

# UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



*Una Institución Adventista*

## **Influencia del calor de hidratación en concreto a bajas temperaturas, dosificado con cemento comercializados en la ciudad de Juliaca**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Por:

Moises Mamani Chipana  
Ronald Dennis Chambi Mamani

Asesor:

Ing. Moisés Araca Chile

**Juliaca, febrero de 2020**

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS

Ing. Moisés Araca Chile, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: “INFLUENCIA DEL CALOR DE HIDRATACIÓN EN CONCRETO A BAJAS TEMPERATURAS, DOSIFICADO CON CEMENTO COMERCIALIZADOS EN LA CIUDAD DE JULIACA” constituye la memoria que presentan el Bachiller Moises Mamani Chipana y el Bachiller Ronald Dennis Chambi Mamani para aspirar al título de Profesional de Ingeniero Civil, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad de los autores, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca, a los 06 días del mes de febrero del año 2020.



Ing. Moisés Araca Chile

- Influencia del calor de hidratación en concreto a bajas temperaturas,  
dosificado con cemento comercializados en la ciudad de Juliaca

# TESIS

Presentada para optar el título profesional de Ingeniero Civil

## JURADO CALIFICADOR



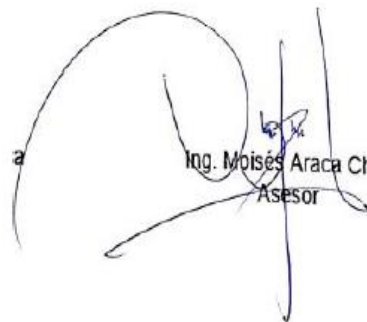
Mg. Herson Duberly Pari Cusi  
Presidente



Ing. Juana Beatriz Aquisé Pari  
Secretario



Mg. Arnaldo Cahui Galarza  
Vocal



Ing. Moisés Araca Chile  
Asesor

Juliaca, 06 de febrero de 2020

## **Dedicatoria**

La presente tesis está dedicado a Dios por guiar mi sendero y hacer realidad unos de mis metas.

Por su arduo e inacabable esfuerzo y sacrificio dedico esta tesis a mi padre Gregorio Mamani Yanapa y por su confianza, amor, sacrificio, etc. a mi madre Santusa Chipana de Mamani, por muchas maneras de ofrecirme lo mejor en esta vida, muchos de los logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este, también dedico a todos mis hermanos por su apoyo incondicional y el haber confiado en mi persona, por el apoyo inmenso a todos los que formaron parte del proceso de mi formación profesional.

Moises Mamani Chipana

Con todo mi cariño a mis amores, quienes son mis queridos padres Meliton Chambi Quispe y Ovidia Martha Mamani Puma, que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

Ronald Dennis Chambi Mamani

### **Agradecimiento**

A Dios nuestro señor, por ser nuestro guía y compañía en cada momento a lo largo de nuestra carrera, por ser nuestra fortaleza en momentos de debilidad, y por brindarnos una vida llena de aprendizaje.

A la Universidad Peruana Unión – Filial Juliaca, Alma Mater que nos ha acogido durante todos los años de nuestra formación académica profesional, enseñándonos aspectos de la vida que ninguna clase formal pudiera enseñar, llevándonos una experiencia tan maravillosa e inolvidable. A nuestros docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por compartirnos sus conocimientos, experiencias y amistad durante nuestra etapa universitaria, por su tiempo y dedicación para formar profesionales competentes.

A nuestro Asesor de Tesis, Ingeniero Moises Araca Chile, por sus consejos, paciencia, apoyo y colaboración durante el desarrollo del presente proyecto de Tesis.

## TABLA DE CONTENIDOS

|                                                                                       |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Dedicatoria .....                                                                     | iv   |
| Agradecimiento .....                                                                  | v    |
| Tabla de contenidos.....                                                              | vi   |
| Indice de tablas.....                                                                 | ix   |
| Indice de figuras .....                                                               | xiii |
| Resumen .....                                                                         | xv   |
| Abstract .....                                                                        | xvi  |
| Capítulo I. Problema de investigación .....                                           | 17   |
| 1.1 Identificación del problema.....                                                  | 17   |
| 1.2 Planteamiento del problema .....                                                  | 18   |
| 1.2.1 Problema general.....                                                           | 18   |
| 1.2.2 Problemas específicos. ....                                                     | 18   |
| 1.3 Objetivos .....                                                                   | 18   |
| 1.3.1 Objetivo general. ....                                                          | 18   |
| 1.3.2 Objetivos específicos.....                                                      | 18   |
| 1.4 Justificación.....                                                                | 19   |
| Capítulo II. Revisión de la literatura .....                                          | 21   |
| 2.1 Antecedentes .....                                                                | 21   |
| 2.2 Marco teórico .....                                                               | 23   |
| 2.2.1 Cemento.....                                                                    | 23   |
| 2.2.2 Composición química del cemento .....                                           | 23   |
| 2.2.3 Tipos de cemento.....                                                           | 25   |
| 2.2.2.1 Cemento Portland tipo IP. ....                                                | 26   |
| 2.3.1 Proceso de fabricación del cemento Portland.....                                | 26   |
| 2.3.1.1 Extracción.....                                                               | 26   |
| 2.3.1.2 La cal. ....                                                                  | 28   |
| 2.3.1.3 La sílice. ....                                                               | 28   |
| 2.3.1.3 Alúmina. ....                                                                 | 28   |
| 2.3.1.4 Oxido de fierro. ....                                                         | 29   |
| 2.3.2 Componentes químicos y físicos de los cementos Rumi, Yura, Frontera y Wari..... | 29   |
| 2.4.1 Calor de hidratación .....                                                      | 30   |

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| 2.5.1 Hidratación del concreto .....                           | 34 |
| 2.5.1.1 Etapas de hidratación del concreto .....               | 35 |
| 2.5.1.1.1 Plástico .                                           | 35 |
| 2.5.1.1.2 Fraguado inicial.....                                | 35 |
| 2.5.1.1.3 Fraguado final.....                                  | 36 |
| 2.5.1.1.4 Endurecimiento .....                                 | 36 |
| 2.6.1 Temperatura.....                                         | 36 |
| 2.6.1.1 Temperatura ambiental.....                             | 36 |
| 2.6.1.2 Temperatura de inicio de colocación del concreto ..... | 36 |
| 2.6.1.3 Transporte de la mezcla.....                           | 37 |
| 2.7.1 Concretos en climas fríos .....                          | 40 |
| 2.7.2 Agua .....                                               | 40 |
| 2.7.3 Tratamiento estadístico.....                             | 41 |
| 2.7.3.1 Prueba de hipótesis.....                               | 41 |
| 2.7.3.2 Selección del test .....                               | 42 |
| 2.7.3.3 La distribución T Student .....                        | 44 |
| Capítulo III. Materiales y métodos.....                        | 47 |
| 3.1 Tipo de investigación .....                                | 47 |
| 3.2 Diseño de investigación.....                               | 47 |
| 3.3 Método de investigación .....                              | 47 |
| 3.3 Descripción del lugar de ejecución .....                   | 47 |
| 3.4 Población y muestra .....                                  | 48 |
| 3.4.1 Población.....                                           | 48 |
| 3.4.2 Muestra.....                                             | 48 |
| 3.5 Formulación de la hipótesis.....                           | 50 |
| 3.5.1 Hipótesis general. ....                                  | 50 |
| 3.5.2 Hipótesis específicas. ....                              | 50 |
| 3. 6 Identificación de variables.....                          | 50 |
| 3.6.1 Variables independientes.....                            | 50 |
| 3.6.2 Variables dependientes.....                              | 50 |
| 3.6.3. Operacionalizacion de variables.....                    | 50 |
| 3.7 Instrumentos o técnicas de recolección de datos.....       | 51 |
| 3.7.1 Técnicas.....                                            | 51 |

|                                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.7.2 Instrumentos.....                                                            | 52  |
| 3.8 Procedencia y ensayos de los materiales a utilizar en la investigación.....    | 53  |
| 3.8.1 Agregados.....                                                               | 53  |
| 3.8.1.1 Cantera.....                                                               | 53  |
| 3.8.1.1.1 Agregado Fino.....                                                       | 54  |
| 3.8.1.1.2 Agregado grueso.....                                                     | 59  |
| 3.8.2 Método de diseño del ACI.....                                                | 63  |
| 3.8.3 Diseño del concreto patrón.....                                              | 64  |
| 3.8.4 Elaboración de testigos.....                                                 | 69  |
| 3.8.4.1 Proceso de curado de testigos.....                                         | 69  |
| Capítulo IV: Resultados y discusión .....                                          | 71  |
| 4.1 Presentación de resultados.....                                                | 71  |
| 4.1.1 Calor de hidratación .....                                                   | 71  |
| 4.1.3 Prueba de hipótesis.....                                                     | 89  |
| 4.1.3.1 Prueba de hipótesis para la resistencia a la compresión del concreto ..... | 89  |
| 4.2 Interpretación de resultados y discusión .....                                 | 107 |
| 4.2.1. Agregados.....                                                              | 108 |
| 4.2.2 Calor de hidratación .....                                                   | 108 |
| 4.2.3 Resistencia a la compresión .....                                            | 122 |
| 4.4 Resistencia a la compresión .....                                              | 126 |
| Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones .....                                   | 131 |
| 5.1 Conclusiones .....                                                             | 131 |
| 5.1.1. Conclusión general.....                                                     | 131 |
| 5.1.2. Conclusiones específicas.....                                               | 131 |
| 5.2. Recomendaciones.....                                                          | 132 |
| Referencias .....                                                                  | 133 |
| ANEXO A: Matriz de consistencia .....                                              | 136 |
| ANEXO B: Ensayos de laboratorio.....                                               | 137 |
| ANEXO C: Diseño de Mezcla por el método ACI 211.1. ....                            | 142 |
| ANEXO D: Método por Volumen Absoluto Equivalente.....                              | 142 |
| ANEXO E: Panel fotográfico.....                                                    | 145 |

## INDICE DE TABLAS

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Compuestos del cemento portland .....                                            | 23 |
| Tabla 2. Requisitos químicos de los 4 tipos de cemento.....                               | 29 |
| Tabla 3. Requisitos físicos de los 4 tipos de cemento. ....                               | 29 |
| Tabla 4. Calor de hidratación después de 72 horas a diferentes temperaturas. ....         | 31 |
| Tabla 5. Calor de hidratación de compuestos puros.....                                    | 31 |
| Tabla 6. Registros históricos de las temperaturas ambientales máximas y mínimas.<br>..... | 38 |
| Tabla 7. Identificación de las temperaturas de los meses más críticos .....               | 39 |
| Tabla 8. Promedio aritmético de las temperaturas más críticas. ....                       | 39 |
| Tabla 9. Requisitos para el agua de mezcla.....                                           | 41 |
| Tabla 10. Coeficiente de variación.....                                                   | 44 |
| Tabla 11. Tabla de coeficiente de confiabilidad (Z) .....                                 | 49 |
| Tabla 12. Cantidad de muestras requeridas.....                                            | 49 |
| Tabla 13. Operacionalización de variables.....                                            | 51 |
| Tabla 14. Cálculo de contenido de humedad del agregado Fino.....                          | 56 |
| Tabla 15. Datos calculados.....                                                           | 58 |
| Tabla 16. Datos calculados del peso unitario suelto del agregado fino .....               | 59 |
| Tabla 17. Datos calculados del peso unitario compactado del agregado fino.....            | 59 |
| Tabla 18. Datos calculados de contenido de humedad agregado fino.....                     | 61 |
| Tabla 19. Datos calculados de peso específico y absorción del agregado fino ....          | 62 |
| Tabla 20. Datos calculados del peso unitario suelto del agregado grueso .....             | 63 |
| Tabla 21. Datos calculados del peso unitario compactado del agregado grueso ..            | 63 |
| Tabla 22. Resistencia a la compresión promedio .....                                      | 64 |
| Tabla 23. Volumen unitario de agua .....                                                  | 65 |
| Tabla 24. Contenido de aire atrapado.....                                                 | 65 |
| Tabla 25. Relación agua – cemento por resistencia .....                                   | 66 |
| Tabla 26. Peso del agregado grueso por unidad de volumen de concreto.....                 | 66 |
| Tabla 27. Fraguado inicial de los cementos.....                                           | 71 |
| Tabla 28. Variación de temperatura. ....                                                  | 71 |
| Tabla 29. Determinación de las calorías por cada tipo de cemento .....                    | 72 |
| Tabla 30. Determinación del calor de hidratación .....                                    | 73 |
| Tabla 31. Tabla de resumen del calor de hidratación por cada tipo de cemento...           | 73 |

|                                                                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 32. Evolución de la temperatura del concreto a $-5^{\circ}\text{C}$ .....                                                                                  | 75 |
| Tabla 33. Evolución de la temperatura del concreto a $5^{\circ}\text{C}$ .....                                                                                   | 76 |
| Tabla 34. Resultados de resistencia a la compresión concreto patrón dosificado con cementos Frontera IP y RumiIP.....                                            | 77 |
| Tabla 35. Resultados de resistencia a la compresión concreto patrón dosificado con cementos Yura IP y Wari I. ....                                               | 78 |
| Tabla 36. Resultados de resistencia a la compresión del concreto elaborado a $-5^{\circ}\text{C}$ y $5^{\circ}\text{C}$ dosificado con cemento Frontera IP. .... | 79 |
| Tabla 37. Resultados de resistencia a la compresión del concreto elaborado a $-5^{\circ}\text{C}$ y $5^{\circ}\text{C}$ dosificado con cemento Rumi IP.....      | 80 |
| Tabla 38. Resultados de resistencia a la compresión del concreto elaborado a $-5^{\circ}\text{C}$ y $5^{\circ}\text{C}$ dosificado con cemento Yura IP.....      | 81 |
| Tabla 39. Resultados de resistencia a la compresión del concreto elaborado a $-5^{\circ}\text{C}$ y $5^{\circ}\text{C}$ dosificado con cemento Wari I.....       | 82 |
| Tabla 40. Resistencia a la compresión del concreto a diferentes temperaturas ....                                                                                | 83 |
| Tabla 41. Dispersión entre testigos .....                                                                                                                        | 86 |
| Tabla 42. Control estadístico del concreto patrón a los 7 días .....                                                                                             | 87 |
| Tabla 43. Control estadístico del concreto patrón a los 14 días. ....                                                                                            | 87 |
| Tabla 44. Control estadístico del concreto patrón a los 28 días. ....                                                                                            | 87 |
| Tabla 45. Control estadístico del concreto edad 7 días a $5^{\circ}\text{C}$ . ....                                                                              | 87 |
| Tabla 46. Control estadístico del concreto edad 14 días a $5^{\circ}\text{C}$ . ....                                                                             | 88 |
| Tabla 47. Control estadístico del concreto edad 28 días a $5^{\circ}\text{C}$ . ....                                                                             | 88 |
| Tabla 48. Control estadístico del concreto edad 7 días a $-5^{\circ}\text{C}$ .....                                                                              | 88 |
| Tabla 49. Control estadístico del concreto edad 14 días a $-5^{\circ}\text{C}$ .....                                                                             | 88 |
| Tabla 50. Control estadístico del concreto edad 28 días a $-5^{\circ}\text{C}$ .....                                                                             | 89 |
| Tabla 51. Prueba $t_p$ para el concreto Frontera IP a una edad de 7 días.....                                                                                    | 91 |
| Tabla 52. Prueba $t_p$ para el concreto Frontera IP a una edad de 14 días.....                                                                                   | 91 |
| Tabla 53. Prueba $t_p$ para el concreto Frontera IP a una edad de 28 días.....                                                                                   | 92 |
| Tabla 54. Decisión de la hipótesis $H_0$ con el $t_p$ para el concreto Frontera IP.....                                                                          | 93 |
| Tabla 55. Decisión de la hipótesis $H_0$ con el $t_p$ para el concreto Frontera IP.....                                                                          | 94 |
| Tabla 56. Decisión de la hipótesis $H_0$ con el $t_p$ para el concreto Frontera IP.....                                                                          | 94 |
| Tabla 57. Resumen de análisis de datos con el estadístico $t$ de student dosificado con cemento Frontera IP.....                                                 | 95 |

|                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 58. Prueba tp para el concreto Rumi IP a una edad de 7 días. ....                                        | 96  |
| Tabla 59. Prueba tp para el concreto Rumi IP a una edad de 14 días. ....                                       | 96  |
| Tabla 60. Prueba tp para el concreto Rumi IP a una edad de 28 días. ....                                       | 97  |
| Tabla 61. Resumen de análisis de datos con el estadístico t de student dosificado<br>con cemento Rumi IP. .... | 99  |
| Tabla 62. Prueba tp para el concreto Yura IP a una edad de 7 días. ....                                        | 100 |
| Tabla 63. Prueba tp para el concreto Yura IP a una edad de 14 días. ....                                       | 100 |
| Tabla 64. Prueba tp para el concreto Yura IP a una edad de 28 días. ....                                       | 101 |
| Tabla 65. Resumen de análisis de datos con el estadístico t de student dosificado<br>con cemento Yura IP. .... | 103 |
| Tabla 66. Prueba tp para el concreto Wqri I a una edad de 7 días. ....                                         | 104 |
| Tabla 67. Prueba tp para el concreto Wqri I a una edad de 14 días. ....                                        | 104 |
| Tabla 68. Prueba tp para el concreto Wqri I a una edad de 7 días. ....                                         | 105 |
| Tabla 69. Resumen de análisis de datos con el estadístico t de student dosificado<br>con cemento Wari I. ....  | 106 |
| Tabla 70. Datos del calor de hidratación. ....                                                                 | 110 |
| Tabla 71. Datos de la resistencia a la compresión a los 28 días. ....                                          | 110 |
| Tabla 72. Datos para determinar la ecuación. ....                                                              | 110 |
| Tabla 73. Datos para determinar el nivel de correlación. ....                                                  | 111 |
| Tabla 74. Datos para determinar la ecuación. ....                                                              | 111 |
| Tabla 75. Datos para determinar el nivel de correlación. ....                                                  | 112 |
| Tabla 76. Datos del calor de hidratación. ....                                                                 | 113 |
| Tabla 77. Datos del tiempo de fraguado. ....                                                                   | 113 |
| Tabla 78. Datos para determinar la ecuación. ....                                                              | 113 |
| Tabla 79. Datos para determinar el nivel de correlación. ....                                                  | 114 |
| Tabla 80. Datos para determinar el nivel de correlación. ....                                                  | 115 |
| Tabla 81. Datos del tiempo de fraguado. ....                                                                   | 116 |
| Tabla 82. Datos de la resistencia a la compresión a los 28 días. ....                                          | 116 |
| Tabla 83. Datos para determinar la ecuación. ....                                                              | 116 |
| Tabla 84. Datos para determinar el nivel de correlación. ....                                                  | 117 |
| Tabla 85. Datos para determinar la ecuación. ....                                                              | 117 |
| Tabla 86. Datos para determinar el nivel de correlación. ....                                                  | 118 |

|                                                                                                                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 87. Correlación del calor de hidratación con la temperatura del concreto, tiempos de fraguado y la resistencia a compresión a los 7 días (Elaborado a 5°C).            | 120 |
| Tabla 88. Correlación del calor de hidratación con la temperatura del concreto, tiempos de fraguado y la resistencia a compresión a los 14 días (Elaborado a 5°C).           | 121 |
| Tabla 89. Tabla 90. Correlación del calor de hidratación con la temperatura del concreto, tiempos de fraguado y la resistencia a compresión a los 14 días (Elaborado a 5°C). | 121 |
| Tabla 91. Correlación del calor de hidratación con la temperatura del concreto, tiempos de fraguado y la resistencia a compresión a los 7 días (Elaborado a -5°C)            | 121 |
| Tabla 92. Correlación del calor de hidratación con la temperatura del concreto, tiempos de fraguado y la resistencia a compresión a los 14 días (Elaborado a -5°C)           | 122 |
| Tabla 93. Correlación del calor de hidratación con la temperatura del concreto, tiempos de fraguado y la resistencia a compresión a los 7 días (Elaborado a -5°C)            | 122 |
| Tabla 94. Relación entre la resistencia del concreto a una determinada edad ....                                                                                             | 123 |
| Tabla 95. Diferencia en % de resistencias frente al concreto patrón dosificado con cemento diferentes tipos de cemento a -5°C                                                | 124 |
| Tabla 96. Diferencia en % de resistencias frente al concreto patrón dosificado con cemento diferentes tipos de cemento a 5°C                                                 | 124 |

## INDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 1. Caliza, una de las principales materias primas para la fabricación del cemento. ....                                                                                                                                                                                                | 29  |
| Figura 2. Aumento de temperatura en un concreto 1:2:4 (relación agua/cemento de 0.60) elaborado con diferentes cementos y curado en forma adiabática. Se representa el calor total de hidratación de cada cemento a los tres días. (Derechos de autor reservados a la Corona Británica.) .... | 31  |
| Figura 3. Influencia del contenido de C3A en el desarrollo de calor (Contenido del C3S es aproximadamente constante).....                                                                                                                                                                     | 33  |
| Figura 4. Influencia del contenido de C3S en el desarrollo de calor. (El contenido de C3A es aproximadamente constante.) ....                                                                                                                                                                 | 33  |
| Figura 5. Evolución del calor como función del tiempo para pasta de cemento..                                                                                                                                                                                                                 | 33  |
| Figura 6. Representación esquemática de la formación hidratación del cemento portland.....                                                                                                                                                                                                    | 35  |
| Figura 7. Distribucion normal (Campana de Gauss).....                                                                                                                                                                                                                                         | 43  |
| Figura 8. Distribución teórica normal $H1: \mu\theta_{CBT} \neq \mu\theta_{CP} \rightarrow H0: \mu\theta_{CBT} = \mu\theta_{CP}$ .....                                                                                                                                                        | 45  |
| Figura 9. Ubicación del proyecto. ....                                                                                                                                                                                                                                                        | 47  |
| Figura 10. Curva granulométrica del agregado fino.....                                                                                                                                                                                                                                        | 55  |
| Figura 11. Curva granulométrica del agregado grueso. ....                                                                                                                                                                                                                                     | 60  |
| Figura 12. Grafica del comportamiento del calor de hidratación en los cementos a una temperatura de -5 °C.....                                                                                                                                                                                | 73  |
| Figura 13. Grafica del comportamiento del calor de hidratación en los cementos a una temperatura de 5 °C. ....                                                                                                                                                                                | 74  |
| Figura 14. Evolución de la temperatura del concreto a -5 °C .....                                                                                                                                                                                                                             | 75  |
| Figura 15. Evolución de la temperatura del concreto a 5° .....                                                                                                                                                                                                                                | 76  |
| Figura 16. Distribución normal (campana de Gauss).....                                                                                                                                                                                                                                        | 85  |
| Figura 17. Distribución normal .....                                                                                                                                                                                                                                                          | 85  |
| Figura 18. Estadístico t para $\alpha=0.05$ y 08 grados de libertad.....                                                                                                                                                                                                                      | 93  |
| Figura 19. Estadístico t para $\alpha=0.05$ y 08 grados de libertad.....                                                                                                                                                                                                                      | 98  |
| Figura 20. Estadístico t para $\alpha=0.05$ y 08 grados de libertad.....                                                                                                                                                                                                                      | 102 |
| Figura 21. Estadístico t para $\alpha=0.05$ y 08 grados de libertad.....                                                                                                                                                                                                                      | 106 |

|                                                                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 22. Ecuación de correlación entre el calor de hidratación y la resistencia a la compresión a los 28 días a una temperatura de -5°C..... | 111 |
| Figura 23. Ecuación de correlación entre el calor de hidratación y la resistencia a la compresión a los 28 días a una temperatura de 5°C.....  | 112 |
| Figura 24. Ecuación de correlación entre el calor de hidratación y el fraguado a una temperatura de -5°C.....                                  | 114 |
| Figura 25. Ecuación de correlación entre el calor de hidratación y el fraguado a una temperatura de 5°C. ....                                  | 115 |
| Figura 26. Ecuación de correlación entre el fraguado y la resistencia a la compresión a los 28 días a una temperatura de -5°C. ....            | 117 |
| Figura 27. Ecuación de correlación entre el fraguado y la resistencia a la compresión a los 28 días a una temperatura de 5°C.....              | 118 |
| Figura 28. Desarrollo de la resistencia de la muestra patrón.....                                                                              | 126 |
| Figura 29. Desarrollo de la resistencia de la muestra del cemento Frontera tipo IP a una temperatura de 5°C y -5°C.....                        | 127 |
| Figura 30. Desarrollo de la resistencia de la muestra del cemento Rumi tipo IP a una temperatura de 5°C y -5°C .....                           | 128 |
| Figura 31. Desarrollo de la resistencia de la muestra del cemento Yura tipo IP a una temperatura de 5°C y -5°C .....                           | 129 |
| Figura 32. Desarrollo de la resistencia de la muestra del cemento Wari tipo I a una temperatura de 5°C y -5°C .....                            | 130 |

## RESUMEN

En la actualidad, el concreto es el material más empleado en el mundo de la construcción, así mismo en estos últimos años en la región de Puno, se vienen comercializando diferentes marcas de cemento entre ellas tenemos: Rumi IP, Frontera IP, Yura IP, Wari I, una de sus propiedades más importantes es el calor de hidratación, es la razón por la cual es importante para el concreto saber el calor que libera ya que el cemento al entrar en contacto con el agua reacciona químicamente esto debido que el C3A (silicato tricálcico) contribuye más al desarrollo de la resistencia durante las primeras semanas, mientras que el C2S (silicato dicálcico) influye en el incremento posterior de la resistencia, en la investigación se ha propuesto determinar qué tipo de cemento tiene un mejor desempeño a bajas temperaturas en la ciudad de Juliaca.

El objetivo principal es conocer cómo influye el calor de hidratación en la resistencia del concreto a bajas temperaturas dosificado con los cementos comercializados en la ciudad de Juliaca.

De los resultados obtenidos concluimos que el cemento Wari libera un menor calor de hidratación para  $-5^{\circ}\text{C}$  con: 38.19 cal/gr y  $5^{\circ}\text{C}$  con: 30.44 cal/gr, esto debido a que contiene el 50 % de Silicato de tricálcico (C3S) que reducen su calor de hidratación y contribuye más al desarrollo de la resistencia durante las primeras semanas, mientras que el silicato dicálcico (C2S) con el 24% contribuye en el incremento posterior de la resistencia.

**Palabras clave:** calor de hidratación, bajas temperaturas, tiempo de fraguado, resistencia a compresión, tipos de cemento.

## **Abstract**

At present, concrete is the most used material in the world of construction, and in recent years in the region of Puno, different cement brands have been marketed among them: Rumi IP, IP Border, Yura IP, Wari I, one of its most important properties is the heat of hydration, it is the reason why it is important for the concrete to know the heat that it releases since the cement when coming into contact with water chemically reacts this because the C3A ( tricalcium silicate) contributes more to the development of resistance during the first weeks, while C2S (dicalcium silicate) influences the subsequent increase in resistance, in research it has been proposed to determine which type of cement has a better performance at low temperatures in the city of Juliaca.

The main objective is to know how the heat of hydration influences the resistance of the concrete at low temperatures dosed with the cements marketed in the city of Juliaca.

From the results obtained, we conclude that Wari cement releases a lower heat of hydration for  $-5^{\circ}\text{C}$  with: 38.19 cal / gr and  $5^{\circ}\text{C}$  with: 30.44 cal / gr, this because it contains 50% of Tricalcium Silicate ( C3S) that reduce their heat of hydration and contribute more to the development of resistance during the first weeks, while Dicalcium Silicate (C2S) with 24% contributes to the subsequent increase in resistance.

**Key words:** heat of hydration, low temperatures, setting time, compressive strength, types of cement

## **Capítulo I. Problema de investigación**

### **1.1 Identificación del problema**

El calor de hidratación es muy importante en el concreto y en el proceso de su desarrollo puesto que esta al entrar en contacto con el agua desprende un calor que si esta se ve interrumpida por cambios de temperaturas no llegara a su resistencia requerida; tomando en consideración que en la actualidad existen diversos fabricantes que comercializan el cemento en la Región Puno las cuales son: Rumi IP, Yura IP, Frontera IP, Wari I, con componentes físicos y químicos similares controlados por la normas de fabricación, es necesario saber la eficiencia de cada uno de ellos que permitirá al ingeniero tener su preferencia.

La elaboración de concreto en situaciones climáticas extremas, pueden ser a altas temperaturas o bajas temperaturas, esto influye de manera directa en sus características en las diferentes etapas como: mezclado, transporte, colocación, curado, así como en sus propiedades físicas y mecánicas. En condiciones de exposición a la intemperie, las temperaturas ordinarias de producción del concreto pueden ser muy variable, pues dependen de las características climatológicas del lugar.

