | 15.15    | 14.98    | 15.05    | 14.94    | 14.93    |
| Altura (cm)                                             | 30.52      | 30.39    | 30.43    | 30.43    | 30.42    | 30.49    |
| Sección Transversal (cm²)                               | 179.08     | 180.15   | 176.13   | 177.78   | 175.19   | 175.07   |
| Volumen (cm³)                                           | 5465.5     | 5474.7   | 5359.5   | 5409.7   | 5329.2   | 5337.9   |
| Peso (g)                                                | 12410      | 12420    | 12370    | 12340    | 12300    | 12290    |
| Peso Unitario (kg/m³)                                   | 2270.61    | 2268.62  | 2308.04  | 2281.07  | 2308.05  | 2302.42  |
| Tipo de Falla (NTP 339.034)                             | 3          | 2        | 3        | 2        | 3        | 2        |
| Carga Máxima (kN)                                       | 359.61     | 357.57   | 346.73   | 357.91   | 349.60   | 355.70   |
| Carga Máxima (kg)                                       | 36670.01   | 36461.99 | 35356.62 | 36496.66 | 35649.28 | 36271.31 |
| Resistencia Patrón (kg/cm²)                             | 203.201    | 203.201  | 203.201  | 203.201  | 203.201  | 203.201  |
| Resistencia Otenida (kg/cm²)                            | 204.77     | 202.40   | 200.75   | 205.30   | 203.49   | 207.18   |
| Porcentaje Otenido (%)                                  | 100.77%    | 99.61%   | 98.79%   | 101.03%  | 100.14%  | 101.96%  |
| Resistencia Promedio (kg/cm²)                           | 203.98     |          |          |          |          |          |
| Resistencia Promedio (%)                                | 100.38%    |          |          |          |          |          |
| Desviación Estándar (s)                                 | 2.27       |          |          |          |          |          |
| Coeficiente de Variación (CV)                           | 1.11%      |          |          |          |          |          |

#### OBSERVACIONES:

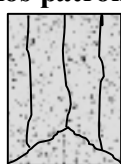
Los testigos se ensayaron con almohadillas elastoméricas, en la parte superior e inferior.

#### Esquema de los patrones de tipos de fractura del Concreto (NTP 339.034 - 2021):



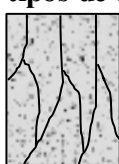
**Tipo 1**

Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.



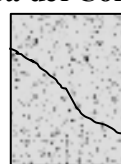
**Tipo 2**

Cono bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.



**Tipo 3**

Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.



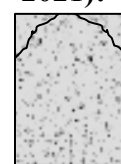
**Tipo 4**

Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferenciar del tipo 1.



**Tipo 5**

Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.



**Tipo 6**

Similar al tipo 5 pero el terminal del cilindro es acentuado.

Valor de f'c Ideal Según ACI -209 (A-17)

$$f'_{(t)} = \left[ \frac{t}{a + bt} \right] * f'_{(28)}$$

Dónde (\*):

$$a = 4$$

$$b = 0.85$$

$$t = \text{Edad (días)}$$

\* Valores para Cemento Tipo I y curado en condición Húmedo

#### Estimación de f'c=280kg/cm² en función de "t"

| Edad  | Resistencia (%) |        | Resistencia (kg/cm²) |        |
|-------|-----------------|--------|----------------------|--------|
| Días  | Mínimo          | Ideal  | Mínimo               | Ideal  |
| 7.00  | 55.00           | 70.00  | 111.761              | 142.24 |
| 14.00 | 70.00           | 85.00  | 142.241              | 172.72 |
| 21.00 | 80.00           | 95.00  | 162.561              | 193.04 |
| 28.00 | 100.00          | 115.00 | 203.201              | 233.68 |

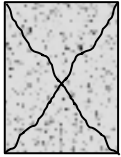
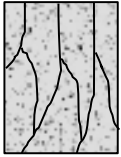
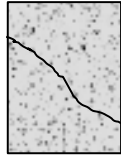
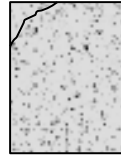
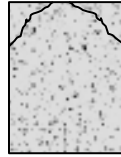
## II. Resultados de Resistencia a la Compresión del Concreto con 1.0 % de GS a los 14 días.

| f'c del Concreto con 1.0% de Gel de Sílice a los 14 días |            |          |          |          |          |          |
|----------------------------------------------------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| N.º DE TESTIGO                                           | 1          | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        |
| Identificación                                           | PG1-07     | PG1-08   | PG1-09   | PG1-10   | PG1-11   | PG1-12   |
| Fecha de Vaciado                                         | 15/11/2025 |          |          |          |          |          |
| Fecha de Rotura                                          | 29/11/2025 |          |          |          |          |          |
| Edad (días)                                              | 14         | 14       | 14       | 14       | 14       | 14       |
| Diámetro (cm)                                            | 15.10      | 15.09    | 15.05    | 15.07    | 15.04    | 15.12    |
| Altura (cm)                                              | 30.45      | 30.41    | 30.40    | 30.51    | 30.55    | 30.32    |
| Sección Transversal (cm²)                                | 178.96     | 178.72   | 177.78   | 178.25   | 177.54   | 179.55   |
| Volumen (cm³)                                            | 5449.3     | 5435.0   | 5404.4   | 5438.4   | 5423.9   | 5444.1   |
| Peso (g)                                                 | 12389      | 12309    | 12414    | 12385    | 12420    | 12424    |
| Peso Unitario (kg/m³)                                    | 2273.49    | 2264.78  | 2297.02  | 2277.33  | 2289.88  | 2282.12  |
| Tipo de Falla (NTP 339.034)                              | 3          | 2        | 3        | 5        | 5        | 2        |
| Carga Máxima (kN)                                        | 428.4      | 439.39   | 432.37   | 431.43   | 428.74   | 429.11   |
| Carga Máxima (kg)                                        | 43684.64   | 44805.31 | 44089.47 | 43993.62 | 43719.31 | 43757.04 |
| Resistencia Patrón (kg/cm²)                              | 242.068    | 242.068  | 242.068  | 242.068  | 242.068  | 242.068  |
| Resistencia Otenida (kg/cm²)                             | 244.10     | 250.70   | 248.01   | 246.81   | 246.25   | 243.70   |
| Porcentaje Otenido (%)                                   | 100.84%    | 103.56%  | 102.45%  | 101.96%  | 101.73%  | 100.67%  |
| Resistencia Promedio (kg/cm²)                            | 246.594    |          |          |          |          |          |
| Resistencia Promedio (%)                                 | 101.870%   |          |          |          |          |          |
| Desviación Estándar (s)                                  | 2.591      |          |          |          |          |          |
| Coeficiente de Variación (CV)                            | 2.591      |          |          |          |          |          |

### OBSERVACIONES:

Los testigos se ensayaron con almohadillas elastoméricas, en la parte superior e inferior.

#### Esquema de los patrones de tipos de fractura del Concreto (NTP 339.034 - 2021):

|                                                                                                             |                                                                                                                                                            |                                                                                        |                                                                                                                |                                                                                                                     |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                          |                                                                         |     |                             |                                |  |
| <b>Tipo 1</b><br>Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas. | <b>Tipo 2</b><br>Cono bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes. | <b>Tipo 3</b><br>Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados. | <b>Tipo 4</b><br>Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferenciar del tipo 1. | <b>Tipo 5</b><br>Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado. | <b>Tipo 6</b><br>Similar al tipo 5 pero el terminal del cilindro es acentuado.        |

| <p>Valor de f'c Ideal Según ACI -209 (A-17)</p> $f'c_{(t)} = \left[ \frac{t}{a + bt} \right] * f'c_{(28)}$ <p>Dónde (*):</p> <p>a = 4</p> <p>b = 0.85</p> <p>t = Edad (días)</p> <p>* Valores para Cemento Tipo I y curado en condición Húmedo</p> | Estimación de f'c=280kg/cm² en función de "t" |                 |        |                      |        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------|--------|----------------------|--------|
|                                                                                                                                                                                                                                                    | Edad                                          | Resistencia (%) |        | Resistencia (kg/cm²) |        |
|                                                                                                                                                                                                                                                    | Días                                          | Mínimo          | Ideal  | Mínimo               | Ideal  |
|                                                                                                                                                                                                                                                    | 7.00                                          | 55.00           | 70.00  | 111.761              | 142.24 |
|                                                                                                                                                                                                                                                    | 14.00                                         | 70.00           | 85.00  | 142.241              | 172.72 |
|                                                                                                                                                                                                                                                    | 21.00                                         | 80.00           | 95.00  | 162.561              | 193.04 |
|                                                                                                                                                                                                                                                    | 28.00                                         | 100.00          | 115.00 | 203.201              | 233.68 |



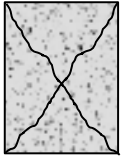
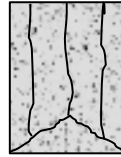
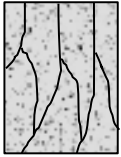
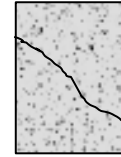
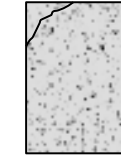
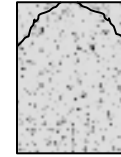
### III. Resultados de Resistencia a la Compresión del Concreto con 1.0 % de GS a los 28 días.

| f'c del Concreto con 1.0% de Gel de Sílice a los 28 días |            |          |          |          |          |          |
|----------------------------------------------------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| N.º DE TESTIGO                                           | 1          | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        |
| Identificación                                           | PG1-13     | PG1-14   | PG1-15   | PG1-16   | PG1-17   | PG1-18   |
| Fecha de Vaciado                                         | 15/11/2025 |          |          |          |          |          |
| Fecha de Rotura                                          | 13/12/2025 |          |          |          |          |          |
| Edad (días)                                              | 28         | 28       | 28       | 28       | 28       | 28       |
| Diámetro (cm)                                            | 15.02      | 15.20    | 15.19    | 15.12    | 14.89    | 15.02    |
| Altura (cm)                                              | 30.49      | 30.45    | 30.67    | 30.75    | 30.16    | 30.31    |
| Sección Transversal (cm²)                                | 177.07     | 181.34   | 181.22   | 179.43   | 174.13   | 177.19   |
| Volumen (cm³)                                            | 5398.8     | 5521.8   | 5558.0   | 5517.6   | 5251.8   | 5370.5   |
| Peso (g)                                                 | 12335      | 12390    | 12400    | 12380    | 12197    | 12292    |
| Peso Unitario (kg/m³)                                    | 2284.76    | 2243.84  | 2231.01  | 2243.72  | 2322.43  | 2288.79  |
| Tipo de Falla (NTP 339.034)                              | 2          | 3        | 3        | 2        | 5        | 2        |
| Carga Máxima (kN)                                        | 602.76     | 607.34   | 610.96   | 608.27   | 593.43   | 597.61   |
| Carga Máxima (kg)                                        | 61464.41   | 61931.44 | 62300.58 | 62026.28 | 60513.02 | 60939.26 |
| Resistencia Patrón (kg/cm²)                              | 336.040    | 336.040  | 336.040  | 336.040  | 336.040  | 336.040  |
| Resistencia Otenida (kg/cm²)                             | 347.12     | 341.52   | 343.78   | 345.68   | 347.51   | 343.93   |
| Porcentaje Otenido (%)                                   | 103.30%    | 101.63%  | 102.30%  | 102.87%  | 103.41%  | 102.35%  |
| Resistencia Promedio (kg/cm²)                            | 344.924    |          |          |          |          |          |
| Resistencia Promedio (%)                                 | 102.644%   |          |          |          |          |          |
| Desviación Estándar (s)                                  | 2.278      |          |          |          |          |          |
| Coeficiente de Variación (CV)                            | 0.66%      |          |          |          |          |          |

#### OBSERVACIONES:

Los testigos se ensayaron con almohadillas elastoméricas, en la parte superior e inferior.