La región de Puno, al encontrarse en mayor parte de su extensión a más de 3800 m.s.n.m., está expuesta a bajas temperaturas, por lo que el concreto empleado en obra es muy sensible a esta condición medioambiental durante todo el año, principalmente entre los meses de abril y setiembre cuando la temperatura desciende con frecuencia a valores bajo cero. La producción del concreto a bajas temperaturas hace que el concreto aumente su tiempo de fraguado, disminuya la tasa de desarrollo de la resistencia del concreto y un daño en el concreto endurecido por congelación del agua en su interior y contracción interna del concreto una vez endurecido.

Es importante mencionar que la preparación del concreto a temperaturas bajas sigue siendo un problema no tomado en cuenta y no estudiado de buena manera en la actualidad. Además, las actividades de construcción, en su mayoría relacionadas con la producción de concreto, se realizan en un horario que lo expone a las bajas temperaturas de la región, razón por la cual los responsables de estos deben tomar las previsiones adecuadas para la producción del concreto a bajas temperaturas.

En los últimos años en el Perú, el cemento ha sido un elemento muy importante en el área de la construcción y es el material más utilizado, por lo cual en nuestra región de Puno es necesario saber que marcas de cemento comercializados en la Región tienen mayor desempeño en sus propiedades físico –mecánicas. Uno de las propiedades importantes del concreto es la resistencia a la compresión la cual influyen muchos factores; el cemento, los agregados y el agua. En la cual con esta investigación se pretende conocer que marca de cemento tiene mejor desempeño.

## **1.2 Planteamiento del problema**

### **1.2.1 Problema general.**

¿Cómo influye el calor de hidratación en la resistencia del concreto a bajas temperaturas?

### **1.2.2 Problemas específicos.**

¿Cuál es el desarrollo del calor de hidratación en el concreto durante el fraguado inicial dosificado con cementos comercializados en la ciudad de Juliaca?

¿Cómo es el comportamiento de la resistencia a la compresión del concreto a bajas temperaturas, dosificados con cementos comercializados en la ciudad de Juliaca?

¿Qué tipo de cemento tiene mejor desempeño en la ciudad de Juliaca?

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general.**

Determinar la influencia del calor de hidratación en la resistencia del concreto a bajas temperaturas.

### **1.3.2 Objetivos específicos.**

Determinar el calor de hidratación del concreto en el fraguado inicial dosificado con cementos comercializados en la ciudad de Juliaca.

Determinar y comparar la resistencia a la compresión del concreto  $F'_c=210 \text{ Kg/cm}^2$  a bajas temperaturas, dosificado con cementos comercializados en la ciudad de Juliaca.

Identificar el tipo de cemento con mejor desempeño a bajas temperaturas en la ciudad de Juliaca.

## **1.4 Justificación**

### **Viabilidad técnica**

Conociendo que el calor de hidratación es muy fundamental en el concreto y en su desarrollo desde el momento que entra en contacto con el agua hasta que llegue a su resistencia tiene que seguir un proceso y si se ve interrumpido por cambios de temperaturas no llegara a su resistencia requerida; tomando en consideración que en la actualidad existen diversos fabricantes que comercializan el cemento en la Región Puno las cuales son: Rumi IP, Yura IP, Frontera IP, Wari I, con componentes físicos y químicos similares controlados por la normas de fabricación, es necesario saber la eficiencia de cada uno de ellos que permitirá al ingeniero tener su preferencia.

El concreto como unidad básica de la construcción debe cumplir con todas sus funciones, por lo tanto, se debe garantizar su calidad en estado fresco y en su estado endurecido, haciendo frente a las condiciones medioambientales adversas que se puedan presentar. Una condición adversa que se presenta en la región de Puno es la baja temperatura ambiental por lo que, se debe manejar de una manera cuidadosa para reducir el impacto de las bajas temperaturas sobre el concreto expuesto a las mismas.

### **Viabilidad social**

En el campo de la Ingeniería civil, el que abarca un campo de conocimientos científicos, hacia la práctica técnica y eficiente del concreto en la construcción no existen inconvenientes es necesario saber cómo es el comportamiento del calor de hidratación en el concreto por lo cual es necesario conocer cuál de las marcas de cemento tiene más eficiencia a cambios de temperaturas en la Región de Puno.

### **Viabilidad Económica**

La eficiencia del calor de hidratación en la producción de concreto a bajas temperaturas es determinada principalmente por la resistencia a la compresión del concreto, el aumento en la resistencia depende de la cantidad de cemento que se generará en la mezcla, entonces al utilizar más cemento se generará mayor costo en la elaboración de un concreto de calidad a bajas temperaturas; por otro lado, el precio de los cementos varía de acuerdo con cada fabricante. Entonces, evaluar los cementos para la producción de concreto a bajas temperaturas, que cumpla con las resistencias a la compresión requeridas de acuerdo con el tipo de estructura que se va a construir, demostraría la

importancia de su uso para evitar el deterioro prematuro del concreto y su reemplazo constante.

En la actualidad existe mucha demanda en el uso del cemento en el área de construcción, es la razón por la cual es importante conocer cuál de las marcas de cemento es más eficiente económicamente, frente a esto se busca un cemento que sea óptimo para nuestra región de Puno en este caso, la propuesta se basa en la "Influencia del calor de hidratación a distintos cambios de temperatura en concretos dosificados con cementos comercializados en la región de Puno”

#### Viabilidad medio ambiental

En esta investigación no existen inconvenientes ni impactos ambientales negativos al realizar los ensayos de laboratorio correspondientes.

.

## **Capítulo II. Revisión de la literatura**

En el área de construcción existen diferentes tipos de cementos que se utilizan para las construcciones, se realizaron diferentes estudios analizando las propiedades del concreto pero no se encuentra mucha información sobre la influencia del calor de hidratación a bajas temperaturas en el concreto en la Región de Puno, el cual es un componente principal, en la cual se tomaron como referencia las siguientes artículos de investigación.

### **2.1 Antecedentes**

Ortiz Lozano J. A, Aguado de Cea A, Zermeño de León M. E, Alonso Farrera F.A (2007), publicaron el artículo de investigación titulada “Influencia de la temperatura ambiental en la propiedades del concreto hidráulico” En este artículo se refiere que durante los meses de verano el concreto sufre muchos efectos negativos tanto en el estado fresco y endurecido su objetivo principal es optimizar su dosificación del cemento en el concreto en altas temperaturas en la cual se llegó a una conclusión que cuando menores son las variaciones de la temperatura en el concreto mejores son sus prestaciones mecánicas.

Sanchez de Rojas M. I, Frias M, Rivera J. (2000), publicaron el artículo científico “Estudios sobre de hidratación desarrollado en morteros con material puzolánicos: naturales y subproductos industriales” en la presente investigación los autores realizan el estudio del calor de hidratación, incorporando en morteros y hormigones, materiales que contienen puzolanas llegando a que las reacciones de hidratación bajen en su desarrollo adecuado. Sin embargo al sustituir la cantidad del cemento no es directamente proporcional a la disminución del calor de hidratación, debido al aporte de calor generado en la reacción puzolánica, de forma que con materiales muy activos, como el humo de sílice o las rocas opalinas, incluso se incrementa, al emplear la adición de puzolanas en los cementos, esto reduce el desprendimiento del calor durante la hidratación; sin embargo, es necesario tener en cuenta las reacciones del material puzolánico con la cal, ya que estos, desprenden calor y hacen que la depreciación no sea proporcional al grado de reemplazo de clinker en el cemento mixto. Así mismo, cuando se seleccione un material puzolánico para la elaboración de cementos de bajo calor de hidratación, es necesario tener en cuenta la composición química y mineralógica, ya que no todos van a tener diferentes comportamientos térmicos.

Gomez L. M. S. (2006), publico el artículo científico “Influencia en la Resistencia a compresión de hormigones por efecto de la temperatura ambiente” los autores se basaron en el desarrollo de la resistencia a compresión en relación a la temperatura ambiente. Evaluando en el concreto, el desarrollo de la resistencia a compresión a efectos de temperatura en la confección y colocación del concreto. La presente investigación se enfoca en el hormigonado en tiempo frío y caluroso a temperaturas mayores a 5° C y menores a 35° C. Estas para evaluar las incidencias de la temperatura ambiente al momento de la elaboración del hormigón, y posteriormente en la resistencia a compresión a a los 7 y 28 días. Donde se analizaron 778 muestras, para hormigones grado H20, H25 y H30 con un 5% y 10% de defectuoso, formados por 3 probetas cada una, siendo sometidas a ensayos de compresión a 7 y 28 días. Concluyendo, que el desarrollo de la resistencia es mayor en tiempo caluroso, así mismo en el período de fríos se tienen una pérdida de la resistencia.

Quispe G, Laura J, Chui H, Laura S. (2017), publico el artículo científico “Comportamiento de la resistencia a la compresión del concreto a diferentes altitudes en las localidades de Puno-2016)” Los autores realizan la investigación en la región altiplánico con climas frio seco sobre cotas de 3810 hasta más de 5000 m.s.n.m. La evolución del altiplano ha estado ligada fundamentalmente a los cambios de clima. La variación anual sigue la de las precipitaciones, con un aumento durante los meses de diciembre a marzo (máximo en enero o febrero, alcanzando el 70%), y una disminución entre junio y octubre (mínimo en julio, con menos del 50%). Con una dosificación C:AF:AG:A; 1:2.07:2.72:25.35 L. En la localidad de Salcedo se obtuvo una resistencia a la compresión a los 28 días (193 Kg/cm<sup>2</sup>), en la localidad de San José a los 28 días (201 kg/cm<sup>2</sup>); en la localidad de Pichacani a los 28 días (163kg/cm<sup>2</sup>) y Laraqueri (160 kg/cm<sup>2</sup>), ya que estas han presentados bastantes variabilidades del medio ambiente, estas influyen en el desarrollo del concreto, notando una relación entre la altitud y el desarrollo del concreto. Así mismo se pudo constatar que a mayor altitud disminuye la resistencia del concreto en su estado endurecido. Rahhal V. F, Bonavetti V. L, Talero R, (2005), publicaron el artículo científico “Hidratación temprana de cementos con mediano y alto contenido de adiciones minerales cristalina” en este artículo se analiza como es el comportamiento con las adiciones de dos minerales (caliza y cuarzo) en dos tipos de cementos portland de diferentes composiciones, incorporando el SO<sub>3</sub> hasta un 7%, los resultados demostraron que la composición del clinker tiene efectos negativos sobre la

calorimetría de los cementos. En conclusión el cuarzo y la caliza tienen una intensa estimulación en la hidratación.

Sánchez de Rojas M. I, Frías M. (2017) Publicaron el artículo de investigación “Comportamiento térmico de los materiales puzolánicos en la hidratación del cemento” en el presente artículo se incorporaron materiales con puzolanas en morteros para poder disminuir la hidratación y en donde se vio que la disminución del calor de hidratación no es proporcional a la cantidad de cemento sustituido. El artículo llega a una conclusión que el empleo de puzolanas en cementos reduce el calor desprendido en la hidratación.

## 2.2 Marco teórico

### 2.2.1 Cemento.

El cemento portland es el producto del clinker finamente molido sometiendo a altas temperaturas, entre ellas están la cal, alúmina, fierro y sílice en proporciones ya definidas, cuando esta se combina con el agua y el hormigón tiene la propiedad de transformarse en una masa dura. (Abanto, 2009, pág. 15)

### 2.2.2 Composición química del cemento

El cemento es la mezcla de varios compuestos de los cuales hay cuatro compuestos que constituyen más del 90% del peso del cemento los cuales son:

Tabla 1.

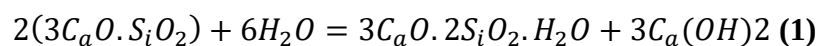
#### *Compuestos del cemento portland*

| NOMBRE DEL OXIDO            | FORMULA                | ABREVIATURA |
|-----------------------------|------------------------|-------------|
| silicato tricálcico         | $3CaOSiO_2$            | $C_3S$      |
| silicato dicálcico          | $2CaOSiO_2$            | $C_2S$      |
| Aluminio tricálcico         | $3CaOAl_2O_3$          | $C_3A$      |
| Ferroaluminato tetracálcico | $4CaOFe_2O_3 Al_2 O_3$ | $C_4AF$     |

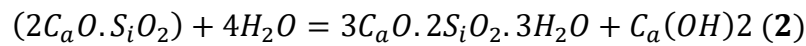
*Fuente: Sánchez de Guzmán (2001).*

La hidratación de cada tipo de cemento depende mucho de las reacciones que existen entre los minerales del cemento ( $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$  y  $C_4AF$ ) y el agua.

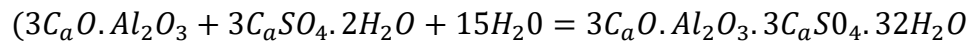
**El C3S (alita).** El silicato cálcico es inestable en el cemento, cuando esta entra en contacto con el agua se cambia en silicato de calcio hidratado, también conocida como tobermorita gel y en hidróxido de calcio, así:



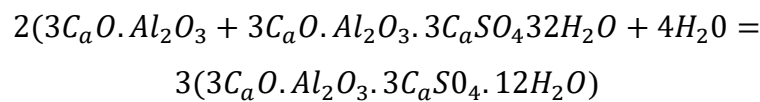
**El silicato dicálcico (C2S - belita)** Esta al entrar en contacto con el agua o hidratarse se convierte en tobermorita gel, y en hidróxido de calcio, pero contrastando con la formula anterior (1) el hidróxido de calcio se produce en menos cantidad.



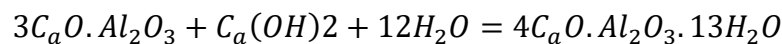
**El aluminato de calcio (C3A - celita)** Esta al mezclarse con el yeso y el agua produce la etringita.



Cuando el agua y el aluminato de calcio y la etringita se mezclan se convierte en monosulfato.



**El aluminato de calcio (C3A)** Esta al mezclarse con hidróxido de calcio y agua se obtiene el aluminato de calcio hidratado:



Las características de los principales minerales del cemento son:

**Tobermorita gel (CSH):** Está comprometido con la estructura interna de la pasta de cemento y la adherencia con los áridos en los morteros también con la resistencia mecánica de estos aglomerados, por lo que es un mineral necesario en la pasta del cemento.

**Portlandita (hidróxido de calcio).** Esta encargado de mantener el pH de la pasta de cemento en valores altos (12-13), es como reserva alcalina, esta a su vez mantiene a los concretos armados protegidos contra la corrosión (Calleja, 2001).

Esta a su vez no solo tiene efectos positivos también tiene sus efectos negativos como: solubilidad en agua y fácilmente lixiable por disolución, por lo tanto esta se puede sufrir de expansión y ruptura para luego formarse en etringita, se descompone fácilmente al llegar a una temperatura de (600C°) (Calleja, 2001).

Esta se encuentra en formas alargadas lo que genera esta es una expansión y siempre se encuentra dentro de grietas o fisuras del concreto dañado y se produce a los 28 días, esta depende mucho de las condiciones de curado.

**Etringita (trisulfoaluminato de calcio):** Esta se encuentra en formas alargadas lo que genera esta es una expansión y siempre se encuentra dentro de grietas o fisuras del concreto dañado y se produce a los 28 días, esta depende mucho de las condiciones de curado.

### 2.2.3 Tipos de cemento.

El cemento portland se clasifican en diversos tipos, los cuales están especificados en la norma ASTM - C – 150 - 99a ellos son:

- Cemento Portland Tipo I, Brindan mayor resistencia inicial y menores tiempos de fraguado, por lo que es recomendable su uso en climas fríos.
- Cemento Portland Tipo II, De moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación. Para emplearse en estructuras con ambientes agresivos y/o en vaciados masivos.
- Cemento Portland Tipo III, Desarrollo rápido de resistencia con elevado calor de hidratación. Para uso en clima frío ó en los casos en que se necesita adelantar la puesta en servicio de las estructuras.
- Cemento Portland Tipo IV, de despreciable calor de hidratación
- Cemento Portland Tipo V, de alta resistencia al ataque de sulfatos. Para ambientes muy agresivos.

En la norma ASTM-C-595-00, especifica las características de los cementos adicionados la cuales son:

Tipo IS: Cemento Portland al que se le ha adicionado entre 25% y 70% en escoria de alto horno.

Tipo ISM: Cemento Portland al que se ha adicionado menos del 25% en escoria de alto horno.

Tipo IP: Cemento Portland al que se le ha adicionado entre 15% y 40% en puzolana.

Tipo IPM: Cemento Portland al que se le ha adicionado menos del 15% en puzolana.

### **2.2.2.1 Cemento Portland tipo IP.**

Los cementos portland tipo IP se usan en construcciones, estas se fabrican como como los demás tipos de cemento, primero se hace la molienda del clínker solo que en esta se le adiciona entre 15% y 40% de puzolana esta a su vez tiene un desempeño similar al cemento tipo I, además el tipo IP tiene una moderada resistencia a los sulfatos y un moderado calor de hidratación y el tipo. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

En el mercado de la región de Puno, actualmente existen dos empresas distribuidoras de cemento Tipo IP:

- Cemento Portland Rumi Tipo IP
- Cemento Portland Frontera Tipo IP

### **2.3.1 Proceso de fabricación del cemento Portland.**

El cemento portland está mezclado principalmente de materias primas calcificados como la caliza, alúmina y sílice, que se hallan como arcilla o pizarra. Asimismo se utiliza la marga, que es una composición de materiales calcáreos y arcillosos. La materia prima para la elaboración del cemento portland se halla en casi todos los países, y las fábricas de cemento aplican en todo el mundo. (Neville, 1999)

“Las materias primas usados para la elaboración del cemento portland deben contener cantidades adecuadas de los compuestos de calcio, sílice, alúmina y hierro” (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

#### **2.3.1.1 Extracción.**

El proceso industrial comienza con la extracción de las materias primas escogidas se trasladan de una cantera, se trituran, se muelen y se dosifican de tal modo que la harina resultante tenga la constitución requerida. La harina cruda es una mezcla de carbonato de calcio sílice, alúmina y esquisto. La fabricación del cemento es por vía seca y húmeda. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

“Las materias primas son finamente molidas e profundamente mezcladas, se calientan para la iniciación de la fusión (1400 - 1450 °C), en hornos grandes que están en constante giro estas pueden llegar a medir más de 200 mts de longitud y 5.50 mts de diámetro” (Abanto, 2009, pág. 15).

El material derretido que sale del horno se le nombra Clinker (pequeñas bolas de color negruzco que son duras y salen en diferentes tamaños).

Una vez enfriado se muele en un polvo muy fino el clinker, es o que forma el cemento portland comercial, en el momento de la molienda se le añade una cantidad de yeso entre 3% y 4% para poder controlar el fraguado del cemento.

El elemento más primordial del cemento es la cal, seguido de la sílice, la alúmina y finalmente el óxido de hierro.

Los componentes principales son:

Sílice (anhídrido silícico)..... $S_lO_2$

Cal (óxido cálcico)..... $C_aO$

Alúmina (óxido alúmino)..... $Al_2O_3$

Oxido férrico.....  $F_e2O_3$

La sílice y la cal forman, en conjunto, aproximadamente del 70% al 75% del total del Clinker, en forma de silicatos cálcicos de distinta basicidad.

La sílice y la cal formal, en conjunto el 70% al 75% del clínker.

La alúmina y el óxido férrico reciben el nombre de fundibles porque, juntamente con la magnesia y los álcalis, componen la fase líquida del Clinker y proveen las reacciones entre la sílice y la cal. Forman con esta última los aluminatos. (Rivva, 2000, pág. 34)

El siguiente cuadro da una idea de la composición de óxidos del cemento:

CaO..... 60% al 67%

SiO<sub>2</sub>.....17% al 25%

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.....3% al 8%

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.....0.5 % al 6%

### **2.3.1.2 La cal.**

Es el elemento más significativo del cemento. La caliza es la que proporciona principalmente el  $C_aCO_3$ .

La roca caliza al calentarse se descompone en cal viva ( $C_aO$ ) y en anhídrido carbónico ( $CO_2$ ). Este proceso se efectúa ligeramente a 1000 °C, cuando el material llega a lograr un color rojo vivo. La cal viva no impresiona mucho en su aspecto inicial pero experimenta una pérdida de peso del 44% debido al desprendimiento del anhídrido carbónico. Por este motivo su porosidad es mayor que la de la caliza original. (Rivva, 2000)

Los pequeños poros absorben ligeramente el agua de apagado, reaccionando el óxido de calcio con el agua para transformarse en hidrato cálcico.

Las partículas de hidrato cálcico son muy pequeñas y esta masa de granulometría muy fina origina fuerza aglomerante al desecar paulatinamente sin embargo, el verdadero endurecimiento del mortero de cales causado por el anhídrido carbónico presente en el aire el cual, al desecar el mortero, incluye gradualmente a través de los poros transformándose el hidróxido de calcio en carbonato de calcio petrificado. (Rivva, 2000)

La resistencia de la cal dura es baja, pero tiene un grado considerable de elasticidad y firmeza de volumen bajo condiciones de humedad.

### **2.3.1.3 La sílice.**

Es un material muy resistente que no puede ser disuelto en agua, ni dañado por los ácidos excepto por el fluorhídrico. Esta al ser sometida a calor puede aguantar transformaciones en su forma cristalina y cambios en volumen. Químicamente no sufre cambios al alcanzar los 1900 °C se funde y al enfriarse se endurece constituyendo una masa vítrea, conocida como vidrio de cuarzo. (Rivva, 2000)

### **2.3.1.3 Alúmina.**

La alúmina ( $Al_2O_3$ ) está relacionada con la arcilla que contiene dicho óxido en cantidad considerable. Se considera en la composición normal de la arcilla que el porcentaje de sílice es aproximadamente el doble del correspondiente a la suma de la alúmina y el óxido férrico, y el de la alúmina es el doble del de óxido férrico. (Rivva, 2000)

#### 2.3.1.4 Óxido de hierro.

“El óxido férrico es un componente importante de los minerales férricos y sus minerales lo contienen casi todos los cementos así sea en pequeñas cantidades. Menos el cemento blanco que debe estar libre de este óxido” (Rivva, 2000).



*Figura 1.* Caliza, una de las principales materias primas para la fabricación del cemento.

#### 2.3.2 Componentes químicos y físicos de los cementos Rumi, Yura, Frontera y Wari.

Tabla 2.

*Requisitos químicos de los 4 tipos de cemento.*

| Requisitos químicos      | Cemento Portland Rumi IP | Cemento Portland Yura IP | Cemento Portland Frontera IP | Cemento Portland Wari I |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------|
| MgO (%)                  | 1.99                     | 1.99                     | 1.99                         | 1.78                    |
| SO <sub>3</sub> (%)      | 1.75                     | 1.75                     | 1.75                         | 2.74                    |
| Perdida por ignición (%) | 2.14                     | 2.14                     | 2.14                         | 2.5                     |

*Fuente:* Ficha técnica de los cementos.

Tabla 3.

*Requisitos físicos de los 4 tipos de cemento.*

| Requisitos físicos                    | Cemento Portland Rumi IP | Cemento Portland Yura IP | Cemento Portland Frontera IP | Cemento Portland Wari I |
|---------------------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------|
| Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> ) | 2.85                     | 2.85                     | 2.85                         | 3.14                    |
| Expansión en autoclave (%)            | 0                        | 0                        | 0                            | 0.08                    |
| fraguado vicat inicial (min)          | 170                      | 170                      | 170                          | 130                     |
| fraguado vicat final (min)            | 270                      | 270                      | 270                          | 215                     |

*Fuente:* Ficha técnica de los cementos.

#### **2.4.1 Calor de hidratación.**

La hidratación de los compuestos químicos del cemento es exotérmica, esta puede llegar a liberar un calor de 500 J/s (120cal/g). Ya que la conductividad del concreto es baja solo actúa como un aislante, al interior de concretos de espesores grandes la temperatura puede tener un fuerte aumento y esto puede hacer que la masa exterior pierda calor, y producir graves agrietamientos. Sin embargo este comportamiento se modifica por la fluencia del concreto.

En el otro extremo, el calor producido por la hidratación del cemento puede impedir la congelación del agua en los capilares del concreto colocado en tiempo de frío y es conveniente, por lo tanto, que haya una fuerte dispersión de calor. Sin duda, se aconseja conocer las propiedades productoras de calor de diferentes cementos para poder elegir el más adecuado para un propósito dado. Se puede agregar que el calentamiento o el enfriamiento artificiales también pueden influir en la temperatura del concreto joven.

La temperatura a la cual se produce la hidratación afecta mucho la rapidez de desarrollo del calor, como se puede ver por los datos de la tabla 4, los cuales representan el calor desarrollado después de 72 horas a diferentes temperaturas. Hay poco efecto de la temperatura sobre el valor de largo plazo del calor de hidratación.

Para efectos prácticos no es obligatorio el calor de hidratación, sino más bien la velocidad con la cual esta se desarrolla, esta se puede medir fácilmente con un calorímetro adiabático, en la figura 2 se puede observar las curvas entre el tiempo y la temperatura en condiciones adiabáticas

Para efectos prácticos no es obligatorio el calor de hidratación, sino más bien la velocidad con la cual esta se desarrolla, esta se puede medir fácilmente con un calorímetro adiabático, en la figura 2 se puede observar las curvas entre el tiempo y la temperatura en condiciones adiabáticas. (La relación 1:2:4 representa la proporción por masa de cemento: agregado fino: agregado grueso).

Para las variedades usuales de cemento portland, Bogue observó que alrededor de una mitad del calor total se libera entre uno y tres días; cerca de %, en siete días; y de 83 a 91.

Tabla 4.

*Calor de hidratación después de 72 horas a diferentes temperaturas.*

| Tipo de cemento | Calor de hidratación desarrollado a |     |       |     |       |     |       |     |
|-----------------|-------------------------------------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
|                 | 4 °C                                |     | 24°C  |     | 32°C  |     | 41°C  |     |
|                 | cal/g                               | j/g | cal/g | j/g | cal/g | j/g | cal/g | j/g |
| I               | 36.9                                | 154 | 68    | 285 | 73.9  | 309 | 80    | 335 |
| III             | 52.9                                | 221 | 83.2  | 348 | 85.3  | 357 | 93.2  | 390 |
| IV              | 25.7                                | 108 | 46.6  | 195 | 45.8  | 192 | 51.2  | 214 |

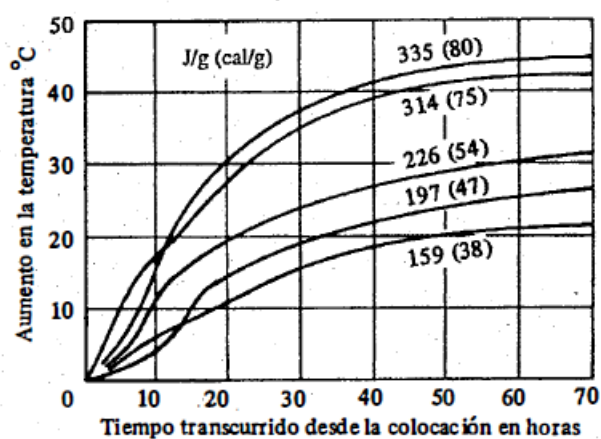


Figura 2. Aumento de temperatura en un concreto 1:2:4 (relación agua/cemento de 0.60) elaborado con diferentes cementos y curado en forma adiabática. Se representa el calor total de hidratación de cada cemento a los tres días. (Derechos de autor reservados a la Corona Británica.)

Por ciento del calor total, en seis meses. El valor real del calor de hidratación depende de la composición química del cemento y es muy aproximadamente una suma de los calores de hidratación de los compuestos individuales cuando se hidratan separadamente. De aquí se puede inferir que, dada la mezcla de componentes de un cemento, el calor de hidratación puede calcularse con un grado de exactitud bastante acertado. En la tabla 3 se proporcionan algunos valores típicos del calor de hidratación de los compuestos puros.

Tabla 5.

*Calor de hidratación de compuestos puros.*

| Compuestos | Calor de hidratación |     |
|------------|----------------------|-----|
|            | cal/g                | J/g |
| C3S        | 120                  | 502 |
| C2S        | 62                   | 260 |
| C3A        | 207                  | 867 |
| C4AF       | 100                  | 419 |

Se puede observar que no existe una relación entre los calores de hidratación y las propiedades cementantes de los compuestos individuales. Woods, Steinour y Starkel. Probaron varios cementos comerciales y, haciendo uso del método de los cuadrados mínimos, calcularon la contribución de los compuestos individuales al calor total de hidratación del cemento. Ellos obtuvieron ecuaciones del tipo que sigue: el calor de hidratación de 1 g de cemento es

$$136(C_3S) + 62(C_2S) + 200(C_3A) + 30C_4AF)$$

Donde los términos entre paréntesis indican el porcentaje por masa de los compuestos individuales presentes en el cemento. Un trabajo posterior confirmó ampliamente la contribución de los valores compuestos al calor de hidratación del cemento excepto en el caso de  $C_2S$ , cuya contribución se encontró como de la mitad de lo que se da arriba.