#### Esquema de los patrones de tipos de fractura del Concreto (NTP 339.034 - 2021):

|                                                                                                             |                                                                                                                                                            |                                                                                        |                                                                                                                |                                                                                                                     |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                          |                                                                         |     |                             |                                |  |
| <b>Tipo 1</b><br>Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas. | <b>Tipo 2</b><br>Cono bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes. | <b>Tipo 3</b><br>Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados. | <b>Tipo 4</b><br>Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferenciar del tipo 1. | <b>Tipo 5</b><br>Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado. | <b>Tipo 6</b><br>Similar al tipo 5 pero el terminal del cilindro es acentuado.        |

Valor de f'c Ideal Según ACI -209 (A-17)

$$f'_{(t)} = \left[ \frac{t}{a + bt} \right] * f'_{(28)}$$

Dónde (\*):

$$a = 4$$

$$b = 0.85$$

$$t = \text{Edad (días)}$$

\* Valores para Cemento Tipo I y curado en condición Húmedo

#### Estimación de f'c=280kg/cm² en función de "t"

| Edad  | Resistencia (%) |        | Resistencia (kg/cm²) |        |
|-------|-----------------|--------|----------------------|--------|
| Días  | Mínimo          | Ideal  | Mínimo               | Ideal  |
| 7.00  | 55.00           | 70.00  | 111.761              | 142.24 |
| 14.00 | 70.00           | 85.00  | 142.241              | 172.72 |
| 21.00 | 80.00           | 95.00  | 162.561              | 193.04 |
| 28.00 | 100.00          | 115.00 | 203.201              | 233.68 |

## Resultados de resistencia a la compresión del concreto con adición de 1.5% de gel de sílice

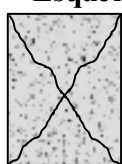
### I. Resultados de Resistencia a la Compresión del Concreto con 1.5 % de GS a los 7 días.

| f'c del Concreto con 1.5% de Gel de Sílice a los 7 días |            |          |          |          |          |          |
|---------------------------------------------------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| N.º DE TESTIGO                                          | 1          | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        |
| Identificación                                          | PG2-01     | PG2-02   | PG2-03   | PG2-04   | PG2-05   | PG2-06   |
| Fecha de Vaciado                                        | 17/11/2025 |          |          |          |          |          |
| Fecha de Rotura                                         | 24/11/2025 |          |          |          |          |          |
| Edad (días)                                             | 7          | 7        | 7        | 7        | 7        | 7        |
| Diámetro (cm)                                           | 14.98      | 15.13    | 15.17    | 15.05    | 15.06    | 14.89    |
| Altura (cm)                                             | 30.27      | 30.15    | 30.46    | 30.20    | 30.25    | 30.34    |
| Sección Transversal (cm²)                               | 176.24     | 179.67   | 180.74   | 177.89   | 178.01   | 174.02   |
| Volumen (cm³)                                           | 5334.9     | 5417.1   | 5505.4   | 5372.4   | 5384.9   | 5279.6   |
| Peso (g)                                                | 12187      | 12268    | 12379    | 12287    | 12126    | 12232    |
| Peso Unitario (kg/m³)                                   | 2284.39    | 2264.67  | 2248.51  | 2287.05  | 2251.86  | 2316.83  |
| Tipo de Falla (NTP 339.034)                             | 2          | 2        | 5        | 2        | 3        | 2        |
| Carga Máxima (kN)                                       | 353.26     | 366.62   | 365.15   | 361.44   | 368.24   | 347.16   |
| Carga Máxima (kg)                                       | 36022.49   | 37384.84 | 37234.94 | 36856.62 | 37550.03 | 35400.47 |
| Resistencia Patrón (kg/cm²)                             | 203.201    | 203.201  | 203.201  | 203.201  | 203.201  | 203.201  |
| Resistencia Otenida (kg/cm²)                            | 204.39     | 208.07   | 206.01   | 207.18   | 210.94   | 203.43   |
| Porcentaje Otenido (%)                                  | 100.59%    | 102.40%  | 101.38%  | 101.96%  | 103.81%  | 100.11%  |
| Resistencia Promedio (kg/cm²)                           | 206.67     |          |          |          |          |          |
| Resistencia Promedio (%)                                | 101.71%    |          |          |          |          |          |
| Desviación Estándar (s)                                 | 2.705      |          |          |          |          |          |
| Coeficiente de Variación (CV)                           | 1.31%      |          |          |          |          |          |

#### OBSERVACIONES:

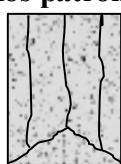
Los testigos se ensayaron con almohadillas elastoméricas, en la parte superior e inferior.

#### Esquema de los patrones de tipos de fractura del Concreto (NTP 339.034 - 2021):



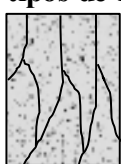
**Tipo 1**

Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.



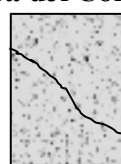
**Tipo 2**

Cono bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.



**Tipo 3**

Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.



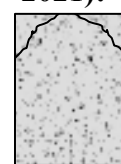
**Tipo 4**

Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferenciar del tipo 1.



**Tipo 5**

Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.



**Tipo 6**

Similar al tipo 5 pero el terminal del cilindro es acentuado.

Valor de f'c Ideal Según ACI -209 (A-17)

$$f'_{(t)} = \left[ \frac{t}{a + bt} \right] * f'_{(28)}$$

Dónde (\*):

$$a = 4$$

$$b = 0.85$$

$$t = \text{Edad (días)}$$

\* Valores para Cemento Tipo I y curado en condición Húmedo

#### Estimación de f'c=280kg/cm² en función de "t"

| Edad  | Resistencia (%) |        | Resistencia (kg/cm²) |        |
|-------|-----------------|--------|----------------------|--------|
| Días  | Mínimo          | Ideal  | Mínimo               | Ideal  |
| 7.00  | 55.00           | 70.00  | 111.761              | 142.24 |
| 14.00 | 70.00           | 85.00  | 142.241              | 172.72 |
| 21.00 | 80.00           | 95.00  | 162.561              | 193.04 |
| 28.00 | 100.00          | 115.00 | 203.201              | 233.68 |



## II. Resultados de Resistencia a la Compresión del Concreto con 1.5 % de GS a los 14 días.

| f'c del Concreto con 1.5% de Gel de Sílice a los 14 días |            |          |          |          |          |          |
|----------------------------------------------------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| N.º DE TESTIGO                                           | 1          | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        |
| Identificación                                           | PG2-07     | PG2-08   | PG2-09   | PG2-10   | PG2-11   | PG2-12   |
| Fecha de Vaciado                                         | 17/11/2025 |          |          |          |          |          |
| Fecha de Rotura                                          | 01/11/2025 |          |          |          |          |          |
| Edad (días)                                              | 14         | 14       | 14       | 14       | 14       | 14       |
| Diámetro (cm)                                            | 15.17      | 15.17    | 15.22    | 15.14    | 15.21    | 15.01    |
| Altura (cm)                                              | 30.12      | 30.43    | 30.41    | 30.28    | 30.35    | 30.26    |
| Sección Transversal (cm <sup>2</sup> )                   | 180.62     | 180.74   | 181.94   | 180.03   | 181.70   | 176.95   |
| Volumen (cm <sup>3</sup> )                               | 5440.4     | 5500.0   | 5532.7   | 5451.3   | 5514.5   | 5354.5   |
| Peso (g)                                                 | 12264      | 12238    | 12254    | 12247    | 12279    | 12281    |
| Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )                       | 2254.25    | 2225.09  | 2214.84  | 2246.63  | 2226.67  | 2293.58  |
| Tipo de Falla (NTP 339.034)                              | 2          | 3        | 2        | 2        | 3        | 2        |
| Carga Máxima (kN)                                        | 443.415    | 445.033  | 445.758  | 438.752  | 451.33   | 441.62   |
| Carga Máxima (kg)                                        | 45215.75   | 45380.74 | 45454.67 | 44740.25 | 46023.06 | 45032.91 |
| Resistencia Patrón (kg/cm <sup>2</sup> )                 | 242.068    | 242.068  | 242.068  | 242.068  | 242.068  | 242.068  |
| Resistencia Otenida (kg/cm <sup>2</sup> )                | 250.33     | 251.08   | 249.84   | 248.52   | 253.30   | 254.49   |
| Porcentaje Otenido (%)                                   | 103.41%    | 103.72%  | 103.21%  | 102.66%  | 104.64%  | 105.13%  |
| Resistencia Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )               | 251.259    |          |          |          |          |          |
| Resistencia Promedio (%)                                 | 103.797%   |          |          |          |          |          |
| Desviación Estándar (s)                                  | 2.24       |          |          |          |          |          |
| Coefficinte de Variación (CV)                            | 0.891%     |          |          |          |          |          |

### OBSERVACIONES:

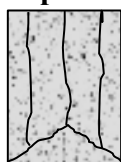
Los testigos se ensayaron con almohadillas elastoméricas, en la parte superior e inferior.

#### Esquema de los patrones de tipos de fractura del Concreto (NTP 339.034 - 2021):



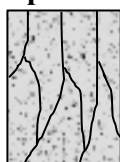
**Tipo 1**

Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.



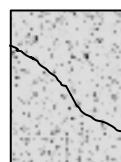
**Tipo 2**

Cono bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.



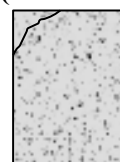
**Tipo 3**

Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.



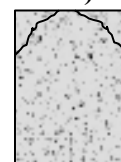
**Tipo 4**

Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferenciar del tipo 1.



**Tipo 5**

Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.



**Tipo 6**

Similar al tipo 5 pero el terminal del cilindro es acentuado.

Valor de f'c Ideal Según ACI -209 (A-17)

$$f'_{c(t)} = \left[ \frac{t}{a + bt} \right] * f'_{c(28)}$$

Dónde (\*):

$$a = 4$$

$$b = 0.85$$

$$t = \text{Edad (días)}$$

\* Valores para Cemento Tipo I y curado en condición Húmedo

**Estimación de f'c=280kg/cm² en función de "t"**

| Edad  | Resistencia (%) |        | Resistencia (kg/cm²) |        |
|-------|-----------------|--------|----------------------|--------|
| Días  | Mínimo          | Ideal  | Mínimo               | Ideal  |
| 7.00  | 55.00           | 70.00  | 111.761              | 142.24 |
| 14.00 | 70.00           | 85.00  | 142.241              | 172.72 |
| 21.00 | 80.00           | 95.00  | 162.561              | 193.04 |
| 28.00 | 100.00          | 115.00 | 203.201              | 233.68 |

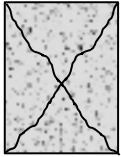
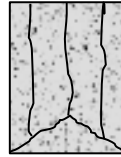
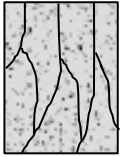
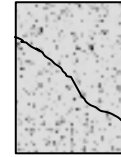
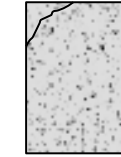
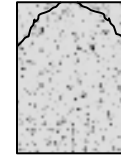
### III. Resultados de Resistencia a la Compresión del Concreto con 1.5 % de GS a los 28 días.

| f'c del Concreto con 1.5% de Gel de Sílice a los 28 días |            |          |          |          |          |          |
|----------------------------------------------------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| N.º DE TESTIGO                                           | 1          | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        |
| Identificación                                           | PG2-13     | PG2-14   | PG2-15   | PG2-16   | PG2-17   | PG2-18   |
| Fecha de Vaciado                                         | 17/11/2025 |          |          |          |          |          |
| Fecha de Rotura                                          | 15/12/2025 |          |          |          |          |          |
| Edad (días)                                              | 28         | 28       | 28       | 28       | 28       | 28       |
| Diámetro (cm)                                            | 14.98      | 14.96    | 15.14    | 15.18    | 15.05    | 15.11    |
| Altura (cm)                                              | 30.46      | 30.28    | 30.68    | 30.63    | 30.31    | 30.38    |
| Sección Transversal (cm²)                                | 176.13     | 175.77   | 179.91   | 180.98   | 177.78   | 179.32   |
| Volumen (cm³)                                            | 5364.8     | 5322.4   | 5519.6   | 5543.5   | 5388.4   | 5447.6   |
| Peso (g)                                                 | 12200      | 12240    | 12018    | 12130    | 12267    | 12212    |
| Peso Unitario (kg/m³)                                    | 2274.08    | 2299.71  | 2177.32  | 2188.17  | 2276.56  | 2241.71  |
| Tipo de Falla (NTP 339.034)                              | 2          | 2        | 3        | 2        | 3        | 2        |
| Carga Máxima (kN)                                        | 611.217    | 609.368  | 615.213  | 615.619  | 613.95   | 614.57   |
| Carga Máxima (kg)                                        | 62326.79   | 62138.24 | 62734.27 | 62775.67 | 62605.37 | 62668.90 |
| Resistencia Patrón (kg/cm²)                              | 336.040    | 336.040  | 336.040  | 336.040  | 336.040  | 336.040  |
| Resistencia Otenida (kg/cm²)                             | 353.88     | 353.51   | 348.70   | 346.86   | 352.16   | 349.49   |
| Porcentaje Otenido (%)                                   | 105.31%    | 105.20%  | 103.77%  | 103.22%  | 104.80%  | 104.00%  |
| Resistencia Promedio (kg/cm²)                            | 350.766    |          |          |          |          |          |
| Resistencia Promedio (%)                                 | 104.382%   |          |          |          |          |          |
| Desviación Estándar (s)                                  | 2.839      |          |          |          |          |          |
| Coeficiente de Variación (CV)                            | 0.809%     |          |          |          |          |          |

#### OBSERVACIONES:

Los testigos se ensayaron con almohadillas elastoméricas, en la parte superior e inferior.

#### Esquema de los patrones de tipos de fractura del Concreto (NTP 339.034 - 2021):

|                                                                                                             |                                                                                                                                                            |                                                                                        |                                                                                                                |                                                                                                                     |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                          |                                                                         |     |                             |                                |  |
| <b>Tipo 1</b><br>Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas. | <b>Tipo 2</b><br>Cono bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes. | <b>Tipo 3</b><br>Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados. | <b>Tipo 4</b><br>Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferenciar del tipo 1. | <b>Tipo 5</b><br>Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado. | <b>Tipo 6</b><br>Similar al tipo 5 pero el terminal del cilindro es acentuado.        |

Valor de f'c Ideal Según ACI -209 (A-17)

$$f'_{(t)} = \left[ \frac{t}{a + bt} \right] * f'_{(28)}$$

Dónde (\*):

$$a = 4$$

$$b = 0.85$$

$$t = \text{Edad (días)}$$

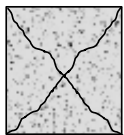
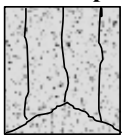
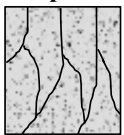
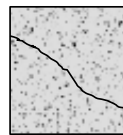
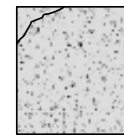
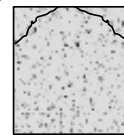
\* Valores para Cemento Tipo I y curado en condición Húmedo

#### Estimación de f'c=280kg/cm² en función de "t"

| Edad  | Resistencia (%) |        | Resistencia (kg/cm²) |        |
|-------|-----------------|--------|----------------------|--------|
| Días  | Mínimo          | Ideal  | Mínimo               | Ideal  |
| 7.00  | 55.00           | 70.00  | 111.761              | 142.24 |
| 14.00 | 70.00           | 85.00  | 142.241              | 172.72 |
| 21.00 | 80.00           | 95.00  | 162.561              | 193.04 |
| 28.00 | 100.00          | 115.00 | 203.201              | 233.68 |

## Resultados de resistencia a la compresión del concreto con adición de 3.0% de gel de sílice

### I. Resultados de Resistencia a la Compresión del Concreto con 3.0 % de GS a los 7 días.

| f'c del Concreto con 3.0 % de Gel de Sílice a los 7 días                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                               |                                                                                                    |                                                                                                                         |                                                                                                                                 |                                                                                         |                      |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------|
| N.º DE TESTIGO                                                                                                                                                                          | 1                                                                                                                                                                                             | 2                                                                                                  | 3                                                                                                                       | 4                                                                                                                               | 5                                                                                       | 6                    |        |
| Identificación                                                                                                                                                                          | PG3-01                                                                                                                                                                                        | PG3-02                                                                                             | PG3-03                                                                                                                  | PG3-04                                                                                                                          | PG3-05                                                                                  | PG3-06               |        |
| Fecha de Vaciado                                                                                                                                                                        | 17/11/2025                                                                                                                                                                                    |                                                                                                    |                                                                                                                         |                                                                                                                                 |                                                                                         |                      |        |
| Fecha de Rotura                                                                                                                                                                         | 24/11/2025                                                                                                                                                                                    |                                                                                                    |                                                                                                                         |                                                                                                                                 |                                                                                         |                      |        |
| Edad (días)                                                                                                                                                                             | 7                                                                                                                                                                                             | 7                                                                                                  | 7                                                                                                                       | 7                                                                                                                               | 7                                                                                       | 7                    |        |
| Diámetro (cm)                                                                                                                                                                           | 15.15                                                                                                                                                                                         | 15.18                                                                                              | 15.15                                                                                                                   | 15.05                                                                                                                           | 14.98                                                                                   | 15.04                |        |
| Altura (cm)                                                                                                                                                                             | 30.12                                                                                                                                                                                         | 30.50                                                                                              | 30.40                                                                                                                   | 30.63                                                                                                                           | 30.23                                                                                   | 30.39                |        |
| Sección Transversal (cm²)                                                                                                                                                               | 180.27                                                                                                                                                                                        | 180.98                                                                                             | 180.15                                                                                                                  | 177.78                                                                                                                          | 176.24                                                                                  | 177.66               |        |
| Volumen (cm³)                                                                                                                                                                           | 5429.6                                                                                                                                                                                        | 5519.9                                                                                             | 5476.5                                                                                                                  | 5445.3                                                                                                                          | 5327.8                                                                                  | 5399.0               |        |
| Peso (g)                                                                                                                                                                                | 12210                                                                                                                                                                                         | 12305                                                                                              | 12297                                                                                                                   | 12334                                                                                                                           | 12265                                                                                   | 12293                |        |
| Peso Unitario (kg/m³)                                                                                                                                                                   | 2248.77                                                                                                                                                                                       | 2229.20                                                                                            | 2245.42                                                                                                                 | 2265.08                                                                                                                         | 2302.06                                                                                 | 2276.89              |        |
| Tipo de Falla (NTP 339.034)                                                                                                                                                             | 2                                                                                                                                                                                             | 2                                                                                                  | 3                                                                                                                       | 3                                                                                                                               | 2                                                                                       | 3                    |        |
| Carga Máxima (kN)                                                                                                                                                                       | 374.81                                                                                                                                                                                        | 381.27                                                                                             | 371.78                                                                                                                  | 374.12                                                                                                                          | 362.07                                                                                  | 365.99               |        |
| Carga Máxima (kg)                                                                                                                                                                       | 38219.98                                                                                                                                                                                      | 38878.72                                                                                           | 37911.01                                                                                                                | 38149.62                                                                                                                        | 36920.86                                                                                | 37320.59             |        |
| Resistencia Patrón (kg/cm²)                                                                                                                                                             | 203.201                                                                                                                                                                                       | 203.201                                                                                            | 203.201                                                                                                                 | 203.201                                                                                                                         | 203.201                                                                                 | 203.201              |        |
| Resistencia Otenida (kg/cm²)                                                                                                                                                            | 212.02                                                                                                                                                                                        | 214.82                                                                                             | 210.44                                                                                                                  | 214.59                                                                                                                          | 209.49                                                                                  | 210.07               |        |
| Porcentaje Otenido (%)                                                                                                                                                                  | 104.34%                                                                                                                                                                                       | 105.72%                                                                                            | 103.56%                                                                                                                 | 105.61%                                                                                                                         | 103.09%                                                                                 | 103.38%              |        |
| Resistencia Promedio (kg/cm²)                                                                                                                                                           | 211.91                                                                                                                                                                                        |                                                                                                    |                                                                                                                         |                                                                                                                                 |                                                                                         |                      |        |
| Resistencia Promedio (%)                                                                                                                                                                | 104.28%                                                                                                                                                                                       |                                                                                                    |                                                                                                                         |                                                                                                                                 |                                                                                         |                      |        |
| Desviación Estándar (s)                                                                                                                                                                 | 2.328                                                                                                                                                                                         |                                                                                                    |                                                                                                                         |                                                                                                                                 |                                                                                         |                      |        |
| Coefficnte de Variación (CV)                                                                                                                                                            | 1.099%                                                                                                                                                                                        |                                                                                                    |                                                                                                                         |                                                                                                                                 |                                                                                         |                      |        |
| OBSERVACIONES:                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                               |                                                                                                    |                                                                                                                         |                                                                                                                                 |                                                                                         |                      |        |
| Los testigos se ensayaron con almohadillas elastoméricas, en la parte superior e inferior.                                                                                              |                                                                                                                                                                                               |                                                                                                    |                                                                                                                         |                                                                                                                                 |                                                                                         |                      |        |
| Esquema de los patrones de tipos de fractura del Concreto (NTP 339.034 - 2021):                                                                                                         |                                                                                                                                                                                               |                                                                                                    |                                                                                                                         |                                                                                                                                 |                                                                                         |                      |        |
|                                                                                                      |                                                                                                            |                 |                                      |                                            |    |                      |        |
| <b>Tipo 1</b><br>Conos<br>razonablemente bien<br>formados, en ambas<br>bases, menos de 25<br>mm de grietas entre<br>capas.                                                              | <b>Tipo 2</b><br>Cono bien formado, sobre<br>una base, desplazamiento<br>de columnares en ambas<br>grietas verticales a través de<br>las capas, cono no bien<br>definido en las otras partes. | <b>Tipo 3</b><br>Grietas verticales<br>de columnares en ambas<br>bases, conos no bien<br>formados. | <b>Tipo 4</b><br>Fractura diagonal sin<br>grietas en las bases,<br>golpear con martillo para<br>diferenciar del tipo 1. | <b>Tipo 5</b><br>Fracturas de lado en las<br>bases (superior o<br>inferior) ocurren<br>comúnmente con las<br>capas de embonado. | <b>Tipo 6</b><br>Similar al tipo 5<br>pero el terminal del<br>cilindro es<br>acentuado. |                      |        |
| Valor de f'c Ideal Según ACI -209 (A-17)                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                               |                                                                                                    | Estimación de f'c=280kg/cm² en función de "t"                                                                           |                                                                                                                                 |                                                                                         |                      |        |
| $f'_{(t)} = \left[ \frac{t}{a + bt} \right] * f'_{(28)}$ <p>Dónde (*):<br/>a = 4<br/>b = 0.85<br/>t = Edad (días)</p> <p>* Valores para Cemento Tipo I y curado en condición Húmedo</p> |                                                                                                                                                                                               |                                                                                                    | Edad                                                                                                                    | Resistencia (%)                                                                                                                 |                                                                                         | Resistencia (kg/cm²) |        |
|                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                               |                                                                                                    | Días                                                                                                                    | Mínimo                                                                                                                          | Ideal                                                                                   | Mínimo               | Ideal  |
|                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                               |                                                                                                    | 7.00                                                                                                                    | 55.00                                                                                                                           | 70.00                                                                                   | 111.76052            | 142.24 |
|                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                               |                                                                                                    | 14.00                                                                                                                   | 70.00                                                                                                                           | 85.00                                                                                   | 142.24067            | 172.72 |
|                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                               |                                                                                                    | 21.00                                                                                                                   | 80.00                                                                                                                           | 95.00                                                                                   | 162.56076            | 193.04 |
|                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                               |                                                                                                    | 28.00                                                                                                                   | 100.00                                                                                                                          | 115.00                                                                                  | 203.20095            | 233.68 |