Puesto que durante las primeras etapas de la hidratación los diferentes compuestos se hidratan a distintas velocidades; la velocidad de desarrollo del calor, al igual que el calor total, depende de la composición de los compuestos del cemento. De aquí se deduce que, reduciendo las proporciones de los compuestos que se hidratan con más rapidez ( $C_3A$  y  $C_3S$ ), se puede disminuir la alta velocidad de liberación del calor en la edad temprana del concreto.

La finura del cemento también influye en la velocidad de desarrollo del calor liberado. Es razonable suponer que la rapidez temprana de hidratación de cada compuesto del cemento es proporcional al área superficial del cemento. Sin embargo, en las últimas etapas, el efecto del área superficial es despreciable y la cantidad total de calor liberado no es afectada por la finura del cemento.

La influencia de  $C_3A$  y  $C_3S$  puede observarse con las figuras 3 y 4 Como ya se ha mencionado, en muchas aplicaciones del concreto se recomienda tener un desarrollo de calor controlado, para lo cual se han elaborado cementos adecuados. Uno de estos cementos es el cemento portland de bajo calor, que. La velocidad de desarrollo de calor de éste y otros cementos se muestra en la figura 5.

La cantidad de cemento en la mezcla también afecta el calor total desarrollado; de este modo, la riqueza de la mezcla puede variar para ayudar a controlar el calor desarrolla

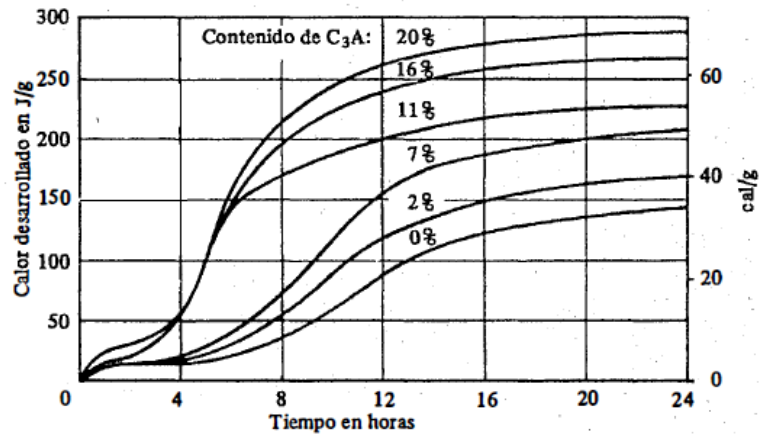


Figura 3. Influencia del contenido de C3A en el desarrollo de calor (Contenido del C3S es aproximadamente constante)

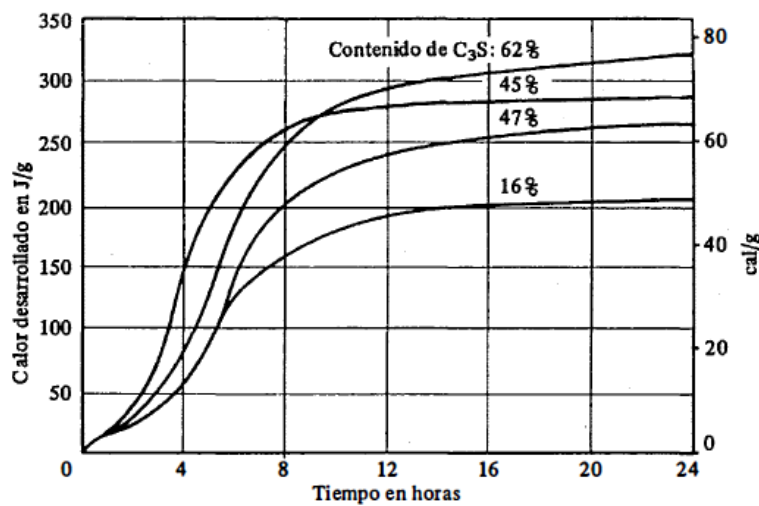


Figura 4. Influencia del contenido de C3S en el desarrollo de calor. (El contenido de C3A es aproximadamente constante.)

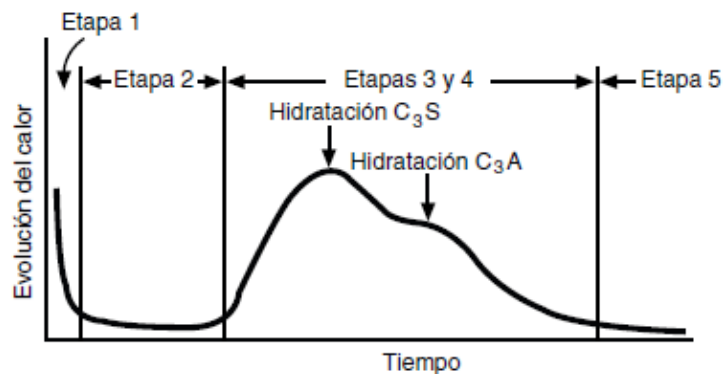


Figura 5. Evolución del calor como función del tiempo para pasta de cemento

En la etapa de endurecimiento se originan reacciones que producen calor. Si las secciones son pequeñas donde el calor pueda liberarse, ya no será significativo el calor de hidratación, pero

si concentramos altos volúmenes de concreto y el calor no sea tan fácil de liberarse debemos tener en cuenta; tener en cuenta que la temperatura que genere la hidratación llega a los 50° C en presas. (Abanto, 2009)

Los componentes del calor de hidratación son los siguientes:

$$C_3S = 120 \frac{Cal}{gr}$$

$$C_2S = 62 \frac{Cal}{gr}$$

$$C_3A = 107 \frac{Cal}{gr}$$

$$C_4AF = 100 \frac{Cal}{gr}$$

### **2.5.1 Hidratación del concreto.**

Cuando la pasta de cemento y el agua se mezclan, el cemento portland se convierte en un agente de enlace, el agua, silicatos y aluminatos mencionados en la tabla 1 son parte de la hidratación.

Cada tipo de cemento reacciona de diferente manera cuando esta entra en contacto con el agua, cuando, se produce una adición directa de algunas moléculas de agua, lo cual constituye una reacción de hidratación real. El segundo tipo de reacción con agua es la hidrólisis.

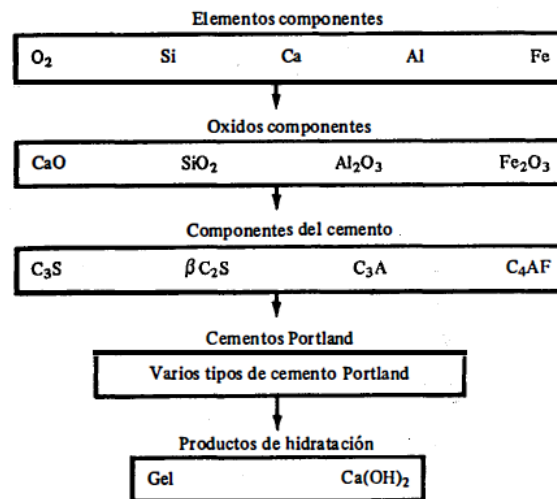


Figura 6. Representación esquemática de la formación hidratación del cemento portland

#### 2.5.1.1 Etapas de hidratación del concreto

La hidratación es la reacción química que ocurre al mezclarse el cemento con el agua, con lo que se llega a conseguir de un estado plástico a un estado endurecido.

La velocidad con la cual se desarrolla el calor de hidratación depende mucho de la finura del cemento, por lo que al inicio es muy rápido y disminuye paulatinamente con el transcurso de los días.

##### 2.5.1.1.1 Plástico

Cuando la relación Agua/Cemento es menor, las partículas del cemento tienen mayor concentración en la pasta compactada y por ende se vuelve más resistente. Uno de los primeros elementos en reaccionar es el C<sub>3</sub>A, seguidamente los silicatos y el C<sub>4</sub>AF, en el estado plástico llega a formarse el hidróxido de calcio y esta incrementa la alcalinidad de la pasta con un PH de orden 13.

##### 2.5.1.1.2 Fraguado inicial

Básicamente inicia con la pérdida de la plasticidad, esto cuando aceleran las reacciones químicas que las componen, es la fase en que se evidencia el transcurso exotérmico donde se genera el calor de hidratación, que es consecuencia de las reacciones químicas. Donde se forman estructuras porosas llamada gel de Hidratos de Silicatos de Calcio (CHS o Torbemorita), con consistencia coloidal intermedia entre sólido y líquido que va rigidizándose cada vez más en la medida que se siguen hidratando los silicatos. Esta etapa dura aproximadamente 03 horas y produciendo una serie de reacciones

químicas que van haciendo al gel CHS más sólido con el transcurso del tiempo. En este periodo la pasta puede re-mezclarse sin ocasionar deformaciones permanentes ni cambios en la estructura que aún está en formación.

#### *2.5.1.1.3 Fraguado final*

Este proceso se genera al término de la etapa de fraguado inicial, caracterizándose por un endurecimiento significativo y deformaciones permanentes. La distribución del gel está conformada por el ensamble definitivo de sus partículas endurecidas.

#### *2.5.1.1.4 Endurecimiento*

Esta se produce a partir del fraguado final y en la cual con el tiempo esta aumenta sus características resistentes, es el estado final de la pasta. Existen dos tipos de fraguado; el primero llamado “Fraguado falso” esta se produce debido a que algunos cementos al calentamiento durante la molienda del Clinker con el yeso, produciendo la deshidratación del producto proveniente, al mezclarse el agua con el cemento ocurre una cristalización y endurecimiento aparente durante los dos primeros minutos del mezclado esta a su vez remezclando la pasta recobra su plasticidad.

El segundo fenómeno es el “Fraguado violento” que ocurre cuando en la fabricación no se añadió la cantidad suficiente de yeso en consecuencia esta produce un endurecimiento inmediato, ocasionando un desarrollo violento del calor de hidratación y pérdida de la plasticidad. (Pasquel Carvajal, 1998)

### **2.6.1 Temperatura.**

Es una magnitud física que mide la cantidad de calor que tiene un cuerpo, objeto o ambiente. Esta magnitud mide la cantidad de energía térmica que posee cada cuerpo. El instrumento de medición de temperatura es el termómetro.

#### ***2.6.1.1 Temperatura ambiental***

Se define como la temperatura del aire circundante. La temperatura ambiental es un factor de suma relevancia al momento de hormigonar elementos estructurales en toda obra civil, de ahí se deriva la importancia de conocer este factor ambiental, lo cual se logrará en el desarrollo de la presente investigación.

#### ***2.6.1.2 Temperatura de inicio de colocación del concreto***

La máxima temperatura en el concreto dependerá de la temperatura inicial de colocación del concreto, esto hace que sea indispensable un control al inicio de vaciado.

La contribución de temperatura de cada ingrediente dependerá de la cantidad de cada material y el calor específico.

Para calcular la temperatura aproximada de inicio de vaciado, se usará la siguiente formula:

$$(^{\circ}C)=0.22(T_aM_a+T_cM_c)+T_wM_w(M_a+M_c)+M_w$$

Dónde:

T: temperatura inicial del concreto ( $^{\circ}C$ )

Ta: temperatura de los agregados ( $^{\circ}C$ )

Tc: temperatura del cemento ( $^{\circ}C$ )

Tw: temperatura del agua de la mezcla excluyendo el hielo. ( $^{\circ}C$ )

Ma: peso de los agregados (kg)

Mc: peso del cemento (kg)

Mw: peso del agua de mezcla (kg)

El agua de mezcla representa un pequeño porcentaje de la mezcla, que debido a su calor específico puede aportar en la disminución de la temperatura del concreto. Para mejorar esta facilidad del agua, se puede usar hielo como parte del agua de mezcla desde que se derrita completamente.

#### ***2.6.1.3 Transporte de la mezcla***

Básicamente planificar el procedimiento de producción del concreto, teniendo en cuenta los traslados a distancias largas de transporte, de largas esperas en la colocación y largas canaletas de vertido de tal manera que se reduzcan las pérdidas de calor. Podemos tener una referencia de las pérdidas de calor o temperatura cuando se trasladan la mezcla en un camión concretero:  $Dt = 0.25 (T - T_a)$

Donde:

Dt = Pérdida de calor o temp. ( $^{\circ}C$ / Hora de espera)

T = Temperatura deseada en obra

Ta = Temperatura ambiente.

Tabla 6.

*Registros históricos de las temperaturas ambientales máximas y mínimas.*

| <b>Registros históricos de las temperaturas ambientales máximas y mínimos - Estación Juliaca.</b> |                    |                   |                    |                   |                    |                   |                    |                   |                    |                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
|                                                                                                   | <b>AÑO 2015</b>    |                   | <b>AÑO 2016</b>    |                   | <b>AÑO 2017</b>    |                   | <b>AÑO 2018</b>    |                   | <b>AÑO 2019</b>    |                   |
| <b>MES</b>                                                                                        | <b>T. MAX (°C)</b> | <b>T.MIN (°C)</b> | <b>T. MAX (°C)</b> | <b>T.MIN (°C)</b> | <b>T. MAX (°C)</b> | <b>T.MIN (°C)</b> | <b>T. MAX (°C)</b> | <b>T.MIN (°C)</b> | <b>T. MAX (°C)</b> | <b>T.MIN (°C)</b> |
| <b>ENERO</b>                                                                                      | 14.80              | 4.87              | 18.35              | 4.82              | 15.71              | 5.59              | 15.51              | 5.42              | 16.72              | 5.34              |
| <b>FEBRERO</b>                                                                                    | 16.05              | 4.94              | 16.59              | 6.64              | 17.41              | 5.05              | 15.28              | 5.68              | 15.80              | 5.73              |
| <b>MARZO</b>                                                                                      | 16.06              | 4.76              | 18.84              | 3.36              | 15.27              | 5.19              | 15.75              | 5.27              | 17.14              | 4.67              |
| <b>ABRIL</b>                                                                                      | 14.75              | 4.34              | 17.28              | 2.33              | 16.38              | 2.99              | 16.75              | 0.59              | 16.61              | 3.48              |
| <b>MAYO</b>                                                                                       | 15.88              | -0.40             | 17.40              | -3.95             | 16.16              | 0.62              | 16.43              | -3.18             | 17.48              | -4.43             |
| <b>JUNIO</b>                                                                                      | 16.36              | -4.28             | 16.56              | -5.69             | 16.39              | -4.33             | 14.68              | -3.20             | 15.98              | -4.57             |
| <b>JULIO</b>                                                                                      | 15.33              | -5.84             | 16.22              | -4.81             | 16.21              | -5.70             | 14.84              | -3.15             | 15.76              | -5.22             |
| <b>AGOSTO</b>                                                                                     | 16.41              | -3.89             | 17.16              | -4.14             | 17.61              | -4.96             | 15.68              | -2.22             |                    |                   |
| <b>SETIEMBRE</b>                                                                                  | 17.63              | 0.56              | 18.28              | -1.30             | 16.54              | 1.38              | 17.77              | -2.55             |                    |                   |
| <b>OCTUBRE</b>                                                                                    | 18.06              | 1.00              | 17.75              | 7.05              | 18.08              | 0.84              | 17.21              | 3.31              |                    |                   |
| <b>NOVIEMBRE</b>                                                                                  | 19.39              | 3.13              | 19.16              | 1.00              | 19.19              | 2.89              | 19.32              | 3.72              |                    |                   |
| <b>DICIEMBRE</b>                                                                                  | 17.71              | 3.65              | 18.34              | 4.82              | 17.59              | 4.00              | 17.87              | 4.03              |                    |                   |

*Fuente: Senamhi - estación Juliaca.*

Tabla 7.

*Identificación de las temperaturas de los meses más críticos*

| <b>Registro de temperaturas mínimas más críticas - Estación Juliaca.</b> |                        |                       |                        |                       |                        |                       |                        |                       |                        |                       |
|--------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
|                                                                          | <b>AÑO 2015</b>        |                       | <b>AÑO 2016</b>        |                       | <b>AÑO 2017</b>        |                       | <b>AÑO 2018</b>        |                       | <b>AÑO 2019</b>        |                       |
| <b>MESES</b>                                                             | <b>T. MAX<br/>(°C)</b> | <b>T.MIN<br/>(°C)</b> | <b>T. MAX<br/>(°C)</b> | <b>T.MIN<br/>(°C)</b> | <b>T. MAX<br/>(°C)</b> | <b>T.MIN<br/>(°C)</b> | <b>T. MAX<br/>(°C)</b> | <b>T.MIN<br/>(°C)</b> | <b>T. MAX<br/>(°C)</b> | <b>T.MIN<br/>(°C)</b> |
| <b>MAYO</b>                                                              | 15.88                  | -0.40                 | 17.40                  | -3.95                 | 16.16                  | 0.62                  | 16.43                  | -3.18                 | 17.48                  | -4.43                 |
| <b>JUNIO</b>                                                             | 16.36                  | -4.28                 | 16.56                  | -5.69                 | 16.39                  | -4.33                 | 14.68                  | -3.20                 | 15.98                  | -4.57                 |
| <b>JULIO</b>                                                             | 15.33                  | -5.84                 | 16.22                  | -4.81                 | 16.21                  | -5.70                 | 14.84                  | -3.15                 | 15.76                  | -5.22                 |
| <b>AGOSTO</b>                                                            | 16.41                  | -3.89                 | 17.16                  | -4.14                 | 17.61                  | -4.96                 | 15.68                  | -2.22                 |                        |                       |
| <b>SETIEMBRE</b>                                                         | 17.63                  | 0.56                  | 18.28                  | -1.30                 | 16.54                  | 1.38                  | 17.77                  | -2.55                 |                        |                       |

*Fuente:* Senamhi - estación Juliaca.

Tabla 8.

*Promedio aritmético de las temperaturas más críticas.*

| <b>MAYO</b>  | <b>JUNIO</b> | <b>JULIO</b> | <b>AGOSTO</b> | <b>SETIEMBRE</b> |
|--------------|--------------|--------------|---------------|------------------|
| -0.40        | -4.28        | -5.84        | -3.89         | 0.56             |
| -3.95        | -5.69        | -4.81        | -4.14         | -1.30            |
| 0.62         | -4.33        | -5.70        | -4.96         | 1.38             |
| -3.18        | -3.20        | -3.15        | -2.22         | -2.55            |
| -4.43        | -4.57        | -5.22        |               |                  |
| <b>-2.27</b> | <b>-4.41</b> | <b>-4.94</b> | <b>-3.80</b>  | <b>-0.48</b>     |

*Fuente:* Elaboración propia.

### **2.7.1 Concretos en climas fríos.**

El ACI-306R establece al clima frío si la temperatura ambiental media por más de 3 días consecutivos es menor de 5°C. La N.T.P. E-060 considera clima frío a las temperaturas ambientales que están por debajo de 5 °C en cualquier período del año. El concreto al congelarse teniendo el agua libre en su interior este se convierte en hielo y por consecuencia este aumenta su volumen que en estado sólido rompe la débil adherencia entre las partículas del concreto, si todavía no inició la etapa de endurecimiento. Este por consecuencia de las bajas temperaturas produce una disminución de la reacción química, para la etapa de endurecimiento del concreto el cual puede llegar a bajar notablemente. Para no ocasionar disminuciones en la resistencia final del concreto a causa del congelamiento el (ACI o BS8110) establece la resistencia mínima de 35 kg/cm<sup>2</sup>, siendo muy importante la protección del concreto durante las primeras 24 horas hasta lograr esa resistencia mínima.

Ingeniero Civil egresado de la Universidad Nacional de Ingeniería, Ingeniero Asistente del Laboratorio de Ensayos de Materiales UNI, 1989. Director Regional de Vivienda y Construcción – Tacna, 2001. La Norma E-060 (Perú), obliga a tener en obra un equipo adecuado para calentar el agua y/o agregados, así como para proteger el concreto durante la colocación del concreto y el subsiguiente período de fraguado cuando la temperatura ambiente es menor de 5° C. En general las medidas a adoptar en climas fríos se resumen en:

a) Controlar la temperatura del concreto dentro de rangos permisibles durante la preparación, transporte, colocación y curado.

b) Evitar que el concreto se congele hasta lograr su resistencia mínima

### **2.7.2 Agua.**

Al ser uno de los elementos fundamental en la elaboración del concreto, estando relacionado con la resistencia, trabajabilidad y propiedades del concreto endurecido es un factor muy importante a tener en cuenta debiendo cumplir ciertos requisitos.

Requisitos que debe cumplir

Ser limpia y estar libre de cantidades perjudiciales de, ácidos, aceites, material orgánico, sales, álcalis y otras sustancias que puedan ser perjudiciales al concreto.

Valores máximos admisibles de las sustancias existentes en el agua a utilizarse en la preparación del concreto:

Tabla 9.  
*Requisitos para el agua de mezcla*

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

*Fuente: NTP 339.088*

Ensayo de resistencia a la compresión a los 7 y 28 días, preparando testigos con agua destilada o potable, considerándose como satisfactorias aquellas que arrojen una resistencia mayor o igual a 90% que la del concreto preparado con agua potable.

Los ensayos rápidos no pueden reemplazar a los de laboratorio, y sólo se utilizan para tener indicios que posteriormente se comprobarán en un laboratorio competente.

### 2.7.3 Tratamiento estadístico.

#### 2.7.3.1 Prueba de hipótesis

En el análisis estadístico se plantea una hipótesis, después se realizan las pruebas para verificar la afirmación o para determinar que no es verdadera.

Córdova Manuel (2003) “previamente debe formularse el problema estadístico, determinar la variable en estudio y el método adecuado para la solución del problema, el procedimiento general de la prueba de una hipótesis de parámetro adecuado se resume en los siguientes pasos”.

Paso N° 01: Formular la hipótesis nula e hipótesis alternativa adecuada.

Paso N° 02: Especificar el tamaño  $\alpha$  del nivel de significancia.

Paso N° 03: Seleccionar la estadística adecuada a usar en la prueba.

Paso N° 04: Establecer la regla de decisión, determinado la región crítica de la prueba.

Paso N° 05 Tomar la decisión de rechazar la hipótesis  $H_0$  si el valor del estadístico de la prueba está en la región crítica. En caso contrario, no rechazar  $H_0$ .

### **2.7.3.2 Selección del test**

Enrique Paskel (1998) La distribución normal permite estimar matemáticamente la probabilidad de ocurrencia de determinado fenómeno en función de los parámetros indicados, y en el caso del concreto se aplica a los resultados de resistencia basándose en la premisa de que aquellos se agrupan siguiendo aproximadamente dicha distribución.

La resistencia del concreto bajo condiciones controladas sigue con gran aproximación la distribución probabilística Normal.

Para ello realizamos la evaluación de los resultados de resistencia de cada muestra de la población.

#### **1. Evaluación general de resultados de resistencia del concreto muestras:**

Teniendo los datos obtenidos de los ensayos de laboratorio como se muestran en los anexos procedemos a realizar los cálculos para determinar el coeficiente de variación mediante las siguientes formulas.

$$Ds = \sqrt{\frac{\sum(Yi - u)^2}{n - 1}}$$

Donde:

**Ds** = Desviación Estándar

**u** = Resistencia Promedio

**Yi** = Resistencia individual

**n** = Número de ensayos

#### **2. Distribución normal (campana de gauss)**

$$Y = \frac{1}{Ds\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{Yi-u}{Ds}\right)^2}$$

Donde:

**Ds** = Desviación Estándar

**u** = Resistencia Promedio

**Yi** = Resistencia de ensayo

**e** = 2.71828

$$\pi = 3.14159$$

Al graficar la ecuación anterior tenemos una gráfica específica con las siguientes características.

- Es simétrica con relación a ***u***.
- Es asintótica con relación al eje de las abscisas
- La representación y tamaño va a depender de ***Ds***.

El siguiente gráfico muestra la curva normal para diferentes valores de ***Ds***, teniendo un mismo ***u*** entonces podemos concluir que a medida que aumenta la ***Ds*** el grado de dispersión que existe en las resistencias de las probetas es mayor el cual tiende a alejarse del promedio.

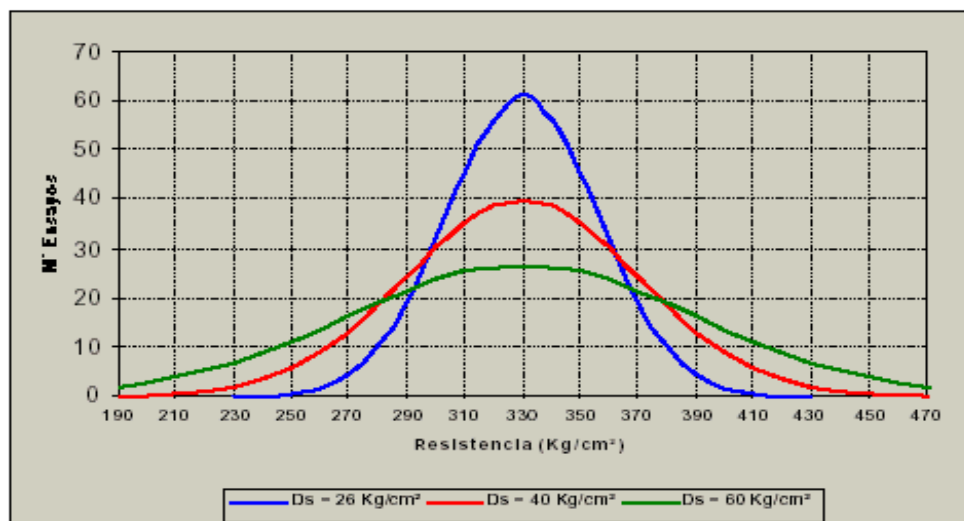


Figura 7. Distribucion normal (Campana de Gauss)

3. **Valor de dispersión en el control de los ensayos:** el Coeficiente de variación, tiene como expresión:

$$Vt = \frac{Ds}{u} \times 100$$

Donde:

***Ds*** = Desviación estándar

***u*** = Resistencia Promedio

4. **Seleccionamos el coeficiente de variación:** Enrique Paskel, nos indica que se pueden utilizar como referencia los datos de la tabla 10 para estimar  $t$ ,  $D_s$  y  $V$  cuando no se tengan datos en obra asumiendo un grado de control apropiado.

Tabla 10.

*Coeficiente de variación.*

| CLASE             | DISPERCION ENTRE TESTIGOS                                  |           |           |            |            |
|-------------------|------------------------------------------------------------|-----------|-----------|------------|------------|
|                   | COEFICIENTE DE VARIACION PARA DIFERENTES GRADOS DE CONTROL |           |           |            |            |
|                   | EXCELENTE                                                  | MUY BUENO | BUENO     | SUFICIENTE | DEFICIENTE |
| <b>C. en obra</b> | < a 3.0                                                    | 3.0 a 4.0 | 4.0 a 5.0 | 5.0 a 6.0  | > a 6.0    |
| <b>C. en Lab.</b> | < a 2.0                                                    | 2.0 a 3.0 | 3.0 a 4.0 | 4.0 a 5.0  | > a 5.0    |

*Fuente:* Enrique Paskel (1998)

### 2.7.3.3 La distribución T Student

Se emplean para revelar la existencia de diferencias significativas entre las promedios o medias de una determinada variable cuantitativa entre dos grupos de muestra.

#### Restricciones

- Grupos distribuidos según la distribución normal.
- Las varianzas de las dos muestras han de ser iguales.
- Grupos de muestras independientes inferiores a 30 muestras.