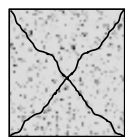
## II. Resultados de Resistencia a la Compresión del Concreto con 3.0 % de GS a los 14 días.

| f'c del Concreto con 3.0 % de Gel de Sílice a los 14 días |            |          |          |          |          |          |
|-----------------------------------------------------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| N.º DE TESTIGO                                            | 1          | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        |
| Identificación                                            | PG3-07     | PG3-08   | PG3-09   | PG3-10   | PG3-11   | PG3-12   |
| Fecha de Vaciado                                          | 17/11/2025 |          |          |          |          |          |
| Fecha de Rotura                                           | 01/11/2025 |          |          |          |          |          |
| Edad (días)                                               | 14         | 14       | 14       | 14       | 14       | 14       |
| Diámetro (cm)                                             | 15.16      | 15.15    | 15.14    | 14.99    | 15.08    | 15.09    |
| Altura (cm)                                               | 30.64      | 30.43    | 30.74    | 30.32    | 30.59    | 30.34    |
| Sección Transversal (cm²)                                 | 180.50     | 180.27   | 179.91   | 176.48   | 178.49   | 178.84   |
| Volumen (cm³)                                             | 5530.7     | 5485.5   | 5530.4   | 5350.8   | 5459.9   | 5426.1   |
| Peso (g)                                                  | 12233      | 12339    | 12223    | 12243    | 12394    | 12332    |
| Peso Unitario (kg/m³)                                     | 2211.85    | 2249.38  | 2210.14  | 2288.05  | 2270.01  | 2272.74  |
| Tipo de Falla (NTP 339.034)                               | 3          | 2        | 3        | 5        | 5        | 3        |
| Carga Máxima (kN)                                         | 445.4      | 451.32   | 453.05   | 443.02   | 446.66   | 450.93   |
| Carga Máxima (kg)                                         | 45418.16   | 46021.83 | 46198.24 | 45175.47 | 45546.64 | 45982.06 |
| Resistencia Patrón (kg/cm²)                               | 242.068    | 242.068  | 242.068  | 242.068  | 242.068  | 242.068  |
| Resistencia Otenida (kg/cm²)                              | 251.62     | 255.30   | 256.79   | 255.98   | 255.18   | 257.11   |
| Porcentaje Otenido (%)                                    | 103.95%    | 105.47%  | 106.08%  | 105.75%  | 105.42%  | 106.21%  |
| Resistencia Promedio (kg/cm²)                             | 255.330    |          |          |          |          |          |
| Resistencia Promedio (%)                                  | 105.479%   |          |          |          |          |          |
| Desviación Estándar (s)                                   | 1.976      |          |          |          |          |          |
| Coefficente de Variación (CV)                             | 0.774%     |          |          |          |          |          |

### OBSERVACIONES:

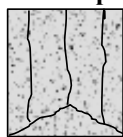
Los testigos se ensayaron con almohadillas elastoméricas, en la parte superior e inferior.

#### Esquema de los patrones de tipos de fractura del Concreto (NTP 339.034 - 2021):



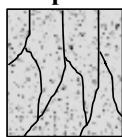
**Tipo 1**

Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.



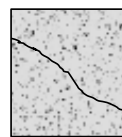
**Tipo 2**

Cono bien formado, sobre una base, desplazamiento de columnares a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.



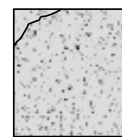
**Tipo 3**

Grietas verticales de columnares en ambas bases, conos no bien formados.



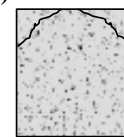
**Tipo 4**

Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferenciar del tipo 1.



**Tipo 5**

Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.



**Tipo 6**

Similar al tipo 5 pero el terminal del cilindro es acentuado.

Valor de f'c Ideal Según ACI -209 (A-17)

$$f'c(t) = \left[ \frac{t}{a + bt} \right] * f'c(28)$$

Dónde (\*):

$$a = 4$$

$$b = 0.85$$

$$t = \text{Edad (días)}$$

\* Valores para Cemento Tipo I y curado en condición Húmedo

#### Estimación de f'c=280kg/cm² en función de "t"

| Edad  | Resistencia (%) |        | Resistencia (kg/cm²) |        |
|-------|-----------------|--------|----------------------|--------|
| Días  | Mínimo          | Ideal  | Mínimo               | Ideal  |
| 7.00  | 55.00           | 70.00  | 111.76052            | 142.24 |
| 14.00 | 70.00           | 85.00  | 142.24067            | 172.72 |
| 21.00 | 80.00           | 95.00  | 162.56076            | 193.04 |
| 28.00 | 100.00          | 115.00 | 203.20095            | 233.68 |

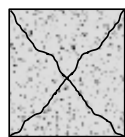
### III. Resultados de Resistencia a la Compresión del Concreto con 3.0 % de GS a los 28 días.

| f'c del Concreto con 3.0 % de Gel de Sílice a los 28 días |            |          |          |          |          |          |
|-----------------------------------------------------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| N.º DE TESTIGO                                            | 1          | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        |
| Identificación                                            | PG3-13     | PG3-14   | PG3-15   | PG3-16   | PG3-17   | PG3-18   |
| Fecha de Vaciado                                          | 17/11/2025 |          |          |          |          |          |
| Fecha de Rotura                                           | 15/12/2025 |          |          |          |          |          |
| Edad (días)                                               | 28         | 28       | 28       | 28       | 28       | 28       |
| Diámetro (cm)                                             | 15.72      | 15.30    | 15.75    | 15.70    | 15.43    | 15.65    |
| Altura (cm)                                               | 30.94      | 30.92    | 30.19    | 30.34    | 30.35    | 30.24    |
| Sección Transversal (cm²)                                 | 193.96     | 183.73   | 194.83   | 193.59   | 186.99   | 192.24   |
| Volumen (cm³)                                             | 6001.2     | 5681.0   | 5881.9   | 5873.6   | 5675.2   | 5813.3   |
| Peso (g)                                                  | 12348      | 12366    | 12379    | 12292    | 12284    | 12212    |
| Peso Unitario (kg/m³)                                     | 2057.58    | 2176.71  | 2104.61  | 2092.75  | 2164.51  | 2100.70  |
| Tipo de Falla (NTP 339.034)                               | 2          | 3        | 2        | 5        | 5        | 3        |
| Carga Máxima (kN)                                         | 688.388    | 648.357  | 697.351  | 685.927  | 657.75   | 656.42   |
| Carga Máxima (kg)                                         | 70196.04   | 66114.01 | 71110.01 | 69945.09 | 67071.32 | 66935.80 |
| Resistencia Patrón (kg/cm²)                               | 336.040    | 336.040  | 336.040  | 336.040  | 336.040  | 336.040  |
| Resistencia Otenida (kg/cm²)                              | 361.90     | 359.84   | 364.99   | 361.30   | 358.69   | 348.19   |
| Porcentaje Otenido (%)                                    | 107.70%    | 107.08%  | 108.61%  | 107.52%  | 106.74%  | 103.62%  |
| Resistencia Promedio (kg/cm²)                             | 359.151    |          |          |          |          |          |
| Resistencia Promedio (%)                                  | 106.877%   |          |          |          |          |          |
| Desviación Estándar (s)                                   | 5.781      |          |          |          |          |          |
| Coeficiente de Variación (CV)                             | 1.610%     |          |          |          |          |          |

#### OBSERVACIONES:

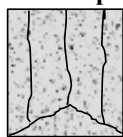
Los testigos se ensayaron con almohadillas elastoméricas, en la parte superior e inferior.

#### Esquema de los patrones de tipos de fractura del Concreto (NTP 339.034 - 2021):



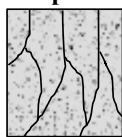
**Tipo 1**

Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.