Tipos de hipótesis:

Las hipótesis pueden ser de:

#### a) Hipótesis bilateral o de dos colas

la prueba de hipótesis  $H_0: \mu_{\theta_{CBT}} = \mu_{\theta_{CP}}$  contra  $H_1: \mu_{\theta_{CBT}} \neq \mu_{\theta_{CP}}$  establece que existen diferencias entre las medias de los dos grupos considerados, sin presuponer cuál de las dos medias es mayor que la otra. La hipótesis nula establece que no existen diferencias entre dichas medias.

$$H_1: \mu_{\theta_{CBT}} \neq \mu_{\theta_{CP}} \rightarrow H_0: \mu_{\theta_{CBT}} = \mu_{\theta_{CP}}$$

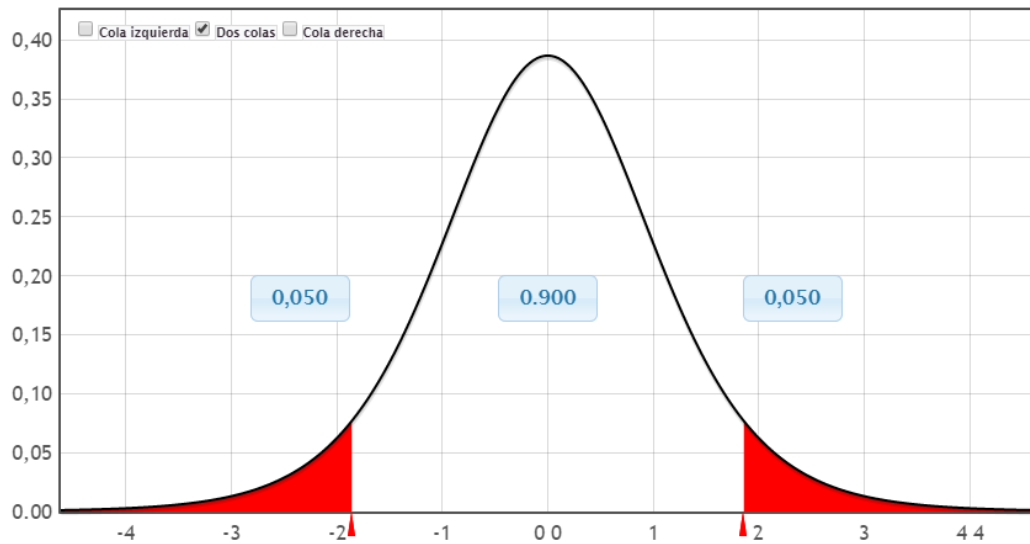


Figura 8. Distribución teórica normal  $H_1: \mu_{\theta_{CBT}} \neq \mu_{\theta_{CP}} \rightarrow H_0: \mu_{\theta_{CBT}} = \mu_{\theta_{CP}}$

Fuente: StatKey.com

### b) Hipótesis de una cola

La prueba de hipótesis  $H_0: \mu_{\theta_{CBT}} = \mu_{\theta_{CP}}$  contra  $H_1: \mu_{\theta_{CBT}} > \mu_{\theta_{CP}}$  se denomina prueba unilateral de cola a la derecha, la prueba de hipótesis  $H_0: \mu_{\theta_{CBT}} = \mu_{\theta_{CP}}$  contra  $H_1: \mu_{\theta_{CBT}} < \mu_{\theta_{CP}}$  se denomina prueba unilateral de cola a la izquierda, establece que existen diferencias entre las medias de los grupos considerados.

$$H_1: \mu_{\theta_{CBT}} > \mu_{\theta_{CP}} \rightarrow H_0: \mu_{\theta_{CBT}} \leq \mu_{\theta_{CP}} \text{ ó } H_1: \mu_{\theta_{CBT}} < \mu_{\theta_{CP}} \rightarrow H_0: \mu_{\theta_{CBT}} \geq \mu_{\theta_{CP}}$$

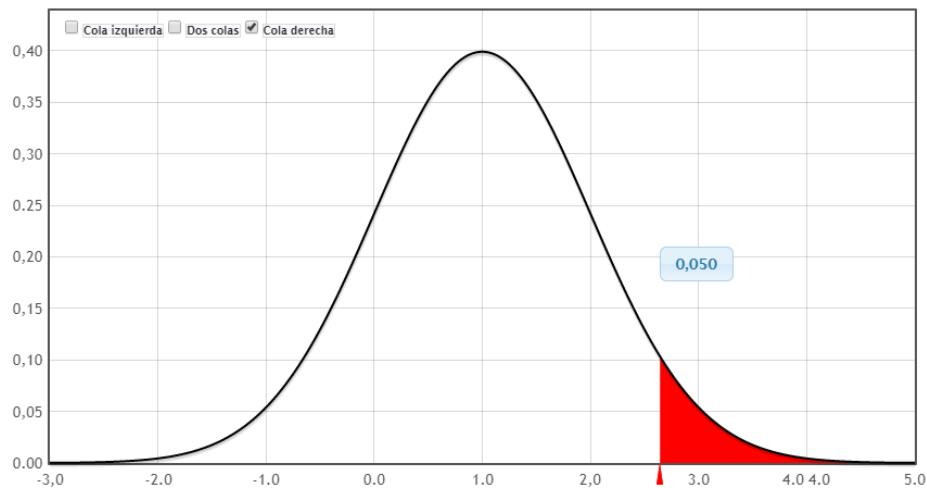


Figura 6. Distribución teórica normal Hipótesis de una cola a la derecha

Fuente: StatKey.com

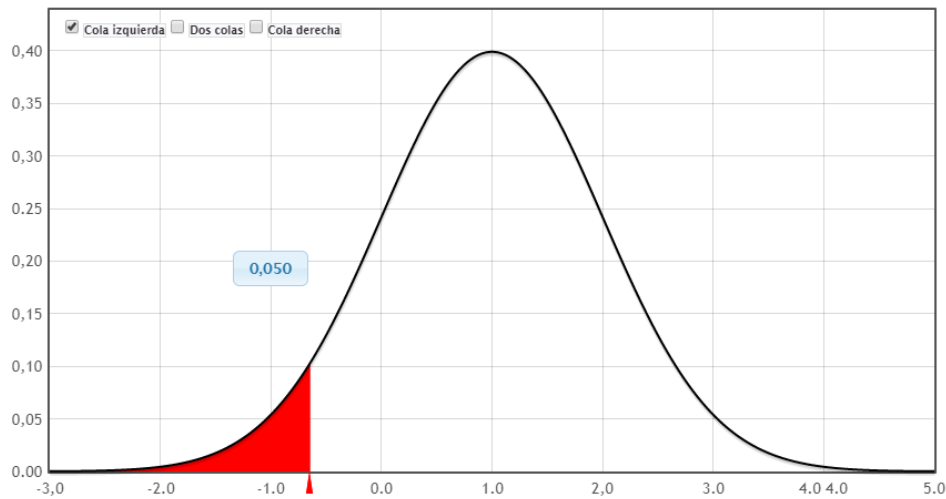


Figura 7. Distribución teórica normal Hipótesis de una cola a la Izquierda

Fuente: StatKey.com

#### 2.7.3.4 Procedimiento de cálculo

El estadístico de prueba de una distribución t-student con  $n_1+n_2-2$  grados de libertad se pueden expresar de la siguiente manera.

$$tp = \frac{\theta_{CBT} - \theta_{CP}}{S_p * \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad ; \quad Sp = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

Donde

$n_1$  y  $n_2$  : Tamaños de muestras de cada grupo.

$\theta_{CBT}$  y  $\theta_c$  : Medias de muestras de cada grupo.

$S_1^2$  y  $S_2^2$  : Varianzas muestras de cada grupo.

La universidad Cardenal Herrera menciona “todo contraste de hipótesis aceptaremos o rechazaremos a la hipótesis nula dependiendo del valor que hayamos establecido de significatividad. En concreto, si la significatividad es más alta admitimos mayor riesgo de equivocarnos cuando rechazamos la hipótesis nula y en consecuencia rechazaremos dicha hipótesis con mayor facilidad”. Según la Universidad de Alcalá, Departamento de Ecología, (2005), rechazamos o aceptamos nuestra hipótesis nula si:

- Si  $tp \geq t_{tabla} \rightarrow$  se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_1$  (las medias son diferentes)
- Si  $tp < t_{tabla} \rightarrow$  se acepta  $H_0$  y se rechaza  $H_1$  (las medias son iguales)



### 3.4 Población y muestra

#### 3.4.1 Población.

En la presente investigación nuestra población está conformada por los testigos de cemento Rumi IP, Frontera IP, Yura IP, Wari I, en concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .

#### 3.4.2 Muestra.

Hernández, Roberto (2006) “las variables se miden y se analizan con pruebas estadísticas en una muestra, de la que se presupone que ésta es probabilística y que todos los elementos de la población tienen una misma probabilidad de ser elegidos y es posible calcular”

Primeramente, se recolecto datos históricos de las temperaturas máximas y mínimas en la ciudad de Juliaca (SENAMHI), desde los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019 (Tabla N°6) se realizó un promedio aritmético de todos los meses, obteniendo así las temperaturas promedio mínimo de cada año. Como la presente investigación se relacionará con las temperaturas bajas en la cual se identificó las temperaturas mínimas en los meses de Mayo, Junio, Julio, Agosto y Setiembre, obteniendo así la temperatura más crítica de  $-4.94 \text{ }^\circ\text{C}$ . Por lo tanto, se tomaron temperaturas desde  $-5^\circ\text{C}$  a  $5^\circ\text{C}$  ya que la norma técnica peruana (NTP E-0.60) especifica que se considera como clima frío a aquel en que, en cualquier momento del vaciado, la temperatura ambiente pueda estar por debajo de  $5^\circ \text{C}$ .

Calculo del tamaño de la muestra desconociendo el tamaño de la población

$$n = \frac{Z^2 pq}{E^2}$$
$$n = \frac{1.28^2 * 0.50 * 0.50}{0.1^2}$$
$$n = 40$$

Donde:

Z: Nivel de confianza al 80 %

P: variabilidad positiva 50 %

q: variabilidad negativa 50 %

E: es la precisión o error 0.1

Tabla 11.  
*Tabla de coeficiente de confiabilidad (Z)*

| Nivel de confianza | Coeficiente de confiabilidad (Z) |
|--------------------|----------------------------------|
| 99%                | 2.58                             |
| 98%                | 2.33                             |
| 97%                | 2.17                             |
| 96%                | 2.05                             |
| 95%                | 1.96                             |
| 90%                | 1.65                             |
| 80%                | 1.28                             |
| 50%                | 0.67                             |

- El diseño de mezclas fue para un concreto de resistencia a la compresión  $F'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ .
- En la que se utilizó la cantera Surupana para le agregado grueso y la cantera Ilo Ilo para le agregado fino para la dosificación del concreto.
- Las muestras de concreto fueron briquetas cilíndricas con dimensiones: 4'' (100mm) de diámetro y 8'' (200 mm) de alto.
- La cantidad de briquetas ensayadas fue de acuerdo a la tabla 12

Tabla 12.  
Cantidad de muestras requeridas

| TAMAÑO DE MUESTRAS  |              |       |      |        |            |
|---------------------|--------------|-------|------|--------|------------|
| TEMPERATURA (°C)    |              | - 5°C | 5 °C | PATRON |            |
| CEMENTO RUMI IP     | Para 7 días  | 5     | 5    | 5      | 45         |
|                     | Para 14 días | 5     | 5    | 5      |            |
|                     | Para 28 días | 5     | 5    | 5      |            |
| CEMENTO FRONTERA IP | Para 7 días  | 5     | 5    | 5      | 45         |
|                     | Para 14 días | 5     | 5    | 5      |            |
|                     | Para 28 días | 5     | 5    | 5      |            |
| CEMENTO YURA IP     | Para 7 días  | 5     | 5    | 5      | 45         |
|                     | Para 14 días | 5     | 5    | 5      |            |
|                     | Para 28 días | 5     | 5    | 5      |            |
| CEMENTO WARI I      | Para 7 días  | 5     | 5    | 5      | 45         |
|                     | Para 14 días | 5     | 5    | 5      |            |
|                     | Para 28 días | 5     | 5    | 5      |            |
| TOTAL DE MUESTRAS   |              |       |      |        | <b>180</b> |

Fuente: Elaboración propia

### **3.5 Formulación de la hipótesis**

#### **3.5.1 Hipótesis general.**

El calor de hidratación a bajas temperaturas influye en el desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto dosificado con cementos: Rumi IP, Frontera IP, Yura IP, y Wari I.

#### **3.5.2 Hipótesis específicas.**

El tiempo del fraguado inicial influye en el desarrollo del calor de hidratación del concreto dosificado con cementos comercializados en la ciudad de Juliaca.

La resistencia a la compresión del concreto  $F'_c=210 \text{ Kg/cm}^2$  dosificado con cementos Rumi IP, Frontera IP, Yura IP, y Wari I reducen su resistencia a bajas temperaturas

El cemento Rumi IP tiene mejor desempeño en la ciudad de Juliaca.

### **3. 6 Identificación de variables**

#### **3.6.1 Variables independientes.**

Dosificación del concreto con cementos: Rumi IP, Frontera IP, Yura IP, y Wari I.

#### **3.6.2 Variables dependientes.**

Bajas temperaturas.

Calor de hidratación del concreto.

Propiedades de los cementos.

#### **3.6.3. Operacionalización de variables.**

Tabla 13.

Operacionalización de variables.

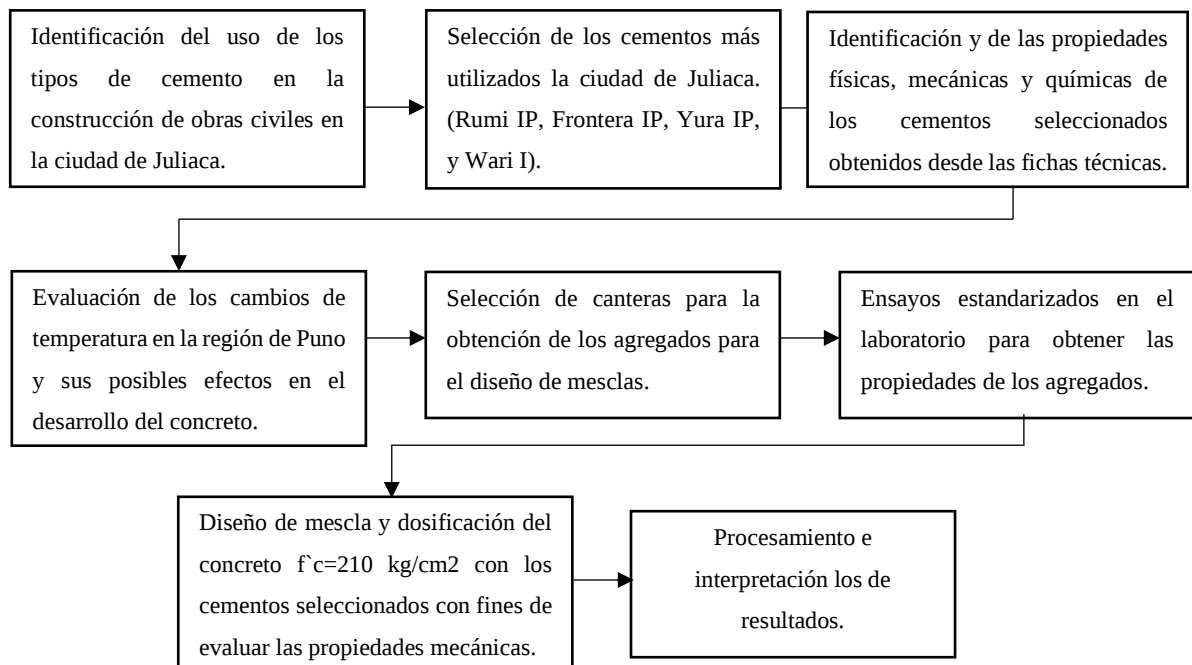
| VARIABLES                                                                      | DIMENSIONES                         | INDICADORES                                           | OPERACIÓN INSTRUMENTAL                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>INDEPENDIENTE</b>                                                           |                                     |                                                       |                                                                                                                                    |
| Dosificación del concreto con cementos: Rumi IP, Frontera IP, Yura IP, Wari I. | Probetas normalizadas de 10 x 20 cm | Resistencia a la compresión $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ | Se realizarán ensayos de resistencia a compresión a los 7, 14 y 28 días con los cementos comercializados en la ciudad de Juliaca.  |
| <b>DEPENDIENTE</b>                                                             |                                     |                                                       |                                                                                                                                    |
| Bajas temperaturas                                                             | Temperaturas ( $^{\circ}\text{C}$ ) | Desempeño de la resistencia del concreto              | Las probetas de concreto serán realizadas a bajas temperaturas las cuales influyen en el desempeño de la resistencia del concreto. |
| Calor de hidratación del concreto                                              | Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )  | Desarrollo de la resistencia del concreto             | El calor de hidratación del concreto se medirá con el termómetro para concreto.                                                    |

Fuente: Elaboración propia.

### 3.7 Instrumentos o técnicas de recolección de datos

#### 3.7.1 Técnicas.

Figura 12. Técnicas de recolección



Fuente: Elaboración propia.

### 3.7.2 Instrumentos.

- a) Análisis granulométrico agregado fino y grueso.
  - Balanzas
  - Recipiente
  - Tamices
  - Agitador mecánico de tamices
  - Horno (Capaz de mantener una temperatura constante y uniforme de  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ )).
- b) Contenido de humedad
  - Recipiente
  - Cucharón
  - Balanza (con una precisión de 0.1%)
  - Horno (Capaz de mantener una temperatura constante y uniforme de  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ )).
- c) Porcentaje que pasa el tamiz N°200
  - Recipiente
  - Dos tamices (siendo el menor el tamiz N°200 y el superior el tamiz N°16.)
  - Balanza
  - Horno (Capaz de mantener una temperatura constante y uniforme de  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ )).
- d) Peso unitario y porcentaje de vacíos
  - Cucharón
  - Recipiente
  - Brocha
  - Bandeja
  - Varilla
  - Comba de goma
  - Balanzas (con una aproximación de 0,1%)
- e) Peso específico y absorción en agregados

#### Agregado fino

- Balde de tamaño mediano

- Balanza (con una aproximación de 0,1%)
- Fiola
- Pipeta
- Recipientes
- Horno (Capaz de mantener una temperatura constante y uniforme de  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ )).
- Secador eléctrico
- Guante
- Molde
- Pisón

#### Agregado grueso

- Cucharon
- Tamiz (N°4)
- Balanza (con una aproximación de 0,1%)
- Franela
- Canastilla metálica
- Guante
- Horno (Capaz de mantener una temperatura constante y uniforme de  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ )).
- Recipientes

### **3.8 Procedencia y ensayos de los materiales a utilizar en la investigación**

#### **3.8.1 Agregados.**

##### **3.8.1.1 Cantera.**

El agregado grueso usado para la elaboración del concreto en la investigación fue obtenida de la cantera surupana, ubicada en el kilómetro 25 de la carretera hacia Arequipa de la ciudad de Juliaca. Previo al transporte del material se vio la cantera, ya que esta tenía unas fajas en la cual separaba el material en 3/4", 1/2" y 3/8"; el material ya se encontraba seleccionado es por ello que se comenzó a cargar el material que se adquirió .

Por otro lado el agregado fino fue extraído de la cantera Ilo Ilo, ubicado a 3 km de la final de la empresa de transportes línea 22, este material se llevó al laboratorio para poder realizar el análisis físico .

El material obtenido en la cantera surupana fue transportado a las instalaciones de nuestra Universidad Peruana Unión Filial Juliaca .

#### *3.8.1.1.1 Agregado Fino*

##### **Granulometría**

El tamizado en el laboratorio se realizó siguiendo este procedimiento:

- a) Tomar una muestra por cuarteo no menor a 500 gr (para el agregado fino), secarlo hasta tener un peso constante, luego dejar enfriar .
- b) Verificar que los tamices estén limpios y en orden decreciente según el tamaño de su abertura: 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N° 100 y N°200.
- c) Se procede a colocar la muestra del agregado en la malla superior, y se realiza movimientos circulares haciendo que el material descienda por las mallas, no se debe forzar con la mano el paso de una partícula a través de los tamices .
- d) El tamizado se termina cuando en el tiempo de un minuto ya ni pase más del 1% en peso el material sobre el tamiz.
- e) Retirar tamiz por tamiz y pesar el material en cada una y registrar los resultados.
- f) Al final efectuar los cálculos para su mejor interpretación.

El error máximo del peso total inicial con la sumatoria de los pesos retenidos será  $\pm 1 \%$ .

Se observar que la granulometría del agregado fino está dentro de los límites establecidos por la norma NTP 400.037, como se observa en la siguiente figura.

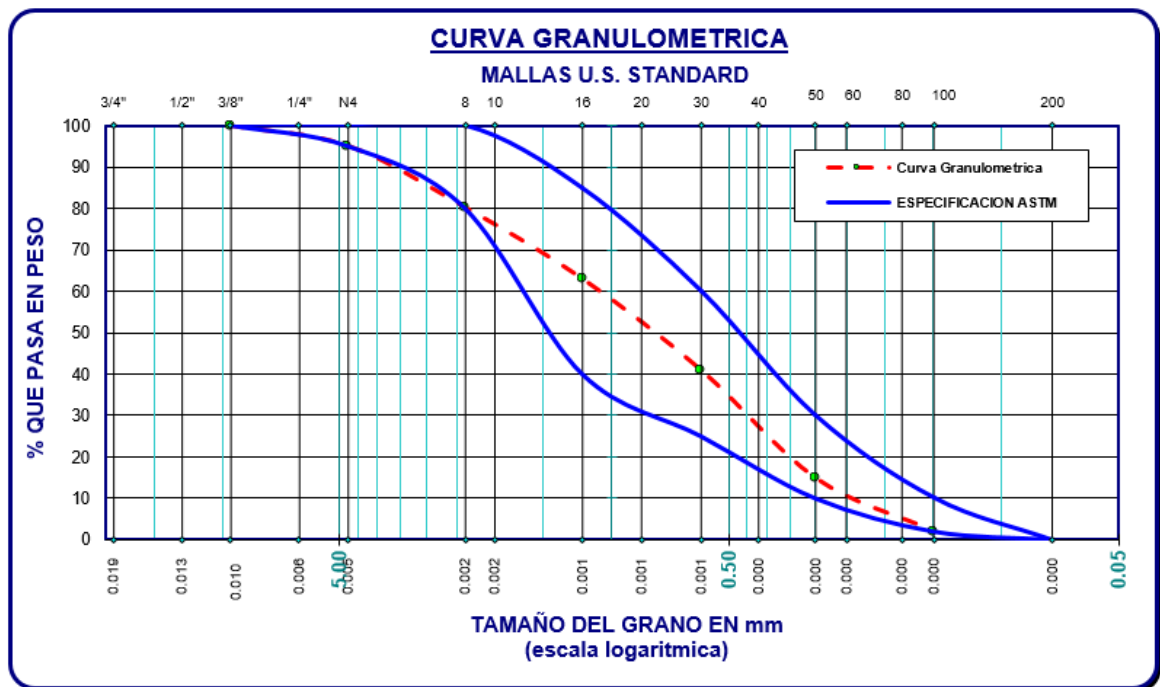


Figura 10. Curva granulométrica del agregado fino

Fuente: Elaboración propia.

#### Módulo de fineza (NTP 400.011)

El módulo de fineza se obtuvo de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$MF = \frac{\sum \text{Acum. ret}(3+11/2 + 3/4" + 1/2" + 3/8" + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

De donde el módulo de fineza del agregado fino ensayado es de: 3.07

#### Contenido de humedad (NTP 400.016)

Para hallar el contenido de humedad del agregado fino, la siguiente ecuación se aplicó :

$$CH = \frac{(\text{Peso humedo} - \text{Peso seco})}{\text{Peso seco}} \times 100$$

- se toma una muestra aproximadamente de 400 gr de agregado fino.
- llevamos a secar las muestras en el horno.
- pesar la muestra después de ser secara en el horno.
- efectuamos los cálculos con las ecuaciones anteriores.

Tabla 14.  
*Calculo de contenido de humedad del agregado Fino*

| Nro De Tara               | 1    | 2           | 3    |
|---------------------------|------|-------------|------|
| Peso de Tara              | 230  | 225         | 227  |
| Peso de Tara + M. Húmeda  | 502  | 501         | 500  |
| Peso de Tara + M. Seca    | 489  | 488         | 488  |
| Peso de Agua              | 13   | 13          | 12   |
| Peso Muestra Seca         | 259  | 263         | 261  |
| Contenido de humedad W%   | 5.02 | 4.94        | 4.60 |
| Promedio cont. Humedad W% |      | <b>4.85</b> |      |

*Fuente: NTP 339.088*

### **Peso específico y absorción (NTP 400.022)**

Procedimiento:

- a) Tomar una muestra de aproximadamente 3 kg.
- b) Dejar saturado la muestra por 24 horas.
- c) Luego de saturar sacar la muestra y extender en una bandeja y dejar secar superficialmente en el medio ambiente.
- d) para poder saber si nuestra muestra esta superficialmente seca (SSS), poner la muestra en el cono de absorción, apisonando con 25 golpes sin compactar el material, si al sacar el cono la muestra queda exacta al molde, entonces aún falta secar superficialmente, si queda desmoronado parcialmente y de punta esto significa que la muestra esta superficialmente seca (SSS)
- e) Tomar una muestra de 500 gr superficialmente seca (SSS) y colocar dentro del frasco de vidrio.
- f) Después de poner la muestra en el frasco de vidrio lo llenamos con agua hasta el nivel que permita agitar el agua con la muestra.
- g) luego agitar el frasco en un tiempo de 15 a 20 minutos para poder eliminar las burbujas
- h) llevamos el frasco con la muestra, sobre una cocina eléctrica, dentro de un depósito con agua para eliminar los vacíos (aire), sacarlo luego de verificar de que no exista aire dentro de la muestra cuando lo agitamos .

i) Dejamos a temperatura del ambiente para que enfrié el frasco con la muestra dentro del mismo .

j) Pesar el frasco + muestra + agua k) Sacamos el agregado fino del frasco, para secarlo sobre la cocinilla eléctrica a temperatura constante de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , verificamos que después de varias pesadas el material pese lo mismo, entonces anotamos el peso del material seco .

l) Después llenar el frasco hasta su máxima capacidad con agua a una temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  luego pesar.

m) Finalmente pesamos el frasco vacío.

Peso específico de masa

$$P.E.M. = \frac{\text{Peso de la arena seca en horno}}{\text{Volumen de la fiola} - \text{Volumen del agua en la Fiola}}$$

Peso específico de masa saturada superficialmente seca

$$P.E.M.sss = \frac{500}{\text{Volumen de la Fiola} - \text{Volumen del agua en la fiola}}$$

Peso específico aparente

$$P.E.A. = \frac{\text{Peso arena seca}}{(\text{Vol. fiola} - \text{Vol. agua en la fiola}) - (500 - \text{peso de arena seca})}$$

Absorción

$$\%Abs = \frac{500 - \text{Peso arena seca}}{\text{Peso arena seca}} \times 10$$

Tabla 15.  
*Datos calculados*

| <b>PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADO FINO</b> |                                                |        |             |        |
|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------|-------------|--------|
| 1                                                   | Peso de la arena SSS+ fiola+agua               | 497.00 | 498.00      | 497.00 |
| 2                                                   | Peso de la arena SSS+Fiola                     | 386.00 | 390.00      | 386.00 |
| 3                                                   | Peso del agua                                  | 111.00 | 108.00      | 111.00 |
| 4                                                   | Peso de la arena secada al horno+Fiola         | 376.00 | 379.00      | 376.00 |
| 5                                                   | Peso de la Fiola                               | 132.00 | 132.00      | 132.00 |
| 6                                                   | Peso de la arena secada al horno               | 244.00 | 245.00      | 244.00 |
| 7                                                   | Volumen de la Fiola                            | 250.00 | 250.00      | 250.00 |
| 8                                                   | Peso de la muestra de arena SSS                | 254.00 | 258.00      | 254.00 |
| <b>RESULTADOS</b>                                   |                                                |        |             |        |
| 1                                                   | Peso especifico de masa: 6/(7-3)               | 1.76   | 1.73        | 1.76   |
|                                                     | Promedio                                       |        | <b>1.75</b> |        |
| 2                                                   | Peso especifico de masa saturada SSS: (8/(7-3) | 1.83   | 1.82        | 1.83   |
|                                                     | Promedio                                       |        | <b>1.82</b> |        |
| 3                                                   | Peso especifico aparente: 6/((7-3)-(8-6))      | 2.56   | 2.53        | 2.55   |
|                                                     | Promedio                                       |        | <b>2.55</b> |        |
| 4                                                   | Porcentaje de absorcion: % ((8-6)/6)           | 4.10   | 5.31        | 4.10   |
|                                                     | Promedio                                       |        | <b>4.50</b> |        |

*Fuente:* Elaboración propia

#### **Peso unitario (NTP 400.017)**

Se procedió a realizar los cálculos de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$P.U.S = \frac{\text{Peso del material}}{\text{Volumen del material}}; \text{Peso unitario suelto}$$

$$P.U.C = \frac{\text{Peso del material compactado}}{\text{Volumen del material compactado}}; \text{Peso unitario compactado}$$

Se siguió el presente procedimiento:

- Tener un recipiente seco y limpio.
- Llenar el molde con el agregado enrasar y pesar para el peso unitario suelto.
- Llenar el recipiente con agregado en tres capas aplicando 25 golpes en cada una de ellas con una varilla de diámetro y 60 cm de longitud con punta redondeada, enrasar y pesar.

Tabla 16.

*Datos calculados del peso unitario suelto del agregado fino*

| Fino suelto                        | I     | II    | III   |
|------------------------------------|-------|-------|-------|
| Peso de molde gr.                  | 1849  | 1849  | 1849  |
| Peso de molde + muestra gr.        | 4535  | 4528  | 4532  |
| Peso de muestra gr.                | 2686  | 2679  | 2683  |
| Volumen de molde cm <sup>3</sup> , | 1578  | 1578  | 1578  |
| Peso unitario gr/cm <sup>3</sup> , | 1.702 | 1.697 | 1.700 |
| Peso unitario Kg/m <sup>3</sup> ,  |       | 1700  |       |

*Fuente:* Elaboración propia

Tabla 17.

*Datos calculados del peso unitario compactado del agregado fino*

| Fino compactado                     | I     | II    | III   |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|
| Peso de molde gr.                   | 1849  | 1849  | 1849  |
| Peso de molde + muestra gr.         | 4629  | 4631  | 4630  |
| Peso de la muestra gr.              | 2780  | 2782  | 2781  |
| Volumen del molde cm <sup>3</sup> , | 1578  | 1578  | 1578  |
| Peso unitario gr/cm <sup>3</sup> ,  | 1.761 | 1.763 | 1.762 |
| Peso unitario Kg/m <sup>3</sup> ,   |       | 1762  |       |

*Fuente:* Elaboración propia

#### 3.8.1.1.2 Agregado grueso

### Granulometría

#### Tamaño máximo nominal

De acuerdo a lo explicado en la parte teórica, tomaremos el criterio establecido de la NTP 400.037 siendo este un criterio más utilizado en nuestro medio, respecto al resultado del análisis granulométrico del agregado grueso se observa que el tamaño máximo es de 1" y el tamaño máximo nominal es de ¾".

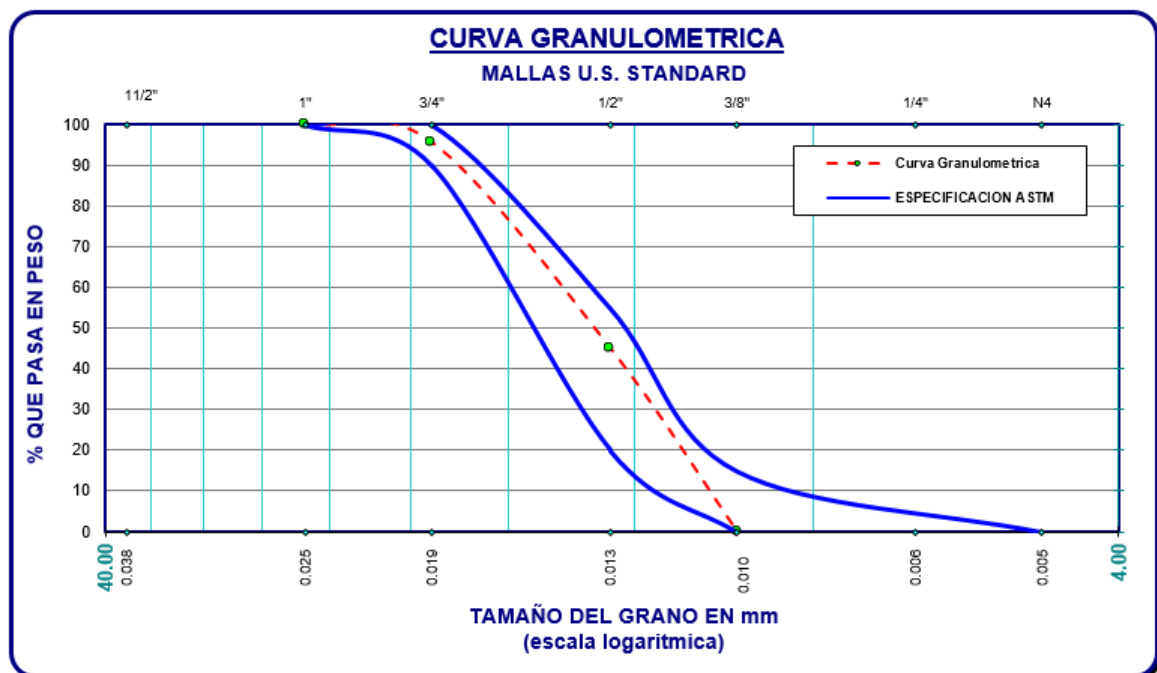
El procedimiento recomendado es el siguiente:

- CuarTEAMOS y tomamos una muestra de 5 kg.
- Verificar que los tamices estén limpios y en orden decreciente.
- Se procede colocar la muestra en los tamices agitándolos con movimientos circulares, izquierda, derecha y ataras, no se debe forzar el paso de las partículas.
- Luego de haber agitado procedemos a retirar el material retenido en cada tamiz.

- e. Verificar que en un tiempo de un minuto agitándolo no pase más del 1% en peso del material sobre el tamiz.
- f. Retirar tamiz por tamiz y pesar el material retenido en cada una.
- g. Por último realizar el cálculo.

El error máximo del peso total inicial con la sumatoria de los pesos retenidos será  $\pm 1$  %.

Se observó que la granulometría del agregado grueso está dentro de los límites establecidos por la norma NTP 400.037, como se observa en la siguiente figura.



### Módulo de fineza (NTP 400.011)

El módulo de fineza del agregado grueso, es menos usado pero para su cálculo es el mismo criterio que el del agregado fino o sea con la suma de los porcentajes retenidos acumulados de los tamices: 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 dividida entre 100 .

El módulo de fineza del agregado grueso es: 7.04

### Contenido de humedad (NTP 400.016)

El procedimiento para el cálculo del contenido de humedad es similar al realizado para el agregado fino .

Tabla 18.

*Datos calculados de contenido de humedad agregado fino*

| Nro De Tara               | 1    | 2           | 3    |
|---------------------------|------|-------------|------|
| Peso de Tara              | 513  | 500         | 701  |
| Peso de Tara + M. Húmeda  | 1506 | 1508        | 1511 |
| Peso de Tara + M. Seca    | 1499 | 1500        | 1499 |
| Peso de Agua              | 7    | 8           | 12   |
| Peso Muestra Seca         | 986  | 1000        | 798  |
| Contenido de humedad W%   | 0.71 | 0.80        | 1.50 |
| Promedio cont. Humedad W% |      | <b>1.00</b> |      |

*Fuente: Elaboración propia*

### Peso específico y absorción (NTP 400.021)

Para determinar el peso específico se determinó de acuerdo a las siguientes formulas :

$$P.E.M = \frac{\text{Peso seco de la muestra}}{\text{Peso de la muestra sss} - \text{Peso de la muestra sumergida en agua}}$$

$$P.E.M_{sss} = \frac{\text{Peso de la muestra sss}}{\text{Peso de la muestra sss} - \text{Peso de la muestra sumergida en agua}}$$

$$P.E.A = \frac{\text{Peso seco de la muestra}}{\text{Peso seco de la muestra} - \text{Peso de la muestra sumergida en agua}}$$

$$\%Abs = \frac{\text{Peso de la muestra sss} - \text{Peso seco de la muestra}}{\text{Peso seco de la muestra}} \times 100$$

Para ello se siguió el siguiente procedimiento:

- Del cuarteo seleccionar aproximadamente 5 kg de muestra.
- Después de la muestra seleccionada se procede a lavar para ser sumergida en agua durante 24 horas.
- Luego de haber pasado 24 horas de saca la muestra y se esparce para ser secada superficialmente con una franela.
- Luego se procede a poner la balanza con la canastilla sumergida con la muestra sumergida dentro del agua.
- Luego procedemos a pesar la muestra para luego ser llevada al horno a una temperatura constante de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- Retiramos la muestra pasada las 24 horas y pesamos.
- Finalmente realizamos los cálculos .

Tabla 19.

*Datos calculados de peso específico y absorción del agregado fino*

| <b>PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO</b> |         |             |         |
|-------------------------------------------------------|---------|-------------|---------|
| Peso de muestra secada al horno                       | 2896.00 | 2911.00     | 2915.00 |
| Peso de la muestra al aire cond. SSS                  | 3000.00 | 3005.00     | 3000.00 |
| Peso de la muestra sumergida en agua                  | 1087.00 | 1089.00     | 1086.00 |
| <b>RESULTADOS</b>                                     |         |             |         |
| Peso específico de la masa: P.E.M. 1/(2-3)            | 1.51    | 1.52        | 1.52    |
| Promedio                                              |         | <b>1.52</b> |         |
| P.E de la masa saturada SSS P.E.M.S.S.S.(2/(2-3))     | 1.57    | 1.57        | 1.57    |
| Promedio                                              |         | <b>1.57</b> |         |
| Peso específico aparente P.E.A. : 1/(1-3)             | 2.58    | 2.60        | 2.54    |
| Promedio                                              |         | <b>2.57</b> |         |
| Porcentaje de absorcion: %ABS((2-1)/1)*100            | 3.59    | 3.23        | 2.92    |
| Promedio                                              |         | <b>3.25</b> |         |

*Fuente: Elaboración propia*

### **Peso unitario (NTP 400.017)**

Para el peso unitario suelto o compactado del agregado grueso se realizan los mismos procedimientos que se realizaron para el agregado fino, en donde:

$$P.U.S = \frac{\text{Peso del material}}{\text{Volumen del material}}; \text{Peso unitario suelto}$$

$$P.U.C = \frac{\text{Peso del material compactado}}{\text{Volumen del material compactado}}; \text{Peso unitario compactado}$$

Procedimiento:

- a. Tener un recipiente seco y limpio.
- b. Llenar el molde con el agregado enrasar y pesar para el peso unitario suelto.
- c. Llenar el recipiente con agregado en tres capas aplicando 25 golpes en cada una de ellas con una varilla de de diámetro y 60 cm de longitud con punta redondeada, enrasar y pesar.

Tabla 20.

*Datos calculados del peso unitario suelto del agregado grueso*

| Grueso suelto                      | I     | II    | III   |
|------------------------------------|-------|-------|-------|
| Peso de molde gr.                  | 3908  | 3908  | 3908  |
| Peso de molde + muestra gr.        | 10578 | 10580 | 10575 |
| Peso de muestra gr.                | 6670  | 6672  | 6667  |
| Volumen de molde cm <sup>3</sup> , | 4562  | 4562  | 4562  |
| Peso unitario gr/cm <sup>3</sup> , | 1.462 | 1.462 | 1.461 |
| Peso unitario Kg/m <sup>3</sup> ,  |       | 1462  |       |

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 21.

*Datos calculados del peso unitario compactado del agregado grueso*

| Grueso compactado                   | I     | II    | III   |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|
| Peso de molde gr.                   | 3908  | 3908  | 3908  |
| Peso de molde + muestra gr.         | 11160 | 11167 | 11165 |
| Peso de la muestra gr.              | 7252  | 7259  | 7257  |
| Volumen del molde cm <sup>3</sup> , | 4562  | 4562  | 4562  |
| Peso unitario gr/cm <sup>3</sup> ,  | 1.590 | 1.591 | 1.591 |
| Peso unitario Kg/m <sup>3</sup> ,   |       | 1590  |       |

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.8.2 Método de diseño del ACI.

El comité 211 del ACI tiene un procedimiento de diseño de mezclas, basándose con tablas, este método permite obtener valores de los diferentes materiales que integran la unidad cúbica de concreto .

La estimación de las cantidades de materiales requeridas para preparar una unidad cúbica de concreto implica una secuencia cuyo cumplimiento permite, en función de las características de los materiales, preparar la mezcla adecuada para el trabajo que se va a efectuar .

### 3.8.3 Diseño del concreto patrón.

El Diseño de Mezclas de concreto patrón se realizó como indica el comité 211 del ACI.

#### Selección de la resistencia promedio

Puesto que no contamos con resultados de ensayos que nos dé una desviación estándar, entonces la resistencia requerida se determinara empleando los valores de la siguiente tabla.

Tabla 22.  
*Resistencia a la compresión promedio*

| <b><math>f'_c</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | <b><math>f'_{cr}</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b> |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Menos de 210                                 | $f'_c + 70$                                     |
| 210 a 350                                    | <b><math>f'_c + 84</math></b>                   |
| sobre 350                                    | $f'_c + 98$                                     |

*Fuente:* Enrique Riva Lopez “Diseño de mezcla”

El  $f'_{cr}$  requerido es de 210 kg/cm<sup>2</sup>, sin embargo utilizando la tabla 25 es:

$$f'_{cr}=210+84=294 \text{ kg/cm}^2 .$$

#### Selección del Tamaño Máximo Nominal del Agregado

Tamaño Máximo Nominal: 3/4"

#### Selección del Asentamiento Slump:

3" a 4" (Mezcla plástica)

#### Selección de volumen unitario de agua de diseño

En la siguiente tabla 23 nos ayuda a determinar el volumen unitario de agua necesaria con una asentamiento de 3" a 4" sin aire incorporado con un agregado grueso de un tamaño máximo nominal de 3/4".

Tabla 23.  
*Volumen unitario de agua*

| Asentamiento | Agua, en l/m <sup>3</sup> , para los tamaños máximo nominales de agregado grueso y consistencia indicados |     |            |     |       |     |     |     | condicion                           |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|------------|-----|-------|-----|-----|-----|-------------------------------------|
|              | 3/8                                                                                                       | 1/2 | 3/4        | 1   | 1 1/2 | 2   | 3   | 6   | TMN                                 |
| 1'' a 2''    | 207                                                                                                       | 199 | 190        | 179 | 166   | 154 | 130 | 113 | Concreto sin<br>aire<br>incorporado |
| 3'' a 4''    | 228                                                                                                       | 216 | <b>205</b> | 195 | 181   | 169 | 145 | 124 |                                     |
| 6'' a 7''    | 243                                                                                                       | 228 | 216        | 202 | 190   | 178 | 160 | ... | concreto con<br>aire<br>incorporado |
| 1'' a 2''    | 181                                                                                                       | 175 | 168        | 160 | 150   | 142 | 122 | 17  | concreto con<br>aire<br>incorporado |
| 3'' a 4''    | 202                                                                                                       | 193 | 184        | 175 | 165   | 157 | 133 | 119 |                                     |
| 6'' a 7''    | 216                                                                                                       | 205 | 197        | 184 | 174   | 166 | 154 | ... |                                     |

*Fuente:* Enrique Riva Lopez "Diseño de mezcla"

Para nuestro diseño el agua seleccionada es de 205 litros por metro cúbico.

### Selección del contenido de aire

Tabla 24.  
*Contenido de aire atrapado*

| Contenido de aire atrapado |               |
|----------------------------|---------------|
| Tamaño Máximo Nominal      | Aire atrapado |
| 3/8''                      | 3.00%         |
| 1/2''                      | 2.50%         |
| <b>3/4''</b>               | <b>2.00%</b>  |
| 1''                        | 1.50%         |
| 1 1/2''                    | 1.00%         |
| 2''                        | 0.50%         |
| 3''                        | 0.30%         |
| 6''                        | 0.20%         |

*Fuente:* Enrique Riva Lopez "Diseño de mezcla"

El contenido de aire atrapado para un agregado grueso de TMN de 3/4" es de 2.0%.

### Selección de la relación agua-cemento

Tabla 25.  
*Relación agua – cemento por resistencia*

| F'cr (28 días) | Relación agua - cemento de diseño de peso |                         |
|----------------|-------------------------------------------|-------------------------|
|                | C° sin aire incorporado                   | C° con aire incorporado |
| 150            | 0.8                                       | 0.71                    |
| 200            | 0.7                                       | 0.61                    |
| <b>250</b>     | <b>0.62</b>                               | 0.53                    |
| <b>300</b>     | <b>0.55</b>                               | 0.46                    |
| 350            | 0.48                                      | 0.4                     |
| 400            | 0.43                                      | ...                     |
| 450            | 0.38                                      | ...                     |

Fuente: Enrique Riva Lopez “Diseño de mezcla”

De la tabla 25. Interpolamos para un concreto sin aire incorporado para una resistencia promedio de 294 kg/cm<sup>2</sup>, se determinó una relación agua-cemento de 0.56.

### Factor cemento

Factor cemento =  $205/0.56 = 366.07 \text{ kg/m}^3 = 8.6 \text{ bolsas/m}^3$

### Contenido de agregado grueso

Tabla 26.  
*Peso del agregado grueso por unidad de volumen de concreto*

| Tamaño Máximo Nominal | Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos de fineza. |      |      |             |             |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|-------------|-------------|
|                       | 2.4                                                                                                                 | 2.6  | 2.8  | 3           | 3.2         |
| 3/8                   | 0.50                                                                                                                | 0.48 | 0.46 | 0.44        | 0.42        |
| 1/2                   | 0.59                                                                                                                | 0.57 | 0.55 | 0.53        | 0.51        |
| <b>3/4</b>            | 0.66                                                                                                                | 0.64 | 0.62 | <b>0.60</b> | <b>0.58</b> |
| 1                     | 0.71                                                                                                                | 0.69 | 0.67 | 0.65        | 0.63        |
| 1 1/2                 | 0.76                                                                                                                | 0.74 | 0.72 | 0.70        | 0.68        |
| 2                     | 0.78                                                                                                                | 0.76 | 0.74 | 0.72        | 0.70        |
| 3                     | 0.81                                                                                                                | 0.79 | 0.77 | 0.75        | 0.73        |
| 6                     | 0.87                                                                                                                | 0.85 | 0.83 | 0.81        | 0.79        |

Fuente: Enrique Riva Lopez “Diseño de mezcla”

Entrando a la tabla 26, con el módulo de fineza del agregado fino de 3.07, con tamaño máximo nominal del agregado grueso de 3/4", se encuentra un valor de 0.610 metros cúbicos de agregado grueso seco y compactado por unidad de volumen del concreto. Peso del agregado grueso =  $0.610 \times 1590 = 969.9 \text{ kg/m}^3$ .

### **Cálculo de volúmenes absolutos**

Una vez determinado los pesos del cemento, agua y agregado grueso, también el volumen de aire, procedemos a determinar los volúmenes absolutos.

Volumen absoluto de: el peso específico de los cementos Rumi IP, Yura IP, Frontera IP es 2.85 gr/cm<sup>3</sup> y el cemento Wari tipo I es 3.14 gr/cm<sup>3</sup> .

$$\text{Cemento: } 386.79 / 2.85 \times 1000 = 0.1357 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua: } 205 / 1 \times 1000 = 0.205 \text{ m}^3$$

$$\text{Aire: } 0.02 / 1 \times 1 = 0.020 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado Grueso: } 969.90 / 2.57 \times 1000 = 0.3774 \text{ m}^3$$

$$\text{Suma de volúmenes conocidos: } 0.7381 \text{ m}^3$$

### **Contenido de agregado fino**

$$\text{Volumen absoluto A. Fino} = 1 - 0.7381 = 0.2619 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso del A. Fino Seco} = 0.2619 \times 2.55 \times 1000 = 667.82 \text{ kg/m}^3$$

### **Cantidad de materiales por m<sup>3</sup> en peso**

$$\text{Cemento: } 386.79 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua de diseño: } 205 \text{ Lt/m}^3$$

$$\text{Agregado Fino seco: } 667.82 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado Grueso seco: } 969.90 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso de la mezcla: } 2286.54 \text{ kg/m}^3$$

### **Corrección por humedad del agregado**

Peso húmedo del:

$$\text{Agregado Fino} = 667.82 \times 1.0485 = 700.21 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado Grueso} = 969.90 \times 1.0100 = 979.60 \text{ kg/m}^3$$

### **Contribución de agua de los agregados**

Humedad superficial de los Agregados

$$\text{Agregado Fino} = 4.85 - 4.5 = 0.35\%$$

$$\text{Agregado Grueso} = 1.00 - 3.25 = -2.25\%$$

$$\text{Total} = 1.90\%$$

Aporte de humedad de los Agregados

$$\text{Agregado Fino seco: } 667.82 * (0.0035) = 2.34 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Agregado Grueso seco: } 969.90 * (-0.0225) = -21.82 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Aporte de humedad de los Agregados: } -19.49 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Agua efectiva: } 205 - (-20) = 224.37 \text{ lt/m}^3$$

### **Cantidad de materiales corregidos por m3 de concreto**

$$\text{Cemento: } 366 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua efectiva: } 224.37 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Agregado Fino húmedo: } 700.21 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado Grueso húmedo: } 979.60 \text{ kg/m}^3$$

### **Proporciones en peso de los materiales corregidos**

$$\text{Cemento} = 386.79/386.79 = 1$$

$$\text{Agregado Fino} = 700.21/386.79 = 1.81$$

$$\text{Agregado Grueso} = 979.60/386.79 = 2.53$$

$$\text{Agua} = 224.37/386.79 = 0.58$$

### **Cantidad de materiales corregidos por Bolsa**

$$\text{Cemento} = 1 \times 42.5 = 42.5 \text{ Kg/Bol}$$

$$\text{Agua efectiva} = 0.58 \times 42.5 = 24.7 \text{ lt/Bol}$$

$$\text{Agregado Fino} = 1.81 \times 42.5 = 76.9 \text{ Kg/Bol}$$

$$\text{Agregado Grueso} = 2.53 \times 42.5 = 107.6 \text{ Kg/Bol}$$

### **3.8.4 Elaboración de testigos.**

Para la presente investigación se utilizó briquetas cilíndricas de de 3.94"x7.87" (100mm x 200mm) luego se almacenaron hasta que endurezcan en las condiciones de curado.

#### **El equipo necesario**

- Mezcladora de concreto tipo trompo de 9 Pie3
- Una carretilla buggy para el transporte del concreto fresco.
- 32 moldes para formar los especímenes fueron de PVC, los primeros obtenidos, las dimensiones requeridas para la elaboración de testigos de 25 y 7 moldes metálicos para la elaboración de los testigos 3.94" x 7.87".
- Varilla apisonadora con punta de bala de 5/8" de diámetro y 60cm de longitud.
- Combo de goma de 0.5 kg.
- Cucharon para el muestreo y plancha de albañilería
- Cono de abrams y/o asentamiento.
- Plancha de base para el cono de abrams.

#### **Moldeado de los cilindros de prueba**

- Se colocaron las briquetas cilíndricas en una superficie nivelada.
- Se tuvo que pasar con petróleo la superficie interior de las briquetas.
- Se llenaron las briquetas en tres capas con un cucharon.
- Cada capa se apisono con 25 golpes uniformemente.
- Se realizó el acabado final superior con una planta de albañil.
- Finalmente se le puso en la superficie superior la fecha, temperatura y el tipo de concreto vaciado.

##### ***3.8.4.1 Proceso de curado de testigos.***

Para el curado de los testigos se utilizó un ambiente:

En una poza de curado con las siguientes características, largo: 3.00 m, ancho 1.10 m y 1.10 m de alto, ésta ubicada en la ex lavandería ahora depósito de Ingeniería Civil.

La Norma E-60, indica: “El concreto deberá ser curado y mantenido sobre los 10°C por lo menos los 7 primeros días después de su colocación; en el caso de concreto con alta resistencia inicial este tiempo podrá reducirse a 3 días.

Si se usa cemento tipo IP el curado deberá mantenerse como mínimo los primeros 10 días, enseguida dichas muestras fueron introducidas en la poza de curado hasta esperar su turno para ser sometidas a los ensayos de compresión a los 7, 14 y 28 días.

## Capítulo IV: Resultados y discusión

### 4.1 Presentación de resultados

#### 4.1.1 Calor de hidratación.

En el ensayo de calor de hidratación se puede observar la clara influencia de las bajas temperaturas en los cementos Frontera IP, Rumi IP, Yura IP y Wari I.

Los resultados de los ensayos se muestran en la siguiente tabla

Tabla 27.

*Fraguado inicial de los cemento.*

| Cemento  |       | Fraguado inicial (min) | Temperatura °C |
|----------|-------|------------------------|----------------|
| Frontera | -5 °C | 315                    | 6.50           |
|          | 5 °C  |                        | 10.45          |
| Yura     | -5 °C | 248                    | 9.40           |
|          | 5 °C  |                        | 12.60          |
| Rumi     | -5 °C | 269                    | 7.40           |
|          | 5 °C  |                        | 10.70          |
| Wari     | -5 °C | 167                    | 11.30          |
|          | 5 °C  |                        | 13.90          |

*Fuente:* Elaboración propia

Tabla 28.

*Variación de temperatura.*

| Cemento  | Temperatura °C | Temperatura inicial | Temperatura final | Variación de temperatura °C |
|----------|----------------|---------------------|-------------------|-----------------------------|
| Frontera | -5 °C          | 20.00               | 6.50              | 13.50                       |
|          | 5 °C           | 18.65               | 10.45             | 8.20                        |
| Yura     | -5 °C          | 22.40               | 9.40              | 13.00                       |
|          | 5 °C           | 20.70               | 12.60             | 8.10                        |
| Rumi     | -5 °C          | 20.45               | 7.40              | 13.05                       |
|          | 5 °C           | 19.25               | 10.70             | 8.55                        |
| Wari     | -5 °C          | 18.45               | 11.30             | 7.15                        |
|          | 5 °C           | 19.60               | 13.90             | 5.70                        |

*Fuente:* Elaboración propia

Tabla 29.

*Determinación de las calorías por cada tipo de cemento*

| Cemento  | Temperatura<br>°C | Calor<br>especifico<br>agua<br>(Cal/gr<br>°C) | Calor<br>especifico<br>concreto<br>(cal/gr °C) | Calor<br>especifico<br>cemento<br>(cal/gr °C) | Peso<br>del<br>agua<br>(gr) | Peso del<br>concreto<br>(gr) | Peso del<br>cemento<br>(gr) | Calorías<br>del agua | Calorías<br>del<br>concreto | Calorías<br>del<br>cemento | Variación de<br>Temperatura<br>°C | Calorías<br>(cal) |
|----------|-------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-------------------|
| Frontera | -5 °C             | 1.003                                         | 0.92                                           | 0.271                                         | 24950                       | 207000                       | 42500                       | 337835.48            | 2570940                     | 155486.25                  | 13.50                             | 3064261.73        |
|          | 5 °C              | 1.003                                         | 0.92                                           | 0.271                                         | 24950                       | 207000                       | 42500                       | 213962.47            | 1628262                     | 98474.625                  | 8.55                              | 1940699.09        |
| Yura     | -5 °C             | 1.003                                         | 0.92                                           | 0.271                                         | 24950                       | 207000                       | 42500                       | 325323.05            | 2475720                     | 149727.5                   | 13.00                             | 2950770.55        |
|          | 5 °C              | 1.003                                         | 0.92                                           | 0.271                                         | 24950                       | 207000                       | 42500                       | 202701.29            | 1542564                     | 93291.75                   | 8.10                              | 1838557.04        |
| Rumi     | -5 °C             | 1.003                                         | 0.92                                           | 0.271                                         | 24950                       | 207000                       | 42500                       | 326574.29            | 2485242                     | 150303.38                  | 13.05                             | 2962119.67        |
|          | 5 °C              | 1.003                                         | 0.92                                           | 0.271                                         | 24950                       | 207000                       | 42500                       | 205203.77            | 1561608                     | 94443.5                    | 8.20                              | 1861255.27        |
| Wari     | -5 °C             | 1.003                                         | 0.92                                           | 0.271                                         | 24950                       | 207000                       | 42500                       | 178927.68            | 1361646                     | 82350.125                  | 7.15                              | 1622923.80        |
|          | 5 °C              | 1.003                                         | 0.92                                           | 0.271                                         | 24950                       | 207000                       | 42500                       | 142641.65            | 1085508                     | 65649.75                   | 5.70                              | 1293799.40        |

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 30.  
*Determinación del calor de hidratación*

| Cemento  |       | Calorías (cal) | Peso (gr) | Calor de hidratación cal/gr |
|----------|-------|----------------|-----------|-----------------------------|
| Frontera | -5 °C | 3064261.73     | 42500.00  | 72.10                       |
|          | 5 °C  | 1940699.09     | 42500.00  | 45.66                       |
| Yura     | -5 °C | 2950770.55     | 42500.00  | 69.43                       |
|          | 5 °C  | 1838557.04     | 42500.00  | 43.26                       |
| Rumi     | -5 °C | 2962119.67     | 42500.00  | 69.70                       |
|          | 5 °C  | 1861255.27     | 42500.00  | 43.79                       |
| Wari     | -5 °C | 1622923.80     | 42500.00  | 38.19                       |
|          | 5 °C  | 1293799.40     | 42500.00  | 30.44                       |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31.  
*Resumen del calor de hidratación por cada tipo de cemento*

| Cemento     | -5 °C | 5 °C  |
|-------------|-------|-------|
| Wari I      | 38.19 | 30.44 |
| Yura IP     | 69.43 | 43.26 |
| Rumi IP     | 69.70 | 43.79 |
| Frontera IP | 72.10 | 45.66 |

Fuente: Elaboración propia

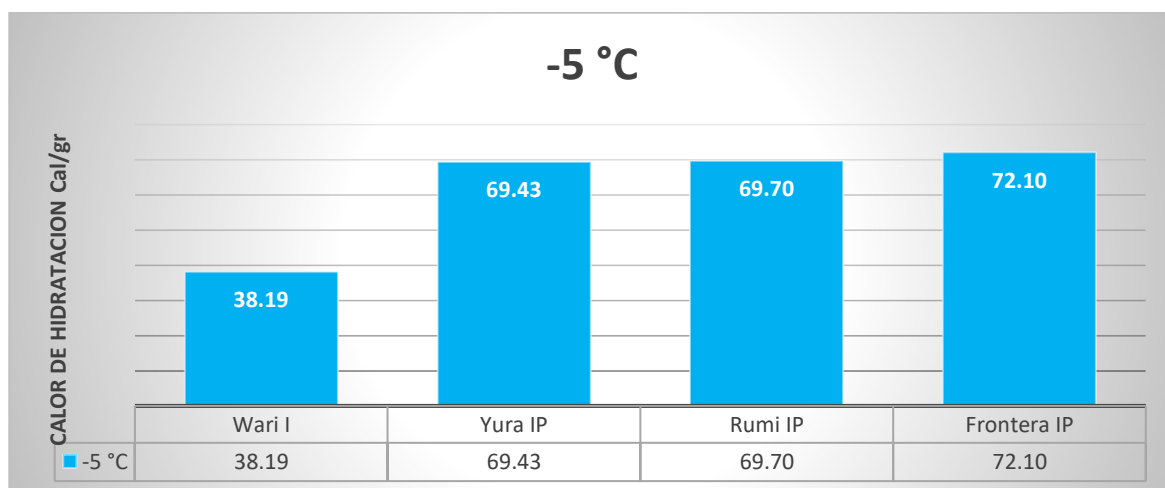
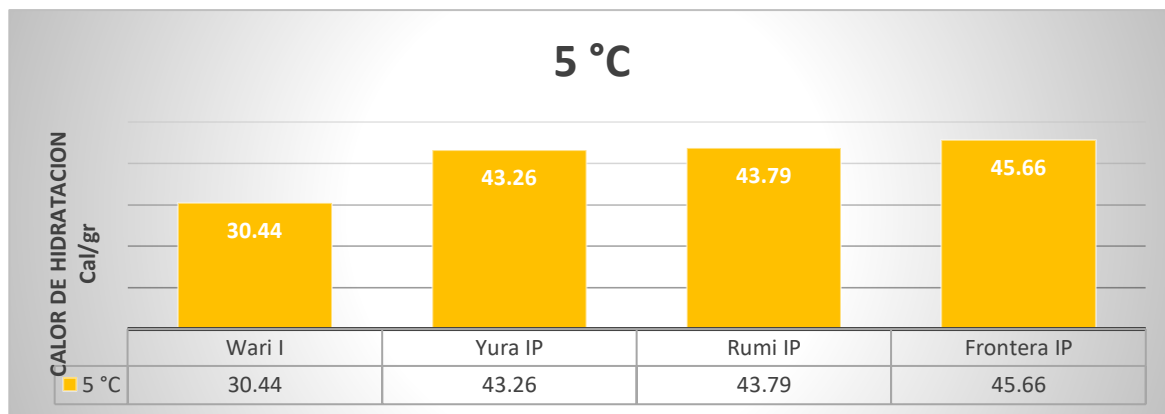


Figura 12. Grafica del comportamiento del calor de hidratación en los cementos a una temperatura de -5 °C.