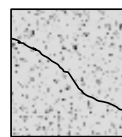
**Tipo 2**

Cono bien formado, sobre una base, desplazamiento de columnares en ambas bases, conos no bien definidos en las otras partes.



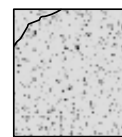
**Tipo 3**

Grietas verticales de columnares en ambas bases, conos no bien formados.



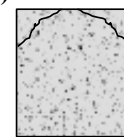
**Tipo 4**

Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferenciar del tipo 1.



**Tipo 5**

Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.



**Tipo 6**

Similar al tipo 5 pero el terminal del cilindro es acentuado.

Valor de f'c Ideal Según ACI -209 (A-17)

$$f_{(t)} = \left[ \frac{t}{a + bt} \right] * f_{(28)}$$

Dónde (\*):

$$a = 4$$

$$b = 0.85$$

$$t = \text{Edad (días)}$$

\* Valores para Cemento Tipo I y curado en condición Húmedo

#### Estimación de f'c=280kg/cm² en función de "t"

| Edad  | Resistencia (%) |        | Resistencia (kg/cm²) |        |
|-------|-----------------|--------|----------------------|--------|
| Días  | Mínimo          | Ideal  | Mínimo               | Ideal  |
| 7.00  | 55.00           | 70.00  | 111.76052            | 142.24 |
| 14.00 | 70.00           | 85.00  | 142.24067            | 172.72 |
| 21.00 | 80.00           | 95.00  | 162.56076            | 193.04 |
| 28.00 | 100.00          | 115.00 | 203.20095            | 233.68 |

## ANEXOS

### Anexo 01: Ficha técnica del cemento Portland Tipo I - Pacasmayo



#### DESCRIPCIÓN

**Cemento Portland de uso general Tipo I.** Gracias a su diseño de clinker, se logra una mejor resistencia a la compresión garantizando óptimos resultados en tu obra.

#### ATRIBUTOS

##### Altas resistencias a todas las edades

- Desarrolla altas resistencias iniciales que garantiza un adecuado avance de obra.
- El diseño correcto en concreto garantiza un menor tiempo de desencofrado.

#### PRESENTACIONES

|                                                                                                                |                                                                                                           |                                                                                                 |                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br>Saco regular<br>42.5 kg | <br>Ecosaco<br>42.5 kg | <br>A granel | <br>Big Bag<br>(1 tonelada) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

\*En cumplimiento de la Norma Metrológica Peruana (NMP 002:2018)

#### RECOMENDACIONES DE USO



Utilizar agregados y materiales de buena calidad.



A mayor sea la humedad de los agregados, se debe dosificar menor cantidad de agua.

#### DOSIFICACIONES RECOMENDADAS

- Las proporciones de los materiales están sujetas a la calidad de los agregados de la zona, y a la ejecución de un diseño de mezclas por un experto, pero es aceptado que con materiales aprobados para construcción se usen las siguientes proporciones.

| Aplicación                       | Resistencia (f'c) | Cemento | Arena limpia | Piedra de tamaño máximo 19 mm | Agua    |
|----------------------------------|-------------------|---------|--------------|-------------------------------|---------|
| Losas aligeradas, placas y otros | 175               | 1       | 2            | 3                             | 0.5 (*) |
| Vigas y columnas                 | 210               | 1       | 2            | 2                             | 0.5 (*) |

(\*) El agua debe ser la suficiente para lograr una consistencia trabajable (slump de 5 a 6 pulgadas), la mezcla no debe estar muy aguada, debe poder levantarse con un badilejo sin escurrirse rápidamente.

- Para otro tipo de concreto se requiere un diseño de mezclas específico, si se usan aditivos el agua debe reducirse.
- Usar un único recipiente de medida.

#### RECOMENDACIONES DE ALMACENAMIENTO

- 1 Los primeros cementos que entren, deben ser los primeros en salir.
- 2 Las bolsas de cemento deben almacenarse a una distancia de 15 cms como mínimo de las paredes del almacén y 60 cms de otras pilas.
- 3 Cubrir con una capa impermeable para evitar la humedad.
- 4 Reducir tiempo de almacenamiento cuando las temperaturas sean menores a 10°C.
- 5 Revisar la bolsa de cemento antes de usarla para verificar si es que tiene grumos. En caso tenga grumos, antes de su uso tamizar la bolsa.
- 6 Colocar parihuelas de madera para evitar la humedad del suelo.
- 7 Evitar la circulación del aire entre bolsas en el apilado.



**Pacasmayo**

Para más información ingresa a:  
[www.cementospacasmayo.com.pe](http://www.cementospacasmayo.com.pe)  
O escanea el código QR:







## ¿QUÉ ES EL ECOSACO?

Bolsa que se disgrega con la acción de la piedra en mezclas de concreto.

## BENEFICIOS DE USAR ECOSACO

- El Ecosaco reducirá el riesgo de exposición al polvo del cemento al maestro ya que va directamente al trompo sin necesidad de abrir la bolsa cuando se ejecutan las mezclas de concreto.
- El Ecosaco **genera cero desperdicios**, con la acción de la piedra el empaque se disgrega en la mezcla de concreto.
- El Ecosaco mejora la productividad, ahorra en el tiempo de limpieza en obra y gestión de desechos de construcción.

## CÓMO USAR EL ECOSACO EN 5 MINUTOS

- 1. AGREGA** la mitad de la proporción de agua (A) y luego introduce el EcoSaco (sin abrir) directo a un trompo de al menos 340 litros.
- 2. AÑADE** el total de los áridos: piedra (B) y arena (C) en el trompo, según el diseño de concreto.
- 3. AJUSTA** la mezcla añadiendo el resto de la proporción de agua y asegura que toda la bolsa esté incorporada en la mezcla para lograr una correcta integración.
- 4. MEZCLA** hasta tener un resultado homogéneo y con la fluidez buscada.

## ESCALA DE EMISIONES DE CARBONO

|       | Factor Clinker | Emisiones                       |
|-------|----------------|---------------------------------|
| Bajo  | hasta 70%      | 500 a 700 Kg CO <sub>2</sub> eq |
| Medio | 71% a 88%      | 701 a 800 Kg CO <sub>2</sub> eq |
| Alto  | 89% a 100%     | 801 Kg CO <sub>2</sub> eq a más |

\*Tipo I se encuentra en el rango alto en emisiones de carbono según el informe de auditoría realizado por Ecoamet 2022.

\*Los resultados presentados corresponden por tonelada (TN) de cemento.

## CERTIFICACIÓN EN CUMPLIMIENTO DEL DECRETO SUPREMO N° 001-2022-PRODUCE

Certificación que valida el **cumplimiento del Reglamento Técnico sobre Cemento Hidráulico** utilizado en Edificaciones y Construcciones en General

### Empresa Certificadora:

ICONTEC, Organismo de certificación internacional reconocido por el IAF (Foro Internacional de Acreditación) con alta experiencia certificando productos y servicios en el mundo.



Cementos Pacasmayo optó por el modelo de certificación más alto y riguroso obteniendo la máxima certificación: Esquema Tipo 5.

1 2 3 4 5

\*Tipos de esquema de certificación

**Esquema Tipo 5:** Certifica el proceso productivo y la comercialización, verificación del sistema de gestión de calidad en el comercializador, verificación del control de la producción en planta y verificación del sistema de gestión de calidad en planta.

## CERTIFICACIONES QUE PUEDES ALCANZAR POR USO DEL PRODUCTO

Este producto puede contribuir a obtener puntos en las siguientes certificaciones de construcción sostenible:

### LEED®



- Tiene Declaración Ambiental de Producto de Tipo III, validada por un tercero.
- Certificación ISO 14001.

Con estas características el cemento Tipo I puede contribuir a alcanzar 1 punto en la categoría de materiales y recursos de la certificación LEED.

### Bono Mi Vivienda Sostenible



- Cumple con los requerimientos del Bono Mi Vivienda Sostenible del Fondo Mi Vivienda para Eco Materiales, **hasta el grado 3.**

## CERTIFICACIONES DE LA COMPAÑÍA



También miembros de **gbc**®

**Pacasmayo**

Para más información ingresa a:  
[www.cementospacasmayo.com.pe](http://www.cementospacasmayo.com.pe)  
 O escanea el código QR:





# Cemento Tipo I

## Cemento Portland de uso general Tipo I

Requisitos normalizados - NTP 334.009 / ASTM C150

### REQUISITOS QUÍMICOS

| ENSAYOS              | TIPO   | VALOR | UNIDAD | NORMAS DE ENSAYO | RESULTADOS*    |
|----------------------|--------|-------|--------|------------------|----------------|
| MgO                  | Máximo | 6.0   | %      | NTP 334.086      | < 3.0          |
| SO <sub>3</sub>      | Máximo | 3.00  | %      | NTP 334.086      | < 2.5 - 2.95 > |
| Pérdida por ignición | Máximo | 3.5   | %      | NTP 334.086      | < 3.3          |
| Residuo insoluble    | Máximo | 1.5   | %      | NTP 334.086      | < 1.2          |

### REQUISITOS FÍSICOS

| ENSAYOS                                                | TIPO   | VALOR          | UNIDAD             | NORMAS DE ENSAYO | RESULTADOS*          |
|--------------------------------------------------------|--------|----------------|--------------------|------------------|----------------------|
| Contenido de aire en Mortero                           | Máximo | 12             | %                  | NTP 334.048      | < 7 - 10 >           |
| <b>Finura</b>                                          |        |                |                    |                  |                      |
| Superficie específica                                  | Mínimo | 260            | m <sup>2</sup> /kg | NTP 334.002      | >= 380               |
| Expansión en autoclave                                 | Máximo | 0.80           | %                  | NTP 334.004      | < 0.20               |
| <b>Resistencia a la compresión</b>                     |        |                |                    |                  |                      |
| 3 días                                                 | Mínimo | 12.0<br>(1740) | MPa<br>(psi)       | NTP 334.051      | >= 24.1<br>(>= 3500) |
| 7 días                                                 | Mínimo | 19.0<br>(2760) | MPa<br>(psi)       | NTP 334.051      | >= 30.3<br>(>= 4400) |
| 28 días**                                              | Mínimo | 28.0<br>(4060) | MPa<br>(psi)       | NTP 334.051      | >= 37.9<br>(>= 5500) |
| <b>Tiempo de Fraguado Vicat</b>                        |        |                |                    |                  |                      |
| Fraguado inicial                                       | Mínimo | 45             | Minutos            | NTP 334.006      | < 110 - 150 >        |
| Fraguado final                                         | Máximo | 375            | Minutos            | NTP 334.006      | < 230 - 260 >        |
| Expansión en barra de mortero curada en agua a 14 días | Máximo | 0.020          | %                  | NTP 334.093      | < 0.010              |

\*Valores promedios referenciales de lotes despachados / \*\*Requisito opcional.

El cemento descrito arriba, al tiempo del envío, cumple con los requisitos físicos y químicos de la NTP 334.009 y la ASTM C150.

**Pacasmayo**

Para más información ingresa a:  
[www.cementospacasmayo.com.pe](http://www.cementospacasmayo.com.pe)  
 O escanea el código QR:



Nota. La Ficha Técnica no especifica de manera explícita el peso específico del cemento Portland Tipo I, pero se considera un valor entre 3.10 y 3.20 g/cm<sup>3</sup>



## Cemento Portland Tipo I

Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150

Pacasmayo, 20 de Setiembre del 2017

| COMPOSICIÓN QUÍMICA  |   | CPSAA | Requisito<br>NTP 334.009 / ASTM C150 |
|----------------------|---|-------|--------------------------------------|
| MgO                  | % | 2.3   | Máximo 6.0                           |
| SO <sub>3</sub>      | % | 2.7   | Máximo 3.0                           |
| Pérdida por Ignición | % | 3.0   | Máximo 3.5                           |
| Residuo Insoluble    | % | 0.92  | Máximo 1.5                           |

| PROPIEDADES FÍSICAS    |                    | CPSAA | Requisito<br>NTP 334.009 / ASTM C150 |
|------------------------|--------------------|-------|--------------------------------------|
| Contenido de Aire      | %                  | 7     | Máximo 12                            |
| Expansión en Autoclave | %                  | 0.09  | Máximo 0.80                          |
| Superficie Específica  | cm <sup>2</sup> /g | 3750  | Mínimo 2800                          |
| Densidad               | g/mL               | 3.10  | NO ESPECIFICA                        |

### Resistencia Compresión :

|                                      |                              |               |                             |
|--------------------------------------|------------------------------|---------------|-----------------------------|
| Resistencia Compresión a 3 días      | MPa<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | 26.1<br>(266) | Mínimo 12.0<br>(Mínimo 122) |
| Resistencia Compresión a 7 días      | MPa<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | 33.9<br>(346) | Mínimo 19.0<br>(Mínimo 194) |
| Resistencia Compresión a 28 días (*) | MPa<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | 42.3<br>(431) | Mínimo 28.0<br>(Mínimo 286) |

### Tiempo de Fraguado Vicat :

|                  |     |     |            |
|------------------|-----|-----|------------|
| Fraguado Inicial | min | 138 | Mínimo 45  |
| Fraguado Final   | min | 267 | Máximo 375 |

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-08-2017 al 31-08-2017.

La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Julio 2017.

(\*) Requisito opcional.



**Ing. Gabriel G. Mansilla Fiestas**  
**Superintendente de Control de Calidad**

Solicitado por :

**Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.**

Está totalmente prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Cementos Pacasmayo S.A.A.

## Anexo N°2: Ficha Técnica del Gel de Sílice.

|                                                                                   |                      |                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------|
|  | <b>FICHA TECNICA</b> | Código: PROD-SG-FT |
|                                                                                   |                      | Fecha: 01/2020     |
|                                                                                   |                      | Versión 01         |
|                                                                                   |                      | Página 1 de 1      |

|                                 |                                                                                                                                    |                  |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| <b>Nombre del producto</b>      | <b>Silica Gel Blanco</b>                                                                                                           |                  |
| <b>Descripción del producto</b> | Producto absorbente de aspecto cristalino, poroso, inerte, no tóxico e inodoro.                                                    |                  |
| <b>Fórmula Química</b>          | $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$                                                                                           |                  |
| <b>Peso Molecular</b>           | 60.08 g/mol                                                                                                                        |                  |
| <b>Tamaño / Densidad</b>        | 2mm – 4mm                      700 - 800 kg/m <sup>3</sup>                                                                         |                  |
| <b>Apariencia</b>               | Esfera cristalina color blanco                                                                                                     |                  |
| <b>Parámetros</b>               | <b>Estándar</b>                                                                                                                    | <b>Resultado</b> |
| <b>Capacidad de adsorción</b>   | HR ≥ 8%                                                                                                                            | 10.5%            |
|                                 | HR ≥ 20%                                                                                                                           | 26.1%            |
|                                 | HR ≥ 30%                                                                                                                           | 35.6%            |
| <b>Empaque</b>                  | <p>Bolsa plástica sellado herméticamente.</p>  |                  |
| <b>Envase</b>                   | NO aplica                                                                                                                          |                  |

|                          |                            |
|--------------------------|----------------------------|
| Elaborado por: O. Cancán | Aprobado por: M. Huilcahua |
| Fecha: 2020-01-21        | Fecha: 2020-01-22          |
| <i>Firma en Original</i> | <i>Firma en original</i>   |

**Toda copia impresa no identificada es un documento no controlado**

### Anexo N°3: Certificado de Análisis Químico del Gel de Sílice



#### CERTIFICADO DE ANALISIS QUIMICO SILICAGEL - GEL DE SILICE ANHIDRO

##### SILICAGEL WHITE (BLANCO) 2.0 mm. 4.0 mm.

| <u>ITEM</u>       | <u>SPEC</u>    |
|-------------------|----------------|
| LESS 2 mm         | 5 % máximo     |
| 2-5 mm Y 4-8 mm   | 90 % mínimo    |
| RATE OF ABRASION  | 5 % máximo     |
| STACKING DENSITY  | 670 G/L minima |
| ADSORBANCE RH 20% | 6,0 mínima     |
| RH 40%            | 14,0 mínimo    |
| RH 80%            | 32,0 mínimo    |



##### PERDIDA POR SECADO

|                                       |                 |
|---------------------------------------|-----------------|
| Fe2 O3 SOBRE BASE SECA                | 0,02 A 0,03 %   |
| Al2 O3 SOBRE BASE SECA                | 0,04 A 0,07 %   |
| Ti O2 SOBRE BASE SECA                 | 0,01 A 0,02 %   |
| Na O SOBRE BASE SECA                  | 0,50 A 0,80 %   |
| Si O2 SOBRE BASE CALCINADA            | 98,00 A 99,00 % |
| DENSIDAD APARENTE (gr/cm3)            | 0.65 A 0.75 %   |
| CALOR ESPECIFICO (kcal/kg.xC)         | 0.25            |
| CONDUCTIVIDAD TERMICA (kcal/mt.hr.xC) | 0.17            |

##### CARTILLA DE M.S.D.S. SOBRE SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE REFERIDA AL PRODUCTO SILICAGEL ESFERICO BLANCO

- NO ES TOXICO, NI CORROSIVO.
- NO TIENE ACTIVIDAD QUIMICA EN CONTACTO CON OTRAS SUSTANCIAS.  
(solo es atacado químicamente por el ácido fluorhídrico y los álcalis de alta concentración)
- NO POSEE ELEMENTOS VOLATILES.
- TIENE UN PH. 6 A 8 APROX. (NEUTRO)
- COMPOSICION QUIMICA: dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>) = 99.80 %  
(resto trazas elementales de óxidos)
- NO PRODUCE IRRITACION EN PIEL, NI EN MUCOSAS.
- LAS PROPIEDADES FISICAS SON UNICAMENTE DE ADSORCION.
- SU USO NO REQUIERE CUIDADOS ESPECIALES.

ISOTERMA DE ADSORCION A 25 GRADOS Y PRESION ATMOSFERICA:

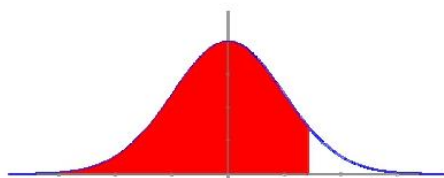
| <u>HUMEDAD RELATIVA NOMINAL</u><br>(CADA 100 GR. DE SILICAGEL) | <u>PORCENTAJE DE AGUA RETENIDA</u> |
|----------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 10                                                             | 5,5 %                              |
| 20                                                             | 10,0 %                             |
| 40                                                             | 19,0 %                             |
| 60                                                             | 28,0 %                             |
| 80                                                             | 33,0 %                             |

NOTA: El uso final del producto es responsabilidad directa del cliente, la información consignada en este documento es solo de carácter ilustrativo y ha sido suministrada por el fabricante del producto. Estos datos no representan responsabilidad legal alguna y no eximen al comprador de hacer sus propios análisis e investigaciones.

## Anexo N°4: Tabla de Distribución Normal, Estimación de Z .

TABLA DE LA DISTRIBUCIÓN NORMAL

$$P(Z \leq z) = F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{x^2}{2}} dx$$