*Figura 13.* Grafica del comportamiento del calor de hidratación en los cementos a una temperatura de 5 °C.

Tabla 32.

*Evolución de la temperatura del concreto a -5°C*

**EVOLUCION DE LA TEMPERATURA DEL CONCRETO PARA EL ANALISIS DEL CALOR DE HIDRATACION A -5°C**

| Tiempo (min)    | 0    | 30   | 60   | 90   | 120  | 150  | 180  | 210  | 240 | 250 | 270 | 300 | 320 |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Frontera a -5°C | 19.7 | 16.7 | 14.7 | 12.4 | 11.4 | 10.7 | 9.3  | 9.3  | 8.3 | 7.8 | 7.2 | 6.8 | 6.6 |
| Rumi a -5°C     | 20.3 | 19.2 | 16.7 | 15.1 | 13.6 | 12.2 | 10.8 | 9.5  | 8.0 |     |     |     |     |
| Yura a -5°C     | 22.5 | 20.7 | 18.3 | 16.4 | 14.7 | 13.3 | 11.6 | 10.8 | 9.6 | 9.5 |     |     |     |
| Wari a -5°C     | 18.6 | 17.6 | 16.0 | 14.8 | 13.4 | 12.0 | 11.2 |      |     |     |     |     |     |

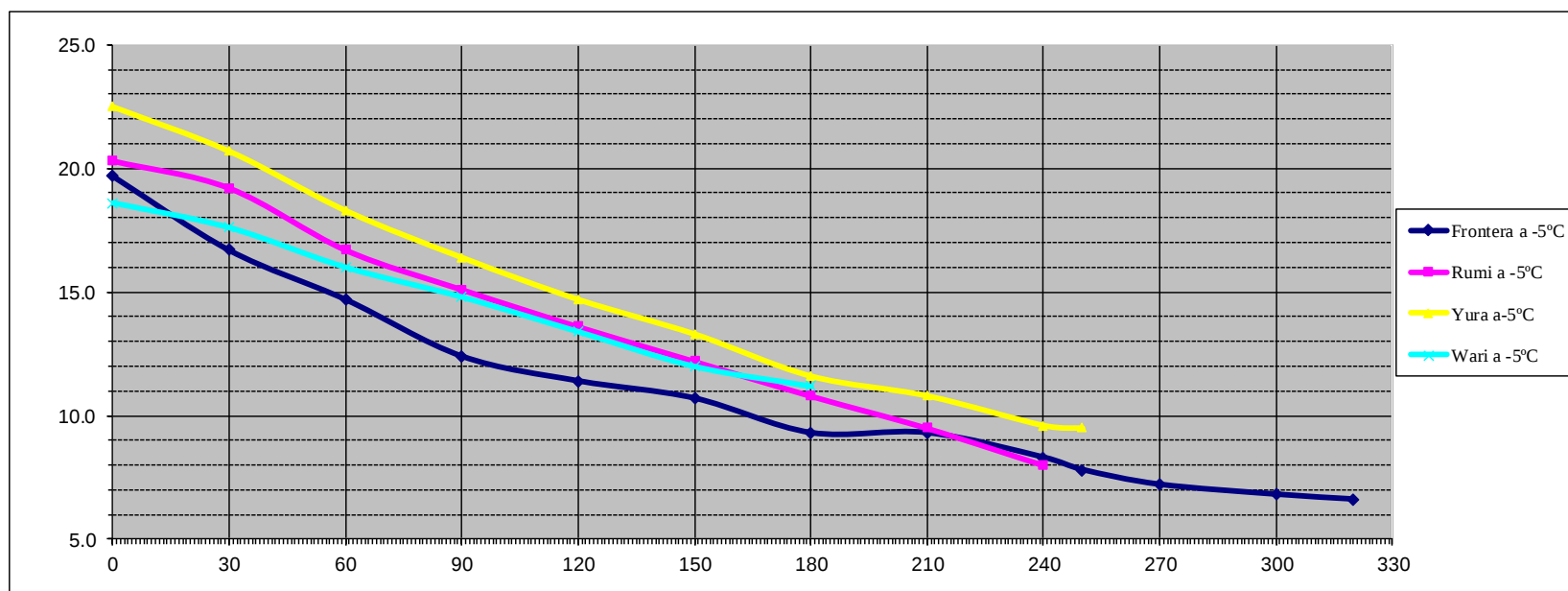


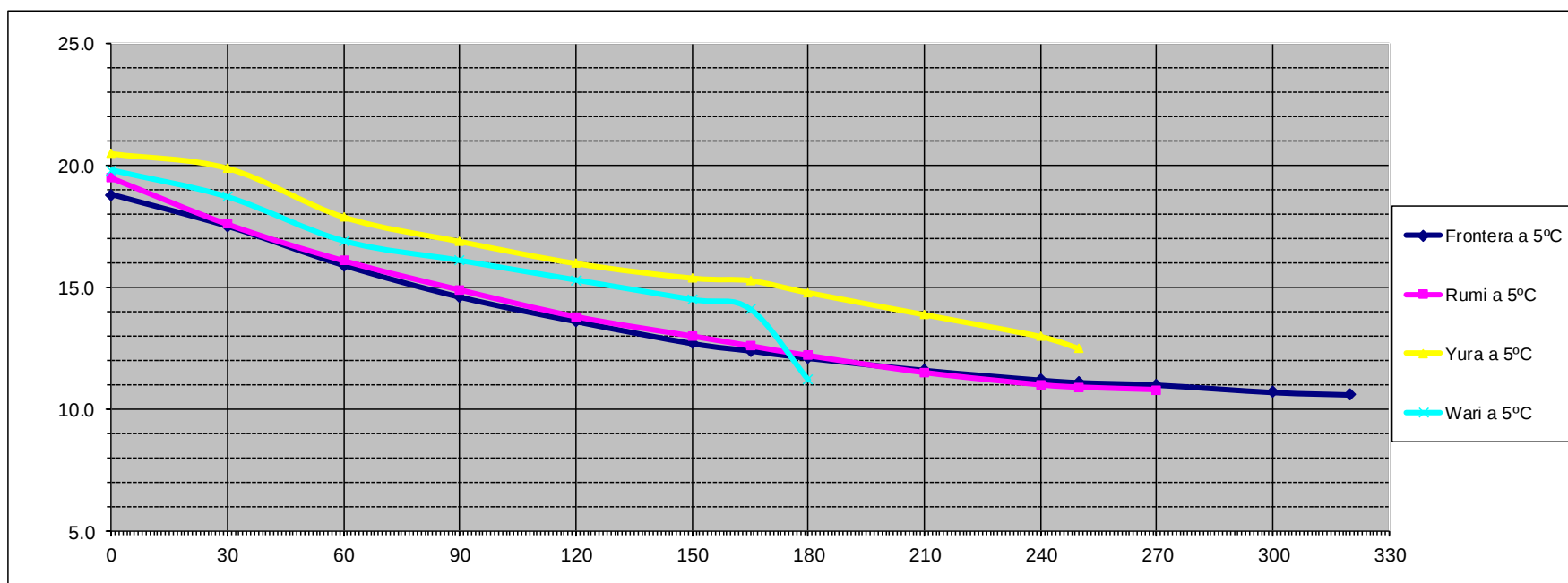
Figura 14. *Evolución de la temperatura del concreto a -5 °C*

Tabla 33.

*Evolución de la temperatura del concreto a 5°C*

**EVOLUCION DE LA TEMPERATURA DEL CONCRETO PARA EL ANALISIS DEL CALOR DE HIDRATACION A 5°C**

| Tiempo (min)          | 0    | 30   | 60   | 90   | 120  | 150  | 165  | 180  | 210  | 240  | 250  | 270  | 300  | 320  |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Frontera a 5°C</b> | 18.8 | 17.5 | 15.9 | 14.6 | 13.6 | 12.7 | 12.4 | 12.1 | 11.6 | 11.2 | 11.1 | 11   | 10.7 | 10.6 |
| <b>Rumi a 5°C</b>     | 19.5 | 17.6 | 16.1 | 14.9 | 13.8 | 13.0 | 12.6 | 12.2 | 11.5 | 11   | 10.9 | 10.8 |      |      |
| <b>Yura a 5°C</b>     | 20.5 | 19.9 | 17.9 | 16.9 | 16.0 | 15.4 | 15.3 | 14.8 | 13.9 | 13   | 12.5 |      |      |      |
| <b>Wari a 5°C</b>     | 19.8 | 18.7 | 16.9 | 16.1 | 15.3 | 14.5 | 14.1 | 11.2 |      |      |      |      |      |      |



*Figura 15. Evolución de la temperatura del concreto a 5°*

#### 4.1.2 Resistencia a la compresión.

Tabla 34.

*Resultados de resistencia a la compresión concreto patrón dosificado con cementos Frontera IP y Rumi IP.*

| RESISTENCIA DE LOS TESTÍGOS A COMPRESIÓN |         |        |          |                       |                                             |                                   |                          |          |
|------------------------------------------|---------|--------|----------|-----------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|----------|
| P. Físicas                               |         |        |          | Propiedades Mecánicas |                                             |                                   |                          |          |
| Cemento                                  | Edad    | Código | Diámetro | Fuerza de Falla       | Resistencia de diseño (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia a Porcentaje | Prom.    |
| Muestras Patrón cemento Frontera IP      | 7 DIAS  | M1     | 10.200   | 12561.300             | 210.000                                     | 153.700                           | 73.19%                   | 68.83%   |
|                                          |         | M2     | 10.200   | 11617.600             | 210.000                                     | 142.200                           | 67.71%                   |          |
|                                          |         | M3     | 10.200   | 12170.100             | 210.000                                     | 148.900                           | 70.90%                   |          |
|                                          |         | M4     | 10.200   | 11250.600             | 210.000                                     | 137.700                           | 65.57%                   |          |
|                                          |         | M5     | 10.200   | 11454.800             | 210.000                                     | 140.200                           | 66.76%                   |          |
|                                          | 14 DIAS | M1     | 10.160   | 13919.100             | 210.000                                     | 171.700                           | 81.76%                   | 82.24%   |
|                                          |         | M2     | 10.170   | 14399.400             | 210.000                                     | 177.300                           | 84.43%                   |          |
|                                          |         | M3     | 10.200   | 14326.800             | 210.000                                     | 175.300                           | 83.48%                   |          |
|                                          |         | M4     | 10.000   | 13291.400             | 210.000                                     | 169.200                           | 80.57%                   |          |
|                                          |         | M5     | 10.150   | 13757.700             | 210.000                                     | 170.000                           | 80.95%                   |          |
|                                          | 28 DIAS | M1     | 10.180   | 17059.400             | 210.000                                     | 209.600                           | 99.81%                   | 101.70 % |
|                                          |         | M2     | 10.170   | 16527.000             | 210.000                                     | 203.500                           | 96.90%                   |          |
|                                          |         | M3     | 10.180   | 17619.500             | 210.000                                     | 216.500                           | 103.10%                  |          |
|                                          |         | M4     | 10.170   | 17642.800             | 210.000                                     | 217.200                           | 103.43%                  |          |
|                                          |         | M5     | 10.160   | 17922.700             | 210.000                                     | 221.100                           | 105.29%                  |          |
| Muestras Patrón cemento Rumi IP          | 7 DIAS  | M1     | 10.200   | 11714.900             | 210.000                                     | 143.400                           | 68.29%                   | 69.73%   |
|                                          |         | M2     | 10.200   | 12646.900             | 210.000                                     | 154.800                           | 73.71%                   |          |
|                                          |         | M3     | 10.200   | 12457.900             | 210.000                                     | 152.500                           | 72.62%                   |          |
|                                          |         | M4     | 10.200   | 11677.600             | 210.000                                     | 142.900                           | 68.05%                   |          |
|                                          |         | M5     | 10.000   | 10889.200             | 210.000                                     | 138.600                           | 66.00%                   |          |
|                                          | 14 DIAS | M1     | 10.000   | 13593.200             | 210.000                                     | 173.100                           | 82.43%                   | 84.18%   |
|                                          |         | M2     | 10.180   | 14627.100             | 210.000                                     | 179.700                           | 85.57%                   |          |
|                                          |         | M3     | 10.000   | 13705.000             | 210.000                                     | 174.500                           | 83.10%                   |          |
|                                          |         | M4     | 10.160   | 14111.900             | 210.000                                     | 174.100                           | 82.90%                   |          |
|                                          |         | M5     | 10.200   | 14911.400             | 210.000                                     | 182.500                           | 86.90%                   |          |
|                                          | 28 DIAS | M1     | 10.000   | 16702.300             | 210.000                                     | 212.700                           | 101.29%                  | 103.62 % |
|                                          |         | M2     | 10.000   | 16841.700             | 210.000                                     | 214.400                           | 102.10%                  |          |
|                                          |         | M3     | 10.180   | 18629.000             | 210.000                                     | 228.900                           | 109.00%                  |          |
|                                          |         | M4     | 10.120   | 17230.900             | 210.000                                     | 214.200                           | 102.00%                  |          |
|                                          |         | M5     | 10.000   | 17106.900             | 210.000                                     | 217.800                           | 103.71%                  |          |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35.  
Resultados de resistencia a la compresión concreto patrón dosificado con cementos Yura IP y Wari I.

| RESISTENCIA DE LOS TESTÍGOS A COMPRESIÓN |         |        |          |                       |                                             |                                   |                          |          |
|------------------------------------------|---------|--------|----------|-----------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|----------|
| P. Físicas                               |         |        |          | Propiedades Mecánicas |                                             |                                   |                          | Prom.    |
| Cemento                                  | Edad    | Código | Diámetro | Fuerza de Falla       | Resistencia de diseño (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia a Porcentaje |          |
| Muestras Patrón cemento Yura IP          | 7 DIAS  | M1     | 10.030   | 11672.300             | 210.000                                     | 147.700                           | 70.33%                   | 70.18%   |
|                                          |         | M2     | 10.140   | 11820.000             | 210.000                                     | 146.400                           | 69.71%                   |          |
|                                          |         | M3     | 10.340   | 13308.900             | 210.000                                     | 158.500                           | 75.48%                   |          |
|                                          |         | M4     | 10.000   | 11475.200             | 210.000                                     | 146.100                           | 69.57%                   |          |
|                                          |         | M5     | 10.000   | 10856.200             | 210.000                                     | 138.200                           | 65.81%                   |          |
|                                          | 14 DIAS | M1     | 10.000   | 13651.700             | 210.000                                     | 173.800                           | 82.76%                   | 84.75%   |
|                                          |         | M2     | 10.280   | 15638.400             | 210.000                                     | 188.400                           | 89.71%                   |          |
|                                          |         | M3     | 10.280   | 14237.400             | 210.000                                     | 171.500                           | 81.67%                   |          |
|                                          |         | M4     | 10.000   | 13311.200             | 210.000                                     | 169.500                           | 80.71%                   |          |
|                                          |         | M5     | 10.280   | 15494.800             | 210.000                                     | 186.700                           | 88.90%                   |          |
|                                          | 28 DIAS | M1     | 10.160   | 17389.700             | 210.000                                     | 214.500                           | 102.14%                  | 105.20 % |
|                                          |         | M2     | 10.360   | 19039.300             | 210.000                                     | 225.900                           | 107.57%                  |          |
|                                          |         | M3     | 10.010   | 16429.700             | 210.000                                     | 208.800                           | 99.43%                   |          |
|                                          |         | M4     | 10.360   | 19943.300             | 210.000                                     | 236.600                           | 112.67%                  |          |
|                                          |         | M5     | 10.020   | 17256.900             | 210.000                                     | 218.800                           | 104.19%                  |          |
| Muestras Patrón cemento Wari I           | 7 DIAS  | M1     | 10.030   | 15010.100             | 210.000                                     | 190.000                           | 90.48%                   | 93.07%   |
|                                          |         | M2     | 10.010   | 15045.700             | 210.000                                     | 191.200                           | 91.05%                   |          |
|                                          |         | M3     | 10.000   | 15120.500             | 210.000                                     | 192.500                           | 91.67%                   |          |
|                                          |         | M4     | 10.200   | 17289.200             | 210.000                                     | 211.600                           | 100.76%                  |          |
|                                          |         | M5     | 10.010   | 15100.400             | 210.000                                     | 191.900                           | 91.38%                   |          |
|                                          | 14 DIAS | M1     | 10.200   | 22170.000             | 210.000                                     | 271.300                           | 129.19%                  | 124.40 % |
|                                          |         | M2     | 10.200   | 19947.400             | 210.000                                     | 244.100                           | 116.24%                  |          |
|                                          |         | M3     | 10.200   | 22155.000             | 210.000                                     | 271.100                           | 129.10%                  |          |
|                                          |         | M4     | 10.200   | 21159.600             | 210.000                                     | 259.000                           | 123.33%                  |          |
|                                          |         | M5     | 10.200   | 21298.800             | 210.000                                     | 260.700                           | 124.14%                  |          |
|                                          | 28 DIAS | M1     | 10.120   | 22789.900             | 210.000                                     | 283.300                           | 134.90%                  | 134.76 % |
|                                          |         | M2     | 10.160   | 23261.700             | 210.000                                     | 286.900                           | 136.62%                  |          |
|                                          |         | M3     | 10.180   | 23667.700             | 210.000                                     | 290.800                           | 138.48%                  |          |
|                                          |         | M4     | 10.160   | 23126.900             | 210.000                                     | 285.300                           | 135.86%                  |          |
|                                          |         | M5     | 10.160   | 21787.700             | 210.000                                     | 268.700                           | 127.95%                  |          |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36.

*Resultados de resistencia a la compresión del concreto elaborado a -5°C y 5°C dosificado con cemento Frontera IP.*

| RESISTENCIA DE LOS TESTÍGOS A COMPRESIÓN |         |      |          |                       |                                |                      |                        |        |
|------------------------------------------|---------|------|----------|-----------------------|--------------------------------|----------------------|------------------------|--------|
| P. Físicas                               |         |      |          | Propiedades Mecánicas |                                |                      |                        |        |
| Cemento                                  | Edad    | Cod. | Diámetro | Fuerza de Falla       | Resistencia de diseño (Kg/cm2) | Resistencia (Kg/cm2) | Resistencia Porcentaje | Prom.  |
| Cemento Frontera tipo IP a -5°C          | 7 DIAS  | M1   | 10.200   | 8056.100              | 210.000                        | 98.600               | 46.95%                 | 49.61% |
|                                          |         | M2   | 10.200   | 8865.200              | 210.000                        | 108.500              | 51.67%                 |        |
|                                          |         | M3   | 10.000   | 7743.600              | 210.000                        | 98.600               | 46.95%                 |        |
|                                          |         | M4   | 10.200   | 8830.600              | 210.000                        | 108.100              | 51.48%                 |        |
|                                          |         | M5   | 10.200   | 8748.400              | 210.000                        | 107.100              | 51.00%                 |        |
|                                          | 14 DIAS | M1   | 10.000   | 10434.200             | 210.000                        | 132.900              | 63.29%                 | 68.36% |
|                                          |         | M2   | 10.200   | 12167.500             | 210.000                        | 148.900              | 70.90%                 |        |
|                                          |         | M3   | 10.000   | 11037.100             | 210.000                        | 140.500              | 66.90%                 |        |
|                                          |         | M4   | 10.200   | 12224.300             | 210.000                        | 149.600              | 71.24%                 |        |
|                                          |         | M5   | 10.200   | 11925.400             | 210.000                        | 145.900              | 69.48%                 |        |
|                                          | 28 DIAS | M1   | 10.180   | 16014.400             | 210.000                        | 196.800              | 93.71%                 | 91.07% |
|                                          |         | M2   | 10.000   | 14946.600             | 210.000                        | 190.300              | 90.62%                 |        |
|                                          |         | M3   | 10.000   | 15061.100             | 210.000                        | 191.800              | 91.33%                 |        |
|                                          |         | M4   | 10.160   | 15972.400             | 210.000                        | 197.000              | 93.81%                 |        |
|                                          |         | M5   | 10.000   | 14157.300             | 210.000                        | 180.300              | 85.86%                 |        |
| Cemento Frontera tipo IP a 5°C           | 7 DIAS  | M1   | 10.200   | 9175.400              | 210.000                        | 112.300              | 53.48%                 | 54.33% |
|                                          |         | M2   | 10.200   | 9800.700              | 210.000                        | 119.900              | 57.10%                 |        |
|                                          |         | M3   | 10.000   | 8484.000              | 210.000                        | 108.000              | 51.43%                 |        |
|                                          |         | M4   | 10.200   | 9321.300              | 210.000                        | 114.100              | 54.33%                 |        |
|                                          |         | M5   | 10.200   | 9492.600              | 210.000                        | 116.200              | 55.33%                 |        |
|                                          | 14 DIAS | M1   | 10.200   | 12290.000             | 210.000                        | 150.400              | 71.62%                 | 69.52% |
|                                          |         | M2   | 10.200   | 11502.800             | 210.000                        | 140.800              | 67.05%                 |        |
|                                          |         | M3   | 10.000   | 11127.800             | 210.000                        | 141.700              | 67.48%                 |        |
|                                          |         | M4   | 10.200   | 11630.700             | 210.000                        | 142.300              | 67.76%                 |        |
|                                          |         | M5   | 10.200   | 12650.100             | 210.000                        | 154.800              | 73.71%                 |        |
|                                          | 28 DIAS | M1   | 10.380   | 18396.500             | 210.000                        | 217.400              | 103.52%                | 98.41% |
|                                          |         | M2   | 10.200   | 15888.000             | 210.000                        | 194.400              | 92.57%                 |        |
|                                          |         | M3   | 10.200   | 16260.800             | 210.000                        | 199.000              | 94.76%                 |        |
|                                          |         | M4   | 10.380   | 17902.900             | 210.000                        | 211.600              | 100.76%                |        |
|                                          |         | M5   | 10.260   | 17435.100             | 210.000                        | 210.900              | 100.43%                |        |

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 37.

*Resultados de resistencia a la compresión del concreto elaborado a -5°C y 5°C dosificado con cemento Rumi IP.*

| RESISTENCIA DE LOS TESTÍGOS A COMPRESIÓN |         |      |          |                       |                                |                      |                          |          |
|------------------------------------------|---------|------|----------|-----------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------------|----------|
| P. Fisicas                               |         |      |          | Propiedades Mecanicas |                                |                      |                          |          |
| Cemento                                  | Edad    | Cod. | Diametro | Fuerza de Falla       | Resistencia de diseño (Kg/cm2) | Resistencia (Kg/cm2) | Resistencia a Porcentaje | Prom.    |
| Cemento Rumi tipo IP a -5°C              | 7 DIAS  | M1   | 10.200   | 9429.400              | 210.000                        | 115.400              | 54.95%                   | 54.29%   |
|                                          |         | M2   | 10.160   | 9052.200              | 210.000                        | 111.700              | 53.19%                   |          |
|                                          |         | M3   | 10.000   | 8386.700              | 210.000                        | 106.800              | 50.86%                   |          |
|                                          |         | M4   | 10.200   | 9897.400              | 210.000                        | 121.100              | 57.67%                   |          |
|                                          |         | M5   | 10.180   | 9358.000              | 210.000                        | 115.000              | 54.76%                   |          |
|                                          | 14 DIAS | M1   | 10.200   | 12987.600             | 210.000                        | 158.900              | 75.67%                   | 72.66%   |
|                                          |         | M2   | 10.000   | 11030.400             | 210.000                        | 140.400              | 66.86%                   |          |
|                                          |         | M3   | 10.000   | 11820.300             | 210.000                        | 150.500              | 71.67%                   |          |
|                                          |         | M4   | 10.200   | 12845.200             | 210.000                        | 157.200              | 74.86%                   |          |
|                                          |         | M5   | 10.000   | 12241.200             | 210.000                        | 155.900              | 74.24%                   |          |
|                                          | 28 DIAS | M1   | 10.200   | 16568.000             | 210.000                        | 202.800              | 96.57%                   | 91.22%   |
|                                          |         | M2   | 10.000   | 14569.700             | 210.000                        | 185.500              | 88.33%                   |          |
|                                          |         | M3   | 10.180   | 15497.700             | 210.000                        | 190.400              | 90.67%                   |          |
|                                          |         | M4   | 10.200   | 16274.800             | 210.000                        | 199.200              | 94.86%                   |          |
|                                          |         | M5   | 10.000   | 14130.200             | 210.000                        | 179.900              | 85.67%                   |          |
| Cemento Rumi tipo IP a 5°C               | 7 DIAS  | M1   | 10.010   | 9741.600              | 210.000                        | 123.800              | 58.95%                   | 59.88%   |
|                                          |         | M2   | 10.280   | 10500.300             | 210.000                        | 126.500              | 60.24%                   |          |
|                                          |         | M3   | 10.280   | 10745.600             | 210.000                        | 129.500              | 61.67%                   |          |
|                                          |         | M4   | 10.000   | 9125.600              | 210.000                        | 116.200              | 55.33%                   |          |
|                                          |         | M5   | 10.280   | 11011.500             | 210.000                        | 132.700              | 63.19%                   |          |
|                                          | 14 DIAS | M1   | 10.020   | 12791.300             | 210.000                        | 162.200              | 77.24%                   | 77.00%   |
|                                          |         | M2   | 10.020   | 12314.600             | 210.000                        | 156.200              | 74.38%                   |          |
|                                          |         | M3   | 10.010   | 12078.000             | 210.000                        | 153.500              | 73.10%                   |          |
|                                          |         | M4   | 10.460   | 14947.500             | 210.000                        | 173.900              | 82.81%                   |          |
|                                          |         | M5   | 10.240   | 13401.800             | 210.000                        | 162.700              | 77.48%                   |          |
|                                          | 28 DIAS | M1   | 10.200   | 18393.300             | 210.000                        | 225.100              | 107.19%                  | 101.18 % |
|                                          |         | M2   | 10.380   | 17938.400             | 210.000                        | 212.000              | 100.95%                  |          |
|                                          |         | M3   | 10.200   | 17642.800             | 210.000                        | 215.900              | 102.81%                  |          |
|                                          |         | M4   | 10.380   | 17922.700             | 210.000                        | 211.800              | 100.86%                  |          |
|                                          |         | M5   | 10.200   | 16144.900             | 210.000                        | 197.600              | 94.10%                   |          |

*Fuente:* Elaboración propia

Tabla 38.