| z   | 0.00   | 0.01   | 0.02   | 0.03   | 0.04   | 0.05   | 0.06   | 0.07   | 0.08   | 0.09   |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0.0 | 0.5000 | 0.5040 | 0.5080 | 0.5120 | 0.5160 | 0.5199 | 0.5239 | 0.5279 | 0.5319 | 0.5359 |
| 0.1 | 0.5398 | 0.5438 | 0.5478 | 0.5517 | 0.5557 | 0.5596 | 0.5636 | 0.5675 | 0.5714 | 0.5753 |
| 0.2 | 0.5793 | 0.5832 | 0.5871 | 0.5910 | 0.5948 | 0.5987 | 0.6026 | 0.6064 | 0.6103 | 0.6141 |
| 0.3 | 0.6179 | 0.6217 | 0.6255 | 0.6293 | 0.6331 | 0.6368 | 0.6406 | 0.6443 | 0.6480 | 0.6517 |
| 0.4 | 0.6554 | 0.6591 | 0.6628 | 0.6664 | 0.6700 | 0.6736 | 0.6772 | 0.6808 | 0.6844 | 0.6879 |
| 0.5 | 0.6915 | 0.6950 | 0.6985 | 0.7019 | 0.7054 | 0.7088 | 0.7123 | 0.7157 | 0.7190 | 0.7224 |
| 0.6 | 0.7257 | 0.7291 | 0.7324 | 0.7357 | 0.7389 | 0.7422 | 0.7454 | 0.7486 | 0.7517 | 0.7549 |
| 0.7 | 0.7580 | 0.7611 | 0.7642 | 0.7673 | 0.7704 | 0.7734 | 0.7764 | 0.7794 | 0.7823 | 0.7852 |
| 0.8 | 0.7881 | 0.7910 | 0.7939 | 0.7967 | 0.7995 | 0.8023 | 0.8051 | 0.8078 | 0.8106 | 0.8133 |
| 0.9 | 0.8159 | 0.8186 | 0.8212 | 0.8238 | 0.8264 | 0.8289 | 0.8315 | 0.8340 | 0.8365 | 0.8389 |
| 1.0 | 0.8413 | 0.8438 | 0.8461 | 0.8485 | 0.8508 | 0.8531 | 0.8554 | 0.8577 | 0.8599 | 0.8621 |
| 1.1 | 0.8643 | 0.8665 | 0.8686 | 0.8708 | 0.8729 | 0.8749 | 0.8770 | 0.8790 | 0.8810 | 0.8830 |
| 1.2 | 0.8849 | 0.8869 | 0.8888 | 0.8907 | 0.8925 | 0.8944 | 0.8962 | 0.8980 | 0.8997 | 0.9015 |
| 1.3 | 0.9032 | 0.9049 | 0.9066 | 0.9082 | 0.9099 | 0.9115 | 0.9131 | 0.9147 | 0.9162 | 0.9177 |
| 1.4 | 0.9192 | 0.9207 | 0.9222 | 0.9236 | 0.9251 | 0.9265 | 0.9279 | 0.9292 | 0.9306 | 0.9319 |
| 1.5 | 0.9332 | 0.9345 | 0.9357 | 0.9370 | 0.9382 | 0.9394 | 0.9406 | 0.9418 | 0.9429 | 0.9441 |
| 1.6 | 0.9452 | 0.9463 | 0.9474 | 0.9484 | 0.9495 | 0.9505 | 0.9515 | 0.9525 | 0.9535 | 0.9545 |
| 1.7 | 0.9554 | 0.9564 | 0.9573 | 0.9582 | 0.9591 | 0.9599 | 0.9608 | 0.9616 | 0.9625 | 0.9633 |
| 1.8 | 0.9641 | 0.9649 | 0.9656 | 0.9664 | 0.9671 | 0.9678 | 0.9686 | 0.9693 | 0.9699 | 0.9706 |
| 1.9 | 0.9713 | 0.9719 | 0.9726 | 0.9732 | 0.9738 | 0.9744 | 0.9750 | 0.9756 | 0.9761 | 0.9767 |
| 2.0 | 0.9772 | 0.9778 | 0.9783 | 0.9788 | 0.9793 | 0.9798 | 0.9803 | 0.9808 | 0.9812 | 0.9817 |
| 2.1 | 0.9821 | 0.9826 | 0.9830 | 0.9834 | 0.9838 | 0.9842 | 0.9846 | 0.9850 | 0.9854 | 0.9857 |
| 2.2 | 0.9861 | 0.9864 | 0.9868 | 0.9871 | 0.9875 | 0.9878 | 0.9881 | 0.9884 | 0.9887 | 0.9890 |
| 2.3 | 0.9893 | 0.9896 | 0.9898 | 0.9901 | 0.9904 | 0.9906 | 0.9909 | 0.9911 | 0.9913 | 0.9916 |
| 2.4 | 0.9918 | 0.9920 | 0.9922 | 0.9925 | 0.9927 | 0.9929 | 0.9931 | 0.9932 | 0.9934 | 0.9936 |
| 2.5 | 0.9938 | 0.9940 | 0.9941 | 0.9943 | 0.9945 | 0.9946 | 0.9948 | 0.9949 | 0.9951 | 0.9952 |
| 2.6 | 0.9953 | 0.9955 | 0.9956 | 0.9957 | 0.9959 | 0.9960 | 0.9961 | 0.9962 | 0.9963 | 0.9964 |
| 2.7 | 0.9965 | 0.9966 | 0.9967 | 0.9968 | 0.9969 | 0.9970 | 0.9971 | 0.9972 | 0.9973 | 0.9974 |
| 2.8 | 0.9974 | 0.9975 | 0.9976 | 0.9977 | 0.9977 | 0.9978 | 0.9979 | 0.9979 | 0.9980 | 0.9981 |
| 2.9 | 0.9981 | 0.9982 | 0.9982 | 0.9983 | 0.9984 | 0.9984 | 0.9985 | 0.9985 | 0.9986 | 0.9986 |
| 3.0 | 0.9987 | 0.9987 | 0.9987 | 0.9988 | 0.9988 | 0.9989 | 0.9989 | 0.9989 | 0.9990 | 0.9990 |
| 3.1 | 0.9990 | 0.9991 | 0.9991 | 0.9991 | 0.9992 | 0.9992 | 0.9992 | 0.9992 | 0.9993 | 0.9993 |
| 3.2 | 0.9993 | 0.9993 | 0.9994 | 0.9994 | 0.9994 | 0.9994 | 0.9994 | 0.9995 | 0.9995 | 0.9995 |
| 3.3 | 0.9995 | 0.9995 | 0.9995 | 0.9996 | 0.9996 | 0.9996 | 0.9996 | 0.9996 | 0.9996 | 0.9997 |
| 3.4 | 0.9997 | 0.9997 | 0.9997 | 0.9997 | 0.9997 | 0.9997 | 0.9997 | 0.9997 | 0.9997 | 0.9998 |
| 3.5 | 0.9998 | 0.9998 | 0.9998 | 0.9998 | 0.9998 | 0.9998 | 0.9998 | 0.9998 | 0.9998 | 0.9998 |



**Anexo N°5: Oficio de Conformidad Para el Uso de Laboratorio Externo “GUERSAN INGENIEROS S.R.L.”**



**Universidad Nacional de Cajamarca**  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL  
Teléfono N° 341518, Anexo 1217-Edificio 1C-106  
Cajamarca - Perú



*"Año de la Recuperación y Consolidación de la Economía Peruana"*

Cajamarca, 03 de noviembre de 2025.

**OFICIO N° 1062-2025-EPIC-FI-UNC**

Señor:

Perci Iván Vásquez Rojas

Egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería - UNC

**PRESENTE:**

De mi consideración:

Es grato dirigirme a Usted, para saludarle cordialmente y, al mismo tiempo, que se da la conformidad para el uso del Laboratorio externo: **"GUERSAN INGENIEROS S.R.L"**; en donde Usted realizará sus respectivos ensayos de su tesis titulado: **INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE GEL DE SÍLICE SOBRE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y PESO VOLUMÉTRICO DE UN CONCRETO  $F'c = 280 \text{ KG/CM}^2$  EN LA REGIÓN CAJAMARCA**, asesorado por el Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno.

Sin otro particular, hago propicia la ocasión para testimoniarle las muestras de mi especial deferencia.

Atentamente,



Firmado digitalmente por:  
TORRES TAFUR José  
Benjamin FAU 20148258801 soft  
Motivo: Soy el autor del  
documento  
Fecha: 03/11/2025 11:24:15-0500

Cc.  
- Archivo  
JBTT/yvette

**Anexo N°6: Constancia de Realización de Ensayos en el Laboratorio GUERSAN INGENIEROS S.R.L.**



SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS DE INGENIERÍA.  
ELABORACIÓN DE PERFILES Y EXPEDIENTES TÉCNICOS.  
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS.  
SERVICIO DE TOPOGRAFÍA Y ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS  
CEL. 939291809 / RUC: 20602101488  
TELF: 076-633319

**CONSTANCIA DE USO DE LABORATORIO**

El Gerente General de la empresa GUERSAN INGENIEROS S.R.L. Deja:

**CONSTANCIA:**

Que el bachiller de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca:

**PERCI IVÁN VÁSQUEZ ROJAS**

Ha realizado satisfactoriamente los ensayos de laboratorio en agregados y concreto para complementar su trabajo de investigación de tesis titulado: **“INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE GEL DE SÍLICE SOBRE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y PESO VOLUMÉTRICO DE UN CONCRETO  $f'c = 280$  KG/CM<sup>2</sup> EN LA REGIÓN CAJAMARCA”**.

Dichos ensayos se realizaron en nuestras instalaciones desde el **03 de noviembre del 2025 al 20 de diciembre del 2025**.

Los ensayos efectuados por los testistas fueron los siguientes:

1. **Ensayos de propiedades físicas y mecánicas** de los agregados fino y grueso.
  - Peso Específico de Masa
  - Peso Unitario Suelto y Compactado
  - Análisis Granulométrico
  - Ensayo Material más Fino que Pasa la Malla N° 200
  - Contenido de Humedad
2. **Ensayos del concreto fresco.**
  - Contenido de Aire en el Concreto Fresco - Método de Presión
  - Asentamiento
  - Temperatura
3. **Elaboración de ensayos a la compresión** de 72 especímenes de concreto (probetas cilíndricas de 6"x12").
4. **Elaboración de ensayos de peso volumétrico** de 72 especímenes de concreto (probetas cilíndricas de 6"x12").

Se expide la presente constancia a solicitud de los interesados para los fines que estimen conveniente.

Cajamarca, 20 de diciembre del 2025.

Atentamente,

GUERSAN INGENIEROS S.R.L.  
  
Leiner Guerrero Gonzáles  
INGENIERO CIVIL  
REG. CIP N° 356556

## Anexo N° 7: Certificado de Registro de Indecopi – GUERSAN INGENIEROS S.R.L.



PERÚ

Presidencia  
del Consejo de Ministros

INDECOPÍ

### Registro de la Propiedad Industrial

Dirección de Signos Distintivos

CERTIFICADO N° 00102926

La Dirección de Signos Distintivos del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual – INDECOPÍ, certifica que por mandato de la Resolución N° 020280-2017/DSD - INDECOPÍ de fecha 29 de septiembre de 2017, ha quedado inscrito en el Registro de Marcas de Servicio, el siguiente signo:

|           |   |                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Signo     | : | La denominación GUERSAN INGENIEROS SRL y logotipo (se reivindica colores), conforme al modelo adjunto                                                                                                              |
| Distingue | : | Servicios científicos y tecnológicos, así como servicios de investigación y diseño en estos ámbitos; servicios de análisis e investigación industriales; diseño y desarrollo de equipos informáticos y de software |
| Clase     | : | 42 de la Clasificación Internacional.                                                                                                                                                                              |
| Solicitud | : | 0713930-2017                                                                                                                                                                                                       |
| Titular   | : | GUERSAN INGENIEROS S.R.L.                                                                                                                                                                                          |
| País      | : | Perú                                                                                                                                                                                                               |
| Vigencia  | : | 29 de septiembre de 2027                                                                                                                                                                                           |
| Tomo      | : | 0515                                                                                                                                                                                                               |
| Folio     | : | 140                                                                                                                                                                                                                |

RAY MELONI GARCIA  
Director  
Dirección de Signos Distintivos  
INDECOPÍ





PERÚ

Presidencia  
del Consejo de Ministros

INDECOPI

DIRECCIÓN DE SIGNOS DISTINTIVOS

**RESOLUCIÓN N° 020280-2017/DSD-INDECOPI**

EXPEDIENTE: 713930-2017  
SOLICITANTE: GUERSAN INGENIEROS S.R.L.  
Lima, 29 de septiembre de 2017

**1. ANTECEDENTES:**

Con fecha 24 de julio de 2017, GUERSAN INGENIEROS S.R.L., de Perú, solicita el registro de marca de servicio constituida por null, para distinguir servicios de la Clase 42 de la Clasificación Internacional.

**2. EXAMEN DE REGISTRABILIDAD:**

Realizado el examen de registrabilidad del signo solicitado con relación a los servicios que pretende distinguir, y habiendo tenido a la vista la totalidad de antecedentes fonéticos y figurativos en la clase solicitada, se concluye que cumple con los requisitos previstos en el artículo 134 de la Decisión 486, Régimen Común sobre Propiedad Industrial, y no se encuentra comprendido en las prohibiciones señaladas en los artículos 135 y 136 del dispositivo legal referido.

La presente Resolución se emite en aplicación de las normas legales antes mencionadas y en uso de las facultades conferidas por los artículos 36, 40 y 41 de la Ley de Organización y Funciones del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual - INDECOPI sancionada por Decreto Legislativo N° 1033, concordante con el artículo 4 del Decreto Legislativo N° 1075.

**3. DECISIÓN DE LA DIRECCIÓN DE SIGNOS DISTINTIVOS:**

INSCRIBIR en el Registro de Marcas de servicio de la Propiedad Industrial, a favor de GUERSAN INGENIEROS S.R.L., de Perú, la marca de servicio constituida por null que se consignará en el certificado correspondiente; para distinguir servicios científicos y tecnológicos, así como servicios de investigación y diseño en estos ámbitos; servicios de análisis e investigación industriales; diseño y desarrollo de equipos informáticos y de software, de la Clase 42 de la Clasificación Internacional.

El presente registro queda bajo el amparo de ley por el plazo de diez años, contado a partir de la fecha de la presente Resolución.

Regístrese y Comuníquese

CARLOS CAMPOS FRANCO  
DIRECCIÓN DE SIGNOS DISTINTIVOS  
INDECOPI

Pág. 1 de 1



## Anexo N° 8: Certificados de Calibración de los Equipos utilizados en Laboratorio

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE MÁQUINA DE ENSAYOS UNIAXIAL



#### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFP-0242-2025

**Expediente**  
0006

**Fecha de Emisión**  
2025-08-07

- 1. Solicitante**  
**Razón Social** : GUERSAN INGENIEROS S.R.L.  
**Dirección** : Pj. Diego Ferré Nro. 295 Bar. San Martín De Porres, Cajamarca, Cajamarca, Cajamarca
- 2. Instrumento** : MÁQUINA DE ENSAYOS UNIAXIALES  
(PRENSA DE CONCRETO)
- Indicación : DIGITAL  
Marca : PERUTEST  
Modelo : STYE-2000  
Número de serie : 220364  
Procedencia : CHINA  
Alcance : 2 000 kN  
División de escala : 0,01 kN / 0,1 kN (\*)  
Identificación : GI-HC-02  
Ubicación : LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETOS
- 3. Lugar de Calibración**  
Instalaciones de GUERSAN INGENIEROS S.R.L.
- 4. Fecha de Calibración**  
7 de Agosto del 2025.
- 5. Método de Calibración**  
La calibración se realizó por el método de comparación directa utilizando el PC-032 "Procedimiento para la Calibración de Máquinas de Ensayos Uniaxiales" Primera Edición – Diciembre 2021 publicado por el INACAL.



Lic. José Luis Panta Abad  
CFP N° 0395  
Jefe de Metrología

# CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE BALANZA ELECTRÓNICA



SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C  
LABORATORIO DE METROLOGÍA

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN SMM - 161 - 2025

|                          |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                          |                                                                                     | Página 1 de 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Expediente               | 25-0085                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 1. Solicitante           | GUERSAN INGENIEROS S.R.L.                                                           | Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.                                                                                 |
| 2. Dirección             | Pj. Diego Ferre N° 295 Bar. San Martín de Porres, Cajamarca - Cajamarca - CAJAMARCA |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 3. Equipo de medición    | BALANZA ELECTRÓNICA                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Capacidad Máxima         | 30 000 g                                                                            | Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.                                                                                |
| División de escala       | 1 g                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| División de verificación | 10 g                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Clase de exactitud       | III                                                                                 | SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.                                                                                          |
| Marca                    | OHAUS                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Modelo                   | R31P30                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Número de Serie          | 8340410350                                                                          | Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI). Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite. |
| Identificación           | GI-B-13                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Procedencia              | U.S.A.                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Ubicación                | NO INDICA                                                                           | El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.                                                                                                                                                                                                                                                |
| 4. Fecha de Calibración  | 2025-08-09                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 5. Fecha de Emisión      | 2025-08-12                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

Sello

Jefe de Laboratorio



Firmado digitalmente por  
ELEAZAR CESAR CHAVEZ  
RARAZ  
Fecha: 2025.08.15  
09:58:13 -05'00'

ventasservimetrol@gmail.com  
aservimetrol@gmail.com  
cservimetrol@gmail.com

938102709  
938327400

Cal. 37 Mza. A-34 Lote. 29 Urb.  
Cultura Peruana Moderna  
Lima- Lima- Santa Anita

# CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE OLLA DE WASHINGTON



SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C  
LABORATORIO DE METROLOGÍA

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN SMP - 047 - 2025

Página 1 de 3

|                                   |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Expediente</b>                 | 25-0085                                                                             | <p>Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.</p> <p>Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.</p> <p>SERVICIOS &amp; METROLOGÍA S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.</p> <p>Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI). Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.</p> <p>El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.</p> |
| <b>1. Solicitante</b>             | GUERSAN INGENIEROS S.R.L.                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>2. Dirección</b>               | Pj. Diego Ferre N° 295 Bar. San Martín de Porres, Cajamarca - Cajamarca - CAJAMARCA |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>3. Instrumento de Medición</b> | OLLA WASHINGTON<br>(PRESS-AIR METER)                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Tipo</b>                       | B                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Marca</b>                      | FORNEY                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Modelo</b>                     | LA-0316                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Número de Serie</b>            | 320                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Procedencia</b>                | U.S.A.                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Identificación</b>             | GI-OW-01                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Ubicación</b>                  | NO INDICA                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Medidor de Aire:</b>           |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Tipo de Indicación</b>         | ANALOGICA                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Alcance de indicación</b>      | 0 a 15 psi / 0 a 100 %                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>4. Fecha de Calibración</b>    | 2025-08-08                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>5. Fecha de Emisión</b>        | 2025-08-14                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

Sello

Jefe de Laboratorio



Firmado digitalmente por  
ELEAZAR CESAR CHAVEZ  
RARAZ  
Fecha: 2025.08.15  
21:29:21 -05'00'

ventasservimetrol@gmail.com  
aservimetrol@gmail.com  
cservimetrol@gmail.com

938102709  
938327400

Cal.37 Mza. A-34 Lote. 29 Urb.  
Cultura Peruana Moderna  
Lima- Lima- Santa Anita

# CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE HORNO ELÉCTRICO



SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C  
LABORATORIO DE METROLOGÍA

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN SMT - 084 - 2025

Página 1 de 6

|                        |                                                                                     |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Expediente</b>      | <b>25-0085</b>                                                                      |
| <b>1. Solicitante</b>  | <b>GUERSAN INGENIEROS S.R.L.</b>                                                    |
| <b>2. Dirección</b>    | Pj. Diego Ferre N° 295 Bar. San Martin de Porres, Cajamarca - Cajamarca - CAJAMARCA |
| <b>3. Equipo</b>       | <b>HORNO</b>                                                                        |
| <b>Alcance Máximo</b>  | De 0 °C a 300 °C                                                                    |
| <b>Marca</b>           | A&A INSTRUMENTS                                                                     |
| <b>Modelo</b>          | STHX-2A                                                                             |
| <b>Número de Serie</b> | 210667                                                                              |
| <b>Identificación</b>  | GI-H-01                                                                             |
| <b>Procedencia</b>     | CHINA                                                                               |
| <b>Ubicación</b>       | <b>NO INDICA</b>                                                                    |

| Descripción                     | Controlador / Selector  | Instrumento de medición |
|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Alcance                         | 0 °C a 300 °C           | 0 °C a 300 °C           |
| División de escala / Resolución | 0,1 °C                  | 0,1 °C                  |
| Tipo                            | CONTROLADOR ELECTRÓNICO | TERMÓMETRO DIGITAL      |

Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.

SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI). Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

**4. Fecha de Calibración** 2025-08-10  
**5. Fecha de Emisión** 2025-08-14

Sello

Jefe del Laboratorio de Metrología



Firmado digitalmente por  
ELEAZAR CESAR CHAVEZ  
RARAZ

Fecha: 2025.08.15 11:19:34  
-05'00'

✉ ventasservimetrol@gmail.com  
✉ aservimetrol@gmail.com  
✉ cservimetrol@gmail.com

☎ 938102709  
938327400

📍 Cal.37 Mza. A-34 Lote. 29 Urb.  
Cultura Peruana Moderna  
Lima- Lima- Santa Anita

# CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DEL VERNIER



SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C  
LABORATORIO DE METROLOGÍA

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN SML - 189 - 2025

|                                 |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                 |                                                                                     | Página 1 de 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Expediente                      | 25-0085                                                                             | Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.                                                                                 |
| 1. Solicitante                  | GUERSAN INGENIEROS S.R.L.                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 2. Dirección                    | Pj. Diego Ferre N° 295 Bar. San Martin de Porres, Cajamarca - Cajamarca - CAJAMARCA | Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.                                                                                |
| 3. Instrumento de Medición      | VERNIER<br>( PIE DE REY )                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Alcance de indicación           | 0 mm a 300 mm                                                                       | SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.                                                                                          |
| División de Escala / Resolución | 0,01 mm                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Marca                           | INSIZE                                                                              | Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI). Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite. |
| Modelo                          | 1108-300W                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Número de Serie                 | 1702144208                                                                          | El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.                                                                                                                                                                                                                                                |
| Procedencia                     | NO INDICA                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Identificación                  | L-194 (*)                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Tipo de indicación              | ANALÓGICO                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Ubicación                       | NO INDICA                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 4. Fecha de Calibración         | 2025-08-11                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 5. Fecha de Emisión             | 2025-08-15                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

Sello

Jefe de Laboratorio



Firmado digitalmente  
por ELEAZAR CESAR  
CHAVEZ RARAZ

ventasservimetrol@gmail.com  
aservimetrol@gmail.com  
cservimetrol@gmail.com

938102709  
938327400

Cal.37 Mza. A-34 Lote. 29 Urb.  
Cultura Peruana Moderna  
Lima- Lima- Santa Anita



## Anexo N° 09: Panel Fotográfico de Los Ensayos de Laboratorio

**Figura 20**

*Ensayo de Análisis Granulométrico de los Agregados*



**Figura 21**

*Ensayo de Peso Específico del Agregado Fino*





**Figura 22**

*Ensayo de Peso Unitario de los Agregados*



**Figura 23**

*Ensayo de Partículas más Finas que Pasan el Tamiz N° 200*





**Figura 24**

*Ensayo de Asentamiento p Slump del Concreto*



**Figura 25**

*Ensayo del Contenido de Aire del Concreto Fresco*





**Figura 26**

*Elaboración de Especímenes de Concreto*



**Figura 27**

*Elaboración de Especímenes patrón y con adición*



**Figura 28**

*Curado de Especímenes de Concreto*



**Figura 29**

*Ensayo a Compresión del Concreto a los 7 días*





**Figura 30**

*Ensayo a Compresión de Concreto a los 14 días*



**Figura 31**

*Ensayo a Compresión del concreto a los 28 días*