*Resultados de resistencia a la compresión del concreto elaborado a -5°C y 5°C dosificado con cemento Yura IP.*

| RESISTENCIA DE LOS TESTÍGOS A COMPRESIÓN |         |      |          |                       |                                             |                                   |                          |          |
|------------------------------------------|---------|------|----------|-----------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|----------|
| P. Físicas                               |         |      |          | Propiedades Mecánicas |                                             |                                   |                          |          |
| Cemento                                  | Edad    | Cod. | Diámetro | Fuerza de Falla       | Resistencia de diseño (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia a Porcentaje | Prom.    |
| Cemento Yura tipo IP a -5°C              | 7 DIAS  | M1   | 10.200   | 10646.800             | 210.000                                     | 130.300                           | 62.05%                   | 58.40%   |
|                                          |         | M2   | 10.000   | 9522.600              | 210.000                                     | 121.200                           | 57.71%                   |          |
|                                          |         | M3   | 10.200   | 10236.200             | 210.000                                     | 125.300                           | 59.67%                   |          |
|                                          |         | M4   | 10.000   | 8939.500              | 210.000                                     | 113.800                           | 54.19%                   |          |
|                                          |         | M5   | 10.200   | 10015.400             | 210.000                                     | 122.600                           | 58.38%                   |          |
|                                          | 14 DIAS | M1   | 10.120   | 13540.500             | 210.000                                     | 168.300                           | 80.14%                   | 78.90%   |
|                                          |         | M2   | 10.000   | 12793.700             | 210.000                                     | 162.900                           | 77.57%                   |          |
|                                          |         | M3   | 10.000   | 13251.200             | 210.000                                     | 168.700                           | 80.33%                   |          |
|                                          |         | M4   | 10.180   | 13764.700             | 210.000                                     | 169.100                           | 80.52%                   |          |
|                                          |         | M5   | 10.000   | 12521.900             | 210.000                                     | 159.400                           | 75.90%                   |          |
|                                          | 28 DIAS | M1   | 10.000   | 15248.100             | 210.000                                     | 194.100                           | 92.43%                   | 97.93%   |
|                                          |         | M2   | 10.000   | 15944.800             | 210.000                                     | 203.000                           | 96.67%                   |          |
|                                          |         | M3   | 10.200   | 17002.900             | 210.000                                     | 208.100                           | 99.10%                   |          |
|                                          |         | M4   | 10.200   | 18017.000             | 210.000                                     | 220.500                           | 105.00%                  |          |
|                                          |         | M5   | 10.000   | 15908.900             | 210.000                                     | 202.600                           | 96.48%                   |          |
| Cemento Yura tipo IP a 5°C               | 7 DIAS  | M1   | 10.000   | 10964.900             | 210.000                                     | 139.600                           | 66.48%                   | 70.70%   |
|                                          |         | M2   | 10.220   | 12295.000             | 210.000                                     | 149.900                           | 71.38%                   |          |
|                                          |         | M3   | 10.020   | 11527.900             | 210.000                                     | 146.200                           | 69.62%                   |          |
|                                          |         | M4   | 10.220   | 13117.500             | 210.000                                     | 159.900                           | 76.14%                   |          |
|                                          |         | M5   | 10.000   | 11520.000             | 210.000                                     | 146.700                           | 69.86%                   |          |
|                                          | 14 DIAS | M1   | 10.000   | 13487.200             | 210.000                                     | 171.700                           | 81.76%                   | 82.95%   |
|                                          |         | M2   | 10.180   | 14296.300             | 210.000                                     | 175.600                           | 83.62%                   |          |
|                                          |         | M3   | 10.140   | 14068.200             | 210.000                                     | 174.200                           | 82.95%                   |          |
|                                          |         | M4   | 10.000   | 13836.400             | 210.000                                     | 176.200                           | 83.90%                   |          |
|                                          |         | M5   | 10.200   | 14160.000             | 210.000                                     | 173.300                           | 82.52%                   |          |
|                                          | 28 DIAS | M1   | 10.140   | 17333.500             | 210.000                                     | 214.600                           | 102.19%                  | 100.92 % |
|                                          |         | M2   | 10.000   | 15544.900             | 210.000                                     | 197.900                           | 94.24%                   |          |
|                                          |         | M3   | 10.200   | 17570.000             | 210.000                                     | 215.000                           | 102.38%                  |          |
|                                          |         | M4   | 10.200   | 18011.800             | 210.000                                     | 220.400                           | 104.95%                  |          |
|                                          |         | M5   | 10.180   | 17242.300             | 210.000                                     | 211.800                           | 100.86%                  |          |

*Fuente:* Elaboración propia

Tabla 39.

*Resultados de resistencia a la compresión del concreto elaborado a -5°C y 5°C dosificado con cemento Wari I.*

| RESISTENCIA DE LOS TESTÍGOS A COMPRESIÓN |         |      |          |                       |                                             |                                   |                          |          |
|------------------------------------------|---------|------|----------|-----------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|----------|
| P. Físicas                               |         |      |          | Propiedades Mecánicas |                                             |                                   |                          | Prom.    |
| Cemento                                  | Edad    | Cod. | Diámetro | Fuerza de Falla       | Resistencia de diseño (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia a Porcentaje |          |
| Cemento Wari tipo I a -5°C               | 7 DIAS  | M1   | 10.000   | 13978.500             | 210.000                                     | 178.000                           | 84.76%                   | 86.99%   |
|                                          |         | M2   | 10.180   | 15115.600             | 210.000                                     | 185.700                           | 88.43%                   |          |
|                                          |         | M3   | 10.000   | 14315.500             | 210.000                                     | 182.300                           | 86.81%                   |          |
|                                          |         | M4   | 10.000   | 14549.700             | 210.000                                     | 185.300                           | 88.24%                   |          |
|                                          |         | M5   | 10.110   | 14618.100             | 210.000                                     | 182.100                           | 86.71%                   |          |
|                                          | 14 DIAS | M1   | 10.260   | 19475.900             | 210.000                                     | 235.600                           | 112.19%                  | 109.56 % |
|                                          |         | M2   | 10.000   | 17354.400             | 210.000                                     | 221.000                           | 105.24%                  |          |
|                                          |         | M3   | 10.220   | 18984.700             | 210.000                                     | 231.400                           | 110.19%                  |          |
|                                          |         | M4   | 10.260   | 20285.700             | 210.000                                     | 245.400                           | 116.86%                  |          |
|                                          |         | M5   | 10.000   | 17041.300             | 210.000                                     | 217.000                           | 103.33%                  |          |
|                                          | 28 DIAS | M1   | 10.120   | 21298.800             | 210.000                                     | 264.800                           | 126.10%                  | 127.21 % |
|                                          |         | M2   | 10.000   | 20590.400             | 210.000                                     | 262.200                           | 124.86%                  |          |
|                                          |         | M3   | 10.140   | 21339.700             | 210.000                                     | 264.300                           | 125.86%                  |          |
|                                          |         | M4   | 10.000   | 20984.800             | 210.000                                     | 267.200                           | 127.24%                  |          |
|                                          |         | M5   | 10.200   | 22653.500             | 210.000                                     | 277.200                           | 132.00%                  |          |
| Cemento Wari tipo I a 5°C                | 7 DIAS  | M1   | 10.000   | 15708.000             | 210.000                                     | 200.000                           | 95.24%                   | 92.66%   |
|                                          |         | M2   | 10.000   | 15732.100             | 210.000                                     | 200.300                           | 95.38%                   |          |
|                                          |         | M3   | 10.200   | 16623.100             | 210.000                                     | 203.400                           | 96.86%                   |          |
|                                          |         | M4   | 10.000   | 14821.100             | 210.000                                     | 188.700                           | 89.86%                   |          |
|                                          |         | M5   | 10.000   | 14180.000             | 210.000                                     | 180.500                           | 85.95%                   |          |
|                                          | 14 DIAS | M1   | 10.010   | 19757.900             | 210.000                                     | 251.100                           | 119.57%                  | 121.03 % |
|                                          |         | M2   | 10.210   | 21847.800             | 210.000                                     | 266.800                           | 127.05%                  |          |
|                                          |         | M3   | 10.020   | 21082.900             | 210.000                                     | 267.400                           | 127.33%                  |          |
|                                          |         | M4   | 10.010   | 18846.800             | 210.000                                     | 239.500                           | 114.05%                  |          |
|                                          |         | M5   | 10.010   | 19358.000             | 210.000                                     | 246.000                           | 117.14%                  |          |
|                                          | 28 DIAS | M1   | 10.000   | 22155.300             | 210.000                                     | 282.100                           | 134.33%                  | 132.38 % |
|                                          |         | M2   | 10.000   | 22214.000             | 210.000                                     | 282.800                           | 134.67%                  |          |
|                                          |         | M3   | 10.180   | 22941.900             | 210.000                                     | 281.900                           | 134.24%                  |          |
|                                          |         | M4   | 10.000   | 20643.800             | 210.000                                     | 262.800                           | 125.14%                  |          |
|                                          |         | M5   | 10.000   | 22023.200             | 210.000                                     | 280.400                           | 133.52%                  |          |

*Fuente:* Elaboración propia

## Evaluación general de resultados de resistencia del concreto muestras patrón dosificado con cemento Frontera IP.

1. Teniendo los datos obtenidos de los ensayos de laboratorio como se muestran en la tabla 40 procedemos a realizar los cálculos para determinar el coeficiente de variación.

Tabla 40.

*Resistencia a la compresión del concreto a diferentes temperaturas*

| P. Físicas                          |         |      |          |                 | Propiedades Mecánicas                       |                                   |                          | Prom.    |
|-------------------------------------|---------|------|----------|-----------------|---------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|----------|
| Cemento                             | Edad    | Cod. | Diámetro | Fuerza de Falla | Resistencia de diseño (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia a Porcentaje |          |
| Muestras Patrón cemento Frontera IP | 7 DIAS  | M1   | 10.200   | 12561.300       | 210.000                                     | 153.700                           | 73.19%                   | 68.83%   |
|                                     |         | M2   | 10.200   | 11617.600       | 210.000                                     | 142.200                           | 67.71%                   |          |
|                                     |         | M3   | 10.200   | 12170.100       | 210.000                                     | 148.900                           | 70.90%                   |          |
|                                     |         | M4   | 10.200   | 11250.600       | 210.000                                     | 137.700                           | 65.57%                   |          |
|                                     |         | M5   | 10.200   | 11454.800       | 210.000                                     | 140.200                           | 66.76%                   |          |
|                                     | 14 DIAS | M1   | 10.160   | 13919.100       | 210.000                                     | 171.700                           | 81.76%                   | 82.24%   |
|                                     |         | M2   | 10.170   | 14399.400       | 210.000                                     | 177.300                           | 84.43%                   |          |
|                                     |         | M3   | 10.200   | 14326.800       | 210.000                                     | 175.300                           | 83.48%                   |          |
|                                     |         | M4   | 10.000   | 13291.400       | 210.000                                     | 169.200                           | 80.57%                   |          |
|                                     |         | M5   | 10.150   | 13757.700       | 210.000                                     | 170.000                           | 80.95%                   |          |
|                                     | 28 DIAS | M1   | 10.180   | 17059.400       | 210.000                                     | 209.600                           | 99.81%                   | 101.70 % |
|                                     |         | M2   | 10.170   | 16527.000       | 210.000                                     | 203.500                           | 96.90%                   |          |
|                                     |         | M3   | 10.180   | 17619.500       | 210.000                                     | 216.500                           | 103.10%                  |          |
|                                     |         | M4   | 10.170   | 17642.800       | 210.000                                     | 217.200                           | 103.43%                  |          |
|                                     |         | M5   | 10.160   | 17922.700       | 210.000                                     | 221.100                           | 105.29%                  |          |

*Fuente:* Elaboración propia

## 2. Distribución de resultados de resistencia- muestras patrón dosificado con cemento frontera - 7 días

Variación de resultados entre testigos de una muestra

ENSAYOS DE COMPRESION A LOS 7 DÍAS

$$Ds = \sqrt{\frac{\sum(Yi-u)^2}{n-1}} \rightarrow Ds = \sqrt{\frac{174.012}{5-1}} = 6.596$$

Donde:

**Ds** = Desviación Estándar

**u** = Resistencia Promedio

**Yi** = Resistencia individual

**n** = Numero de ensayos

### 3. Distribución de resultados de Resistencia muestra patrón frontera 7 días

Variación de resultados entre testigos de una muestra dosificada con cemento frontera

| Muestra    | Resistencia | Yi - u  | (Yi - u)^2 | Ti     |
|------------|-------------|---------|------------|--------|
| M1         | 153.700     | 9.160   | 83.906     | 1.389  |
| M2         | 142.200     | -2.340  | 5.476      | -0.355 |
| M3         | 148.900     | 4.360   | 19.010     | 0.661  |
| M4         | 137.700     | -6.840  | 46.786     | -1.037 |
| M5         | 140.200     | -4.340  | 18.836     | -0.658 |
| <b>SUM</b> | 722.700     |         | 174.012    |        |
|            | <b>u =</b>  | 144.540 | 144.540    |        |
|            | <b>Ds =</b> | 6.596   | 6.596      |        |
|            | <b>V =</b>  | 43.503  | 43.503     |        |

### 4. Distribución normal (campana de gauss)

$$Y = \frac{1}{Ds\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{Yi-u}{Ds}\right)^2}$$

Donde:

**Ds** = Desviación Estándar

**u** = Resistencia Promedio

**Yi** = Resistencia de ensayo

**e** = 2.71828

**π** = 3.14159

Al graficar la ecuación anterior tenemos una gráfica específica con las siguientes características.

- Es simétrica con relación a **u**.

- Es asintótica con relación al eje de las abscisas

- La representación y tamaño va a depender de **Ds**. El siguiente gráfico muestra la curva normal para diferentes valores de **Ds**, teniendo un mismo **u** entonces podemos concluir que a medida que aumenta la **Ds** el grado de dispersión que existe en las resistencias de las probetas es mayor el cual tiende a alejarse del promedio.

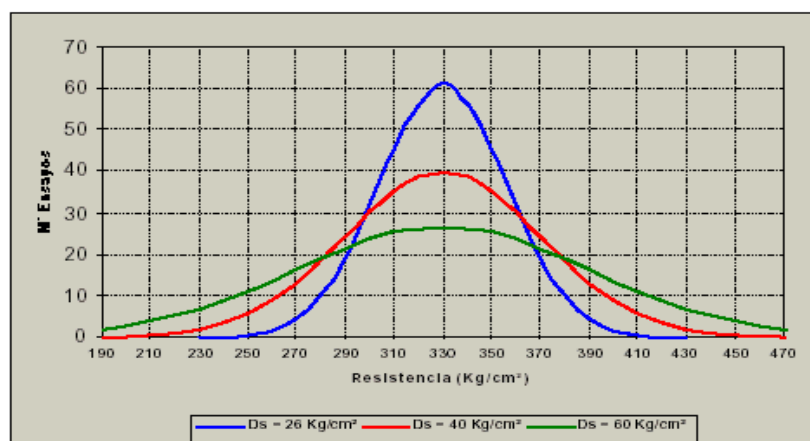


Figura 16. Distribución normal (campana de Gauss)

Teniendo nuestros datos obtenidos graficamos la distribución normal o campana de Gauss mediante la ecuación mostrada anteriormente.

|             |         |         |
|-------------|---------|---------|
| <b>u =</b>  | 144.540 | 144.540 |
| <b>Ds =</b> | 6.596   | 6.596   |
| <b>V =</b>  | 43.503  | 43.503  |

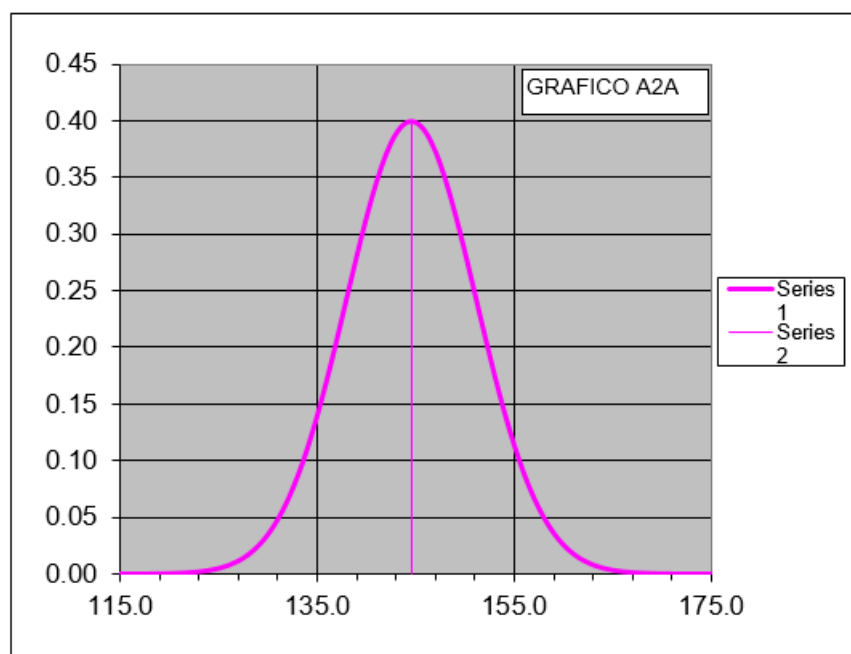


Figura 17. Distribución normal

### Descripción:

En el gráfico superior (A2A) se muestra la Distribución Normal de los datos obtenidos mediante los ensayos de compresión; presentando estos una media de 144.54 Kg/cm<sup>2</sup>, una desviación estándar de 6.596 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 DÍAS de resistencia.

### Interpretación:

Está demostrado científicamente que los pruebas de resistencia a la compresión de un determinado concreto tienen una distribución de frecuencias que se ajustan a la denominada Distribución Normal, o también llamada campana de Gauss. Esta gráfica resulta de los datos obtenidos a partir de los ensayos de compresión a los 7 DÍAS de las muestras patrón las cuales serán comparadas con las muestras de estudio más adelante.

5. **Valor de dispersión en el control de los ensayos:** el Coeficiente de variación, tiene como expresión:

$$Vt = \frac{Ds}{u} \times 100$$

$$Vt = \frac{6.596}{144.54} \times 100 = 4.56 \%$$

Donde:

**Ds** = Desviación Estándar

**u** = Resistencia Promedio

Enrique Paskel (1998), indica que se pueden utilizar como referencia los datos de la tabla 33 para estimar t, Ds y V cuando no se posean datos en obra asumiendo un grado de control apropiado.

Tabla 41.

*Dispersión entre testigos*

| DISPERCION ENTRE TESTIGOS |                                                            |           |           |            |            |
|---------------------------|------------------------------------------------------------|-----------|-----------|------------|------------|
| CLASE                     | COEFICIENTE DE VARIACION PARA DIFERENTES GRADOS DE CONTROL |           |           |            |            |
|                           | EXCELENTE                                                  | MUY BUENO | BUENO     | SUFICIENTE | DEFICIENTE |
| <b>C. en obra</b>         | < a 3.0                                                    | 3.0 a 4.0 | 4.0 a 5.0 | 5.0 a 6.0  | > a 6.0    |
| <b>C. en Lab.</b>         | < a 2.0                                                    | 2.0 a 3.0 | 3.0 a 4.0 | 4.0 a 5.0  | > a 5.0    |

*Fuente:* Elaboración propia

Ensayos de compresión a los 7 días

|             |         |           |            |
|-------------|---------|-----------|------------|
| <b>Ds</b> = | 6.596   | <b>Vt</b> |            |
| <b>u</b> =  | 144.540 | 4.56%     | Suficiente |

6. Resumen de la evaluación general de resultados de resistencia del concreto de los concretos dosificados con cementos Frontera IP, Rumi IP, Yura IP, Wari I, sometidos a temperaturas de 5°C y -5°C.

Tabla 42.

Control estadístico del concreto patrón a los 7 días

| CONTROL ESTADISTICO DEL CONCRETO PATRON A LOS 7 DIAS |                           |                           |                           |                           |
|------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Descripción                                          | P. FRONTERA               | P. RUMI                   | P. YURA                   | P. WARI I                 |
| Resistencia                                          | $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ | $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ | $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ | $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ |
| u                                                    | 144.54                    | 146.44                    | 147.38                    | 195.44                    |
| V                                                    | 43.503                    | 47.463                    | 52.657                    | 82.473                    |
| Ds                                                   | 6.60                      | 6.89                      | 7.26                      | 9.08                      |
| Coeficiente de variación (Vt)                        | 4.56%                     | 4.70%                     | 4.92%                     | 4.65%                     |
| Grado de control                                     | Suficiente                | Suficiente                | Suficiente                | Suficiente                |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43.

Control estadístico del concreto patrón a los 14 días.

| CONTROL ESTADISTICO DEL CONCRETO PATRON A LOS 14 DIAS |                           |                           |                           |                           |
|-------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Descripción                                           | P. FRONTERA               | P. RUMI                   | P. YURA                   | P. WARI I                 |
| Resistencia                                           | $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ | $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ | $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ | $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ |
| u                                                     | 172.7                     | 176.78                    | 177.98                    | 195.44                    |
| V                                                     | 12.115                    | 16.792                    | 78.997                    | 82.473                    |
| Ds                                                    | 3.48                      | 4.10                      | 8.89                      | 9.08                      |
| Coeficiente de variación (Vt)                         | 2.02%                     | 2.32%                     | 4.99%                     | 4.27%                     |
| Grado de control                                      | Muy Bueno                 | Muy Bueno                 | Suficiente                | Suficiente                |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44.

Control estadístico del concreto patrón a los 28 días.

| CONTROL ESTADISTICO DEL CONCRETO PATRON A LOS 28 DIAS |                           |                           |                           |                           |
|-------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Descripción                                           | P. FRONTERA               | P. RUMI                   | P. YURA                   | P. WARI I                 |
| Resistencia                                           | $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ | $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ | $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ | $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ |
| u                                                     | 213.58                    | 217.6                     | 220.92                    | 283                       |
| V                                                     | 48.907                    | 43.385                    | 115.817                   | 71.48                     |
| Ds                                                    | 6.99                      | 6.59                      | 10.76                     | 8.45                      |
| Coeficiente de variación (Vt)                         | 3.27%                     | 3.03%                     | 4.87%                     | 2.99%                     |
| Grado de control                                      | Bueno                     | Bueno                     | Suficiente                | Bueno                     |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 45.

Control estadístico del concreto edad 7 días a 5 °C.

| CONTROL ESTADISTICO DEL CONCRETO EDAD 7 DIAS A 5°C |                           |                           |                           |                           |
|----------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Descripción                                        | FRONTERA 5°C              | RUMI 5°C                  | YURA 5°                   | P. WARI I 5°C             |
| Resistencia                                        | $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ | $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ | $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ | $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ |
| u                                                  | 114.1                     | 125.74                    | 148.46                    | 196.22                    |
| V                                                  | 19.625                    | 39.483                    | 54.913                    | 48.897                    |
| Ds                                                 | 4.43                      | 6.28                      | 7.41                      | 6.99                      |
| Coeficiente de variación (Vt)                      | 3.88%                     | 5.00%                     | 4.99%                     | 3.56%                     |
| Grado de control                                   | Bueno                     | Suficiente                | Suficiente                | Bueno                     |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 46.

Control estadístico del concreto edad 14 días a 5 °C.

| CONTROL ESTADISTICO DEL CONCRETO EDAD 14 DIAS A 5°C |                |                |                |                |
|-----------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Descripción                                         | FRONTERA 5°C   | RUMI 5°C       | YURA 5°        | P. WARI I 5°C  |
| Resistencia                                         | f'c=210 kg/cm2 | f'c=210 kg/cm2 | f'c=210 kg/cm2 | f'c=210 kg/cm2 |
| u                                                   | 146            | 161.7          | 174.2          | 254.16         |
| V                                                   | 39.005         | 61.895         | 3.255          | 156.483        |
| Ds                                                  | 6.25           | 7.87           | 1.80           | 12.51          |
| Coeficiente de variación (Vt)                       | 4.28%          | 4.87%          | 1.04%          | 4.92%          |
| Grado de control                                    | Suficiente     | Suficiente     | Excelente      | Suficiente     |

*Fuente:* Elaboración propia

Tabla 47.

Control estadístico del concreto edad 28 días a 5°C.

| CONTROL ESTADISTICO DEL CONCRETO EDAD 28 DIAS A 5°C |                |                |                |                |
|-----------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Descripción                                         | FRONTERA 5°C   | RUMI 5°C       | YURA 5°        | P. WARI I 5°C  |
| Resistencia                                         | f'c=210 kg/cm2 | f'c=210 kg/cm2 | f'c=210 kg/cm2 | f'c=210 kg/cm2 |
| u                                                   | 206.66         | 212.48         | 211.94         | 278            |
| V                                                   | 91.678         | 98.267         | 71.288         | 72.965         |
| Ds                                                  | 9.57           | 9.91           | 8.44           | 8.54           |
| Coeficiente de variación (Vt)                       | 4.63%          | 4.67%          | 3.98%          | 3.07%          |
| Grado de control                                    | Suficiente     | Suficiente     | Bueno          | Bueno          |

*Fuente:* Elaboración propia

Tabla 48.

Control estadístico del concreto edad 7 días a -5°C.

| CONTROL ESTADISTICO DEL CONCRETO EDAD 7 DIAS A -5°C |                |                |                |                |
|-----------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Descripción                                         | FRONTERA -5°C  | RUMI -5°C      | YURA -5°       | P. WARI I -5°C |
| Resistencia                                         | f'c=210 kg/cm2 | f'c=210 kg/cm2 | f'c=210 kg/cm2 | f'c=210 kg/cm2 |
| u                                                   | 104.18         | 114            | 122.64         | 183.32         |
| V                                                   | 26.207         | 27.625         | 36.493         | 10.712         |
| Ds                                                  | 5.12           | 5.26           | 6.04           | 3.27           |
| Coeficiente de variación (Vt)                       | 4.91%          | 4.61%          | 4.93%          | 1.79%          |
| Grado de control                                    | Suficiente     | Suficiente     | Suficiente     | Excelente      |

*Fuente:* Elaboración propia

Tabla 49.

Control estadístico del concreto edad 14 días a -5°C.

| CONTROL ESTADISTICO DEL CONCRETO EDAD 14 DIAS A -5°C |                |                |                |                |
|------------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Descripción                                          | FRONTERA -5°C  | RUMI -5°C      | YURA -5°       | P. WARI I -5°C |
| Resistencia                                          | f'c=210 kg/cm2 | f'c=210 kg/cm2 | f'c=210 kg/cm2 | f'c=210 kg/cm2 |
| u                                                    | 143.56         | 152.58         | 165.68         | 230.08         |
| V                                                    | 48.368         | 56.247         | 18.712         | 130.112        |
| Ds                                                   | 6.95           | 7.50           | 4.33           | 11.41          |
| Coeficiente de variación (Vt)                        | 4.84%          | 4.92%          | 2.61%          | 4.96%          |
| Grado de control                                     | Suficiente     | Suficiente     | Muy Bueno      | Suficiente     |

*Fuente:* Elaboración propia

Tabla 50.

Control estadístico del concreto edad 28 días a -5°C.

| CONTROL ESTADISTICO DEL CONCRETO EDAD 28 DIAS A -5°C |                |                |                |                |
|------------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Descripción                                          | FRONTERA -5°C  | RUMI -5°C      | YURA -5°       | P. WARI I -5°C |
| Resistencia                                          | f'c=210 kg/cm2 | f'c=210 kg/cm2 | f'c=210 kg/cm2 | f'c=210 kg/cm2 |
| u                                                    | 191.24         | 191.56         | 205.66         | 267.14         |
| V                                                    | 46.243         | 89.683         | 94.063         | 34.788         |
| Ds                                                   | 6.80           | 9.47           | 9.70           | 5.90           |
| Coeficiente de variación (Vt)                        | 3.56%          | 4.94%          | 4.72%          | 2.21%          |
| Grado de control                                     | Bueno          | Suficiente     | Suficiente     | Muy Bueno      |

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.1.3 Prueba de hipótesis.

La hipótesis que se va a probar es:

“La resistencia a la compresión del concreto F'c=210 Kg/cm2 dosificado con cementos Rumi IP, Frontera IP, Yura IP, y Wari reducen su resistencia a bajas temperaturas”.

Para este contexto lo que se va a probar es: Si las características mecánicas del concreto reducen la resistencia a compresión del concreto, a temperaturas bajas de -5°C, 5°C frente al concreto patrón realizado a temperatura ambiente.

##### 4.1.3.1 Prueba de hipótesis para la resistencia a la compresión.

**Paso N° 01.- Formular la hipótesis nula e hipótesis alternativa adecuada.**

Se va a probar la hipótesis sobre la diferencia de medias, Si las resistencias del concreto reducen la resistencia a compresión del concreto, a temperaturas bajas de -5°C, 5°C frente al concreto patrón elaborado a temperatura ambiente.

Ho: La resistencia a la compresión del concreto F'c=210 Kg/cm2 dosificado con cementos Rumi IP, Frontera IP, Yura IP, y Wari no reducen su resistencia a bajas temperaturas

H1: La resistencia a la compresión del concreto F'c=210 Kg/cm2 dosificado con cementos Rumi IP, Frontera IP, Yura IP, y Wari I reducen su resistencia a bajas temperaturas.

La hipótesis Nula: Ho:  $\mu_{\theta_{CBT}} \geq \mu_{\theta_{CP}}$

La hipótesis Alternativa: H1:  $\mu_{\theta_{CBT}} < \mu_{\theta_{CP}}$

Donde:

$\mu_{\theta_{CBT}}$  : Representa a la media aritmética de la resistencia a compresión del concreto a

diferentes temperaturas como -5°C y 5°C.

$\mu\theta_{CP}$ : Representa la media aritmética del concreto patrón elaborado a temperatura ambiente.

### **Paso N° 02: Especificar el tamaño $\alpha$ del nivel de significancia.**

Córdova Manuel (2003), “el nivel de significancia se fija previamente por lo general en  $\alpha = 0.05$  o  $\alpha = 0.01$  si para un valor dado de  $\alpha$ , se rechaza la  $H_0$ , entonces se dice que los resultados muestrales obtenidos, no solo son diferentes por efectos del azar, si no que son realmente significativamente diferente al nivel  $\alpha \times 100\%$ , es decir se espera que de 100 resultados muestrales en  $\alpha \times 100\%$  de las veces se rechazara la hipótesis nula  $H_0$  cuando realmente es verdadera”.

Para nuestro caso usaremos un nivel de significancia de:  $\alpha=0.05$

### **Paso N° 03: Seleccionar la estadística adecuada a usar en la prueba**

Para la presente investigación se seleccionó el t de Student para la prueba de Hipótesis, ya que poseemos con variables independientes cuantitativas, el número de variables es inferior a 30.

La evaluación general del control estadístico de cada muestra se encuentra en los anexos con los resultados de resistencia del concreto.

### **Prueba de hipótesis con T de Student**

Como la hipótesis a probar es: La resistencia a la compresión del concreto  $F'_c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> dosificado con cementos Rumi IP, Frontera IP, Yura IP, y Wari reducen su resistencia a bajas temperaturas.

Entonces nuestra hipótesis es de la forma:  $\mu\theta_{CBT} < \mu\theta_{CP}$

Por consiguiente, se trata de un Test de una cola, con:

Hipótesis nula:  $H_0: \mu\theta_{CBT} \geq \mu\theta_{CP}$

Hipótesis alternativa:  $H_1: \mu\theta_{CBT} < \mu\theta_{CP}$

El estadístico de prueba para una distribución t-student con  $n_1+n_2-2$  grados de libertad es el siguiente:

$$tp = \frac{\theta_{CBT} - \theta_{CP}}{S_p * \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad ; \quad Sp = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

$\theta_{CBT}$  : Medias de las resistencias a compresión del concreto sometidos a bajas temperaturas como son a 5°C y -5°C.

$\theta_{CP}$  : Medias de las resistencias a compresión del concreto patrón sometido a temperatura ambiente.

Para determinar los valores de  $T_p$ ,  $S_p$  respectivamente aplicamos las formulas anteriores.

**Cálculo del estadístico de prueba  $t_p$  para el concreto dosificado con cemento frontera IP a temperaturas de 5°C y -5°C.**

Tabla 51.

Prueba  $t_p$  para el concreto Frontera IP a una edad de 7 días.

| CONCRETO DOFICADO CON CEMENTO FRONTERA IP          |         |         |         |
|----------------------------------------------------|---------|---------|---------|
| DISTRIBUCIÓN DE RESULTADOS DE RESISTENCIA - 7 DÍAS |         |         |         |
| DESCRIPCION                                        | PATRON  | -5°C    | 5°C     |
| M1                                                 | 153.700 | 98.600  | 112.300 |
| M2                                                 | 142.200 | 108.500 | 119.900 |
| M3                                                 | 148.900 | 98.600  | 108.000 |
| M4                                                 | 137.700 | 108.100 | 114.100 |
| M5                                                 | 140.200 | 107.100 | 116.200 |
| ni                                                 | 5.000   | 5.000   | 5.000   |
| Xi                                                 | 144.540 | 104.180 | 114.100 |
| S                                                  | 6.596   | 5.119   | 4.430   |
| S <sup>2</sup>                                     | 43.503  | 26.207  | 19.625  |
| $\theta_{cp}-\theta_{cc}$                          |         | -40.360 | -30.440 |
| $S_p$                                              |         | 5.904   | 5.618   |
| $t_p$                                              |         | -10.809 | -8.567  |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 52.

Prueba  $t_p$  para el concreto Frontera IP a una edad de 14 días.

| CONCRETO DOFICADO CON CEMENTO FRONTERA IP           |         |         |         |
|-----------------------------------------------------|---------|---------|---------|
| DISTRIBUCIÓN DE RESULTADOS DE RESISTENCIA - 14 DÍAS |         |         |         |
| DESCRIPCION                                         | PATRON  | -5°C    | 5°C     |
| M1                                                  | 171.700 | 132.900 | 150.400 |
| M2                                                  | 177.300 | 148.900 | 140.800 |
| M3                                                  | 175.300 | 140.500 | 141.700 |
| M4                                                  | 169.200 | 149.600 | 142.300 |
| M5                                                  | 170.000 | 145.900 | 154.800 |
| ni                                                  | 5.000   | 5.000   | 5.000   |
| Xi                                                  | 172.700 | 143.560 | 146.000 |
| S                                                   | 3.481   | 6.955   | 6.245   |
| S <sup>2</sup>                                      | 12.115  | 48.368  | 39.005  |
| $\theta_{cp}-\theta_{cc}$                           |         | -29.140 | -26.700 |
| $S_p$                                               |         | 6.778   | 6.423   |

|       |        |        |
|-------|--------|--------|
| $t_p$ | -6.798 | -6.573 |
|-------|--------|--------|

Fuente: Elaboración propia

Tabla 53.

Prueba  $t_p$  para el concreto Frontera IP a una edad de 28 días.

| CONCRETO DOFICADO CON CEMENTO FRONTERA IP           |         |         |         |
|-----------------------------------------------------|---------|---------|---------|
| DISTRIBUCIÓN DE RESULTADOS DE RESISTENCIA - 28 DÍAS |         |         |         |
| DESCRIPCION                                         | PATRON  | -5°C    | 5°C     |
| M1                                                  | 209.600 | 196.800 | 217.400 |
| M2                                                  | 203.500 | 190.300 | 194.400 |
| M3                                                  | 216.500 | 191.800 | 199.000 |
| M4                                                  | 217.200 | 197.000 | 211.600 |
| M5                                                  | 221.100 | 180.300 | 210.900 |
| ni                                                  | 5.000   | 5.000   | 5.000   |
| Xi                                                  | 213.580 | 191.240 | 206.660 |
| S                                                   | 6.993   | 6.800   | 9.575   |
| S <sup>2</sup>                                      | 48.907  | 46.243  | 91.678  |
| $\theta_{cp}-\theta_{cc}$                           |         | -22.340 | -6.920  |
| Sp                                                  |         | 6.699   | 8.221   |
| $t_p$                                               |         | -5.273  | -1.331  |

Fuente: Elaboración propia

#### Paso N° 04: Establecer la regla de decisión, determinado la región critica de la prueba

Como nuestra región critica de prueba trata de una prueba Unilateral.

Para muestras de una cola o unilateral, se rechaza la hipótesis nula cuando:

$$t_{n+m-2} < t_{\alpha, n+m-2}, \text{ también: } t_p < \text{tabla}$$

El valor crítico, para la aceptación de rechazo de la hipótesis nula de acuerdo a las tablas t student, para un nivel de significancia de 0.05 y 08 grados de libertad, queda definido en:

$$t_{\alpha, n+m-2} = t_{0.05, 5+5-2} = t_{0.05, 8} = -1.860$$

Como se muestra en la siguiente figura, donde si el  $t_p$  superior a -1.860, se rechaza la hipótesis nula, en cambio si el  $t_p$  es inferior a -1.860 no se rechaza la nula.

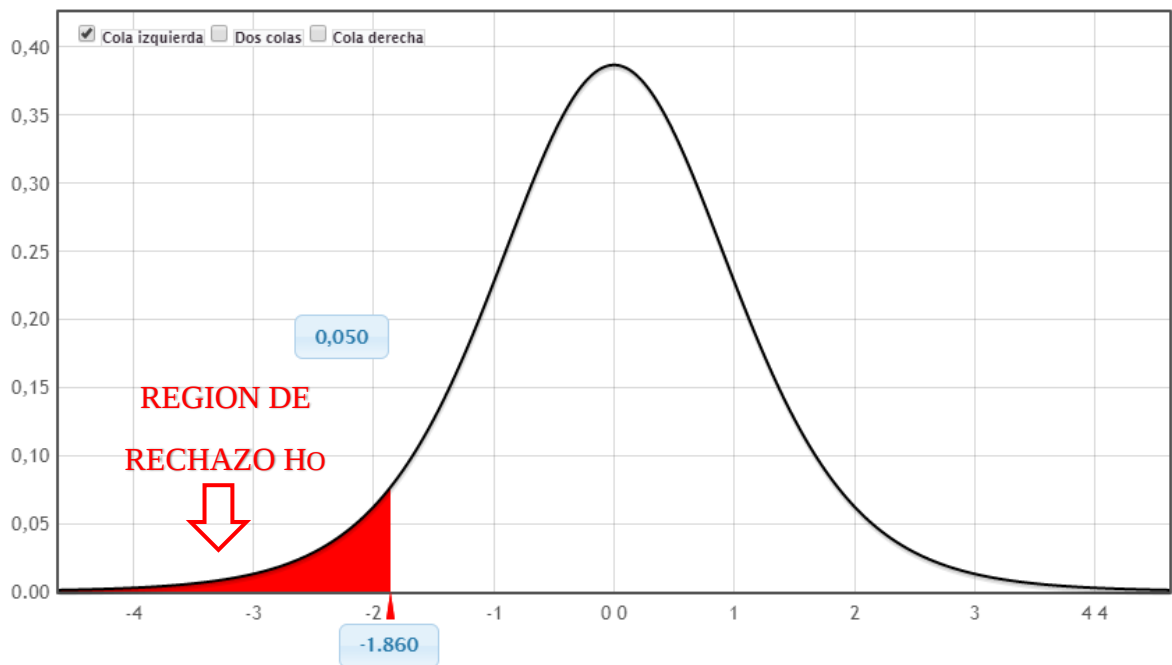


Figura 18. Estadístico t para  $\alpha=0.05$  y 08 grados de libertad.

Fuente: StatKey.com

**Paso N° 05: Tomar la decisión de rechazar la hipótesis  $H_0$  si el valor del estadístico de la prueba está en la región crítica. En caso contrario, no rechazar  $H_0$ .**

La toma de una decisión donde se acepta la  $H_0$  o se rechaza la  $H_0$ , caso contrario si se acepta la  $H_1$  o se rechaza la  $H_1$  se hará se realizara con las pruebas de t calculadas en la tabla anterior a su respectiva edad del concreto.

### Edad de 7 días

Para una edad de 7 días del concreto Frontera IP a 5°C y -5°C.

Tabla 54.

*Decisión de la hipótesis  $H_0$  con el  $t_p$  para el concreto Frontera IP.*

| CONCRETO DOFICADO CON CEMENTO FRONTERA IP |        |                  |                  |
|-------------------------------------------|--------|------------------|------------------|
| DESCRIPCION                               | PATRON | -5°C             | 5°C              |
| $t_p$                                     |        | -10.809          | -8.567           |
| $\alpha$                                  | 0.05   | 0.05             | 0.05             |
| $N1+N2-2$                                 |        | 8.000            | 8.000            |
| Ttabla                                    |        | -1.860           | -1.860           |
| Decisión                                  |        | Se Rechaza $H_0$ | Se Rechaza $H_0$ |

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior se observa que todos los estadísticos de prueba caen en la región donde “Se Rechaza la  $H_0$ ” de la curva de distribución de t student (  $t_p > t_{tabla}$  ).

Por lo tanto se rechaza la hipótesis nula que afirma que la resistencia a compresión del concreto a bajas temperaturas no reduce la resistencia del concreto frente a un concreto elaborado a temperatura ambiente ( $\mu_{\theta CBT} \geq \mu_{\theta CP}$ ) a una edad de 7 días, con un nivel de significancia de 0.05 (5%).

**Para una edad de 14 días del concreto Frontera IP a 5°C y -5°C.**

Tabla 55.

Decisión de la hipótesis  $H_0$  con el  $tp$  para el concreto Frontera IP

| CONCRETO DOFICADO CON CEMENTO FRONTERA IP |        |               |               |
|-------------------------------------------|--------|---------------|---------------|
| DESCRIPCION                               | PATRON | -5°C          | 5°C           |
| $tp$                                      |        | -6.798        | -6.573        |
| $\alpha$                                  | 0.05   | 0.05          | 0.05          |
| N1+N2-2                                   |        | 8.000         | 8.000         |
| Ttabla                                    |        | -1.860        | -1.860        |
|                                           |        | Se            | Se            |
| Decisión                                  |        | Rechaza $H_0$ | Rechaza $H_0$ |

Fuente: *Elaboración propia*

De la tabla anterior se observa que todos los estadísticos de prueba caen en la región donde “Se Rechaza la  $H_0$ ” de la curva de distribución de t student ( $tp > t_{tabla}$ ).

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula que afirma que la resistencia a compresión del concreto a bajas temperaturas no reduce la resistencia del concreto frente a un concreto elaborado a temperatura ambiente ( $\mu_{\theta CBT} \geq \mu_{\theta CP}$ ) a una edad de 14 días, con un nivel de significancia de 0.05 (5%).

**Para una edad de 28 días del concreto Frontera IP a 5°C y -5°C.**

Tabla 56.

Decisión de la hipótesis  $H_0$  con el  $tp$  para el concreto Frontera IP

| CONCRETO DOFICADO CON CEMENTO FRONTERA IP |        |                  |                     |
|-------------------------------------------|--------|------------------|---------------------|
| DESCRIPCION                               | PATRON | -5°C             | 5°C                 |
| $tp$                                      |        | -5.273           | -1.331              |
| $\alpha$                                  | 0.05   | 0.05             | 0.05                |
| N1+N2-2                                   |        | 8.000            | 8.000               |
| Ttabla                                    |        | -1.860           | -1.860              |
| Decisión                                  |        | Se Rechaza $H_0$ | No Se Rechaza $H_0$ |

Fuente: *Elaboración propia*

De la tabla anterior se observa que a -5°C los estadísticos de prueba caen en la región donde “Se Rechaza el  $H_0$ ” de la curva de distribución de t student ( $tp > t_{tabla}$ ).

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula que afirma que la resistencia a compresión del concreto a bajas temperaturas no reduce la resistencia del concreto frente a un

concreto elaborado a temperatura ambiente ( $\mu_{\theta\text{CBT}} \geq \mu_{\theta\text{CP}}$ ) a una edad de 14 días, con un nivel de significancia de 0.05 (5%).

También se observa que a 5°C los estadísticos de prueba caen en la región donde “No Se Rechaza el Ho” de la curva de distribución de t student ( $t_p > \text{tabla}$ ).

Por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula que afirma que la resistencia a compresión del concreto a bajas temperaturas no reduce la resistencia del concreto frente a un concreto elaborado a temperatura ambiente ( $\mu_{\theta\text{CBT}} \geq \mu_{\theta\text{CP}}$ ) a una edad de 28 días, con un nivel de significancia de 0.05 (5%).

### Decisión respecto a la hipótesis de investigación

En la tabla 54 muestra el resumen de todo lo analizado anteriormente, con respecto a la resistencia a la compresión del concreto para diferentes grados de temperatura

La hipótesis nula (Ho) planteada es:

Ho: La resistencia a la compresión del concreto  $F'_c=210 \text{ Kg/cm}^2$  dosificado con cementos Rumi IP, Frontera IP, Yura IP, y Wari no reducen su resistencia a bajas temperaturas.

*Tabla 57.*

Resumen de análisis de datos con el estadístico t de student dosificado con cemento Frontera IP

| CONCRETO DOFICADO CON CEMENTO FRONTERA IP |             |        |               |                  |
|-------------------------------------------|-------------|--------|---------------|------------------|
|                                           | DESCRIPCION | PATRON | -5°C          | 5°C              |
| 7 DIAS                                    | $t_p$       |        | -10.809       | -8.567           |
|                                           | $\alpha$    | 0.05   | 0.05          | 0.05             |
|                                           | N1+N2-2     |        | 8.000         | 8.000            |
|                                           | Ttabla      |        | -1.860        | -1.860           |
|                                           | Decisión    |        | Se Rechaza HO | Se Rechaza HO    |
| 14 DIAS                                   | $t_p$       |        | -6.798        | -6.573           |
|                                           | $\alpha$    | 0.05   | 0.05          | 0.05             |
|                                           | N1+N2-2     |        | 8.000         | 8.000            |
|                                           | Ttabla      |        | -1.860        | -1.860           |
|                                           | Decisión    |        | Se Rechaza HO | Se Rechaza HO    |
| 28 DIAS                                   | $t_p$       |        | -5.273        | -1.331           |
|                                           | $\alpha$    | 0.05   | 0.05          | 0.05             |
|                                           | N1+N2-2     |        | 8.000         | 8.000            |
|                                           | Ttabla      |        | -1.860        | -1.860           |
|                                           | Decisión    |        | Se Rechaza HO | No Se Rechaza HO |

Fuente: Elaboración propia

De manera similar elaboramos el análisis de datos con el estadístico t student para los concretos dosificados con cementos Rumi tipo IP, Yura tipo IP y Wari tipo I.

**Cálculo del estadístico de prueba  $t_p$  para el concreto dosificado con cemento Rumi IP a temperaturas de 5°C y -5°C.**

**Para una edad de 7 días del concreto Rumi IP a 5°C y -5°C.**

*Tabla 58.*

*Prueba  $t_p$  para el concreto Rumi IP a una edad de 7 días.*

| <b>CONCRETO DOFICADO CON CEMENTO RUMI IP</b>              |               |             |            |  |
|-----------------------------------------------------------|---------------|-------------|------------|--|
| <b>DISTRIBUCIÓN DE RESULTADOS DE RESISTENCIA - 7 DÍAS</b> |               |             |            |  |
| <b>DESCRIPCION</b>                                        | <b>PATRON</b> | <b>-5°C</b> | <b>5°C</b> |  |
| <b>M1</b>                                                 | 143.400       | 115.400     | 123.800    |  |
| <b>M2</b>                                                 | 154.800       | 111.700     | 126.500    |  |
| <b>M3</b>                                                 | 152.500       | 106.800     | 129.500    |  |
| <b>M4</b>                                                 | 142.900       | 121.100     | 116.200    |  |
| <b>M5</b>                                                 | 138.600       | 115.000     | 132.700    |  |
| <b>ni</b>                                                 | 5.000         | 5.000       | 5.000      |  |
| <b>Xi</b>                                                 | 146.440       | 114.000     | 125.740    |  |
| <b>S</b>                                                  | 6.889         | 5.256       | 6.284      |  |
| <b>S<sup>2</sup></b>                                      | 47.463        | 27.625      | 39.483     |  |
| <b><math>\theta_{cp-cc}</math></b>                        |               | -32.440     | -20.700    |  |
| <b>Sp</b>                                                 |               | 6.127       | 6.593      |  |
| <b><math>t_p</math></b>                                   |               | -8.371      | -4.964     |  |

*Fuente: Elaboración propia.*

**Para una edad de 14 días del concreto Rumi IP a 5°C y -5°C**

*Tabla 59.*

*Prueba  $t_p$  para el concreto Rumi IP a una edad de 14 días.*

| <b>CONCRETO DOFICADO CON CEMENTO RUMI IP</b>               |               |             |            |  |
|------------------------------------------------------------|---------------|-------------|------------|--|
| <b>DISTRIBUCIÓN DE RESULTADOS DE RESISTENCIA - 14 DÍAS</b> |               |             |            |  |
| <b>DESCRIPCION</b>                                         | <b>PATRON</b> | <b>-5°C</b> | <b>5°C</b> |  |
| <b>M1</b>                                                  | 173.100       | 158.900     | 162.200    |  |
| <b>M2</b>                                                  | 179.700       | 140.400     | 156.200    |  |
| <b>M3</b>                                                  | 174.500       | 150.500     | 153.500    |  |
| <b>M4</b>                                                  | 174.100       | 157.200     | 173.900    |  |
| <b>M5</b>                                                  | 182.500       | 155.900     | 162.700    |  |
| <b>ni</b>                                                  | 5.000         | 5.000       | 5.000      |  |
| <b>Xi</b>                                                  | 176.780       | 152.580     | 161.700    |  |
| <b>S</b>                                                   | 4.098         | 7.500       | 7.867      |  |
| <b>S<sup>2</sup></b>                                       | 16.792        | 56.247      | 61.895     |  |
| <b><math>\theta_{cp-\theta cc}</math></b>                  |               | -24.200     | -15.080    |  |
| <b>Sp</b>                                                  |               | 7.201       | 7.395      |  |
| <b><math>t_p</math></b>                                    |               | -5.314      | -3.224     |  |

*Fuente: Elaboración propia*

**Para una edad de 28 días del concreto Rumi IP a 5°C y -5°C.**

*Tabla 60.*

*Prueba  $t_p$  para el concreto Rumi IP a una edad de 28 días.*

| CONCRETO DOFICADO CON CEMENTO RUMI IP               |         |         |         |
|-----------------------------------------------------|---------|---------|---------|
| DISTRIBUCIÓN DE RESULTADOS DE RESISTENCIA - 28 DÍAS |         |         |         |
| DESCRIPCION                                         | PATRON  | -5°C    | 5°C     |
| M1                                                  | 212.700 | 202.800 | 225.100 |
| M2                                                  | 214.400 | 185.500 | 212.000 |
| M3                                                  | 228.900 | 190.400 | 215.900 |
| M4                                                  | 214.200 | 199.200 | 211.800 |
| M5                                                  | 217.800 | 179.900 | 197.600 |
| ni                                                  | 5.000   | 5.000   | 5.000   |
| Xi                                                  | 217.600 | 191.560 | 212.480 |
| S                                                   | 6.587   | 9.470   | 9.913   |
| S <sup>2</sup>                                      | 43.385  | 89.683  | 98.267  |
| $\theta_{cp}-\theta_{cc}$                           |         | -26.040 | -5.120  |
| Sp                                                  |         | 8.281   | 8.536   |
| $t_p$                                               |         | -4.972  | -0.948  |

*Fuente: Elaboración propia*

**Establecer la regla de decisión, determinado la región crítica de la prueba**

Como nuestra región crítica de prueba trata de una prueba Unilateral.

Para muestras de una cola o unilateral, se rechaza la hipótesis nula cuando:

$$t_{n+m-2} < t_{\alpha, n+m-2}, \text{ también: } t_p < \text{tabla}$$

El valor crítico, para la aceptación de rechazo de la hipótesis nula de acuerdo a las tablas t student, para un nivel de significancia de 0.05 y 08 grados de libertad, queda definido en:

$$t_{\alpha, n+m-2} = t_{0.05, 5+5-2} = t_{0.05, 8} = -1.860$$

Como se muestra en la siguiente figura, donde si el  $t_p$  superior a -1.860, se rechaza la hipótesis nula, en cambio si el  $t_p$  es inferior a -1.860 no se rechaza la nula.

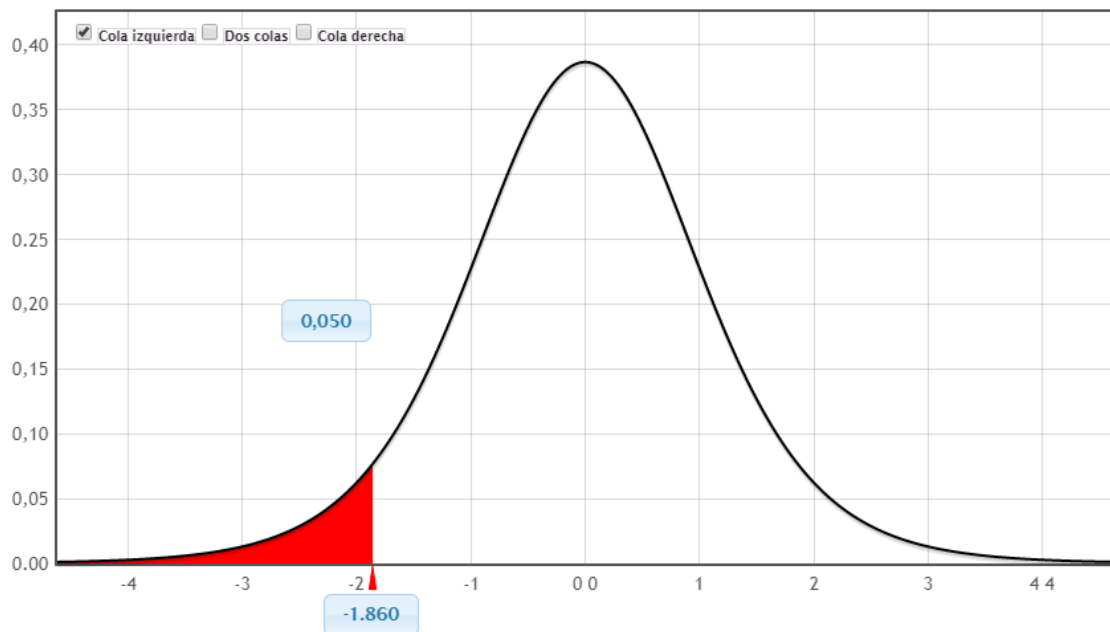


Figura 19. Estadístico t para  $\alpha=0.05$  y 08 grados de libertad.

Fuente: StatKey.com

**Tomar la decisión de rechazar la hipótesis  $H_0$  si el valor del estadístico de la prueba está en la región crítica. En caso contrario, no rechazar  $H_0$ .**

La toma de una decisión donde se acepta la  $H_0$  o se rechaza la  $H_0$ , caso contrario si se acepta la  $H_1$  o se rechaza la  $H_1$  se hará se realizara con las pruebas de t calculadas en la tabla anterior a su respectiva edad del concreto.

**Edad de 7 días, 14 días y 28 días.**

Los estadísticos de prueba que se han calculado para cada tipo de concreto para los 7 días, 14 días y 28 días los cuales son:

Tabla 61.

*Resumen de análisis de datos con el estadístico t de student dosificado con cemento Rumi IP.*

| CONCRETO DOFICADO CON CEMENTO RUMI IP |             |        |               |                  |
|---------------------------------------|-------------|--------|---------------|------------------|
|                                       | DESCRIPCION | PATRON | -5°C          | 5°C              |
| 7 DIAS                                | $t_p$       |        | -8.371        | -4.964           |
|                                       | $\alpha$    | 0.05   | 0.05          | 0.05             |
|                                       | N1+N2-2     |        | 8.000         | 8.000            |
|                                       | Ttabla      |        | -1.860        | -1.860           |
|                                       | Decisión    |        | Se Rechaza Ho | Se Rechaza Ho    |
| 14 DIAS                               | $t_p$       |        | -5.314        | -3.224           |
|                                       | $\alpha$    | 0.05   | 0.05          | 0.05             |
|                                       | N1+N2-2     |        | 8.000         | 8.000            |
|                                       | Ttabla      |        | -1.860        | -1.860           |
|                                       | Decisión    |        | Se Rechaza Ho | Se Rechaza Ho    |
| 28 DIAS                               | $t_p$       |        | -4.972        | -0.948           |
|                                       | $\alpha$    | 0.05   | 0.05          | 0.05             |
|                                       | N1+N2-2     |        | 8.000         | 8.000            |
|                                       | Ttabla      |        | -1.860        | -1.860           |
|                                       | Decisión    |        | Se Rechaza Ho | No Se Rechaza Ho |

*Fuente:* Elaboración propia

De la tabla anterior del análisis estadístico t estudent para concretos dosificado con cemento Rumi IP se observa que, a los 7 días, 14 días, 28 días a temperatura de -5°C y a los 7 días, 14 días a temperaturas de 5°C, los estadísticos de prueba caen en la región donde “Se Rechaza el Ho” de la curva de distribución de t student ( $t_p > t_{tabla}$ ).

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula que afirma que la resistencia a compresión del concreto a bajas temperaturas no reduce la resistencia del concreto frente a un concreto elaborado a temperatura ambiente ( $\mu_{\theta CBT} \geq \mu_{\theta CP}$ ) a los 7 días, 14 días, 28 días a temperatura de -5°C y a los 7 días, 14 días a temperaturas de 5°C, con un nivel de significancia de 0.05 (5%).

También se observa que a los 28 días a temperaturas de 5°C los estadísticos de prueba caen en la región donde “No Se Rechaza el Ho” de la curva de distribución de t student ( $t_p < t_{tabla}$ ).

Por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula que afirma que la resistencia a compresión del concreto a bajas temperaturas no reduce la resistencia del concreto frente a un concreto elaborado a temperatura ambiente ( $\mu_{\theta CBT} \geq \mu_{\theta CP}$ ) a una edad de 28 días, con un nivel de significancia de 0.05 (5%).

**Cálculo del estadístico de prueba  $t_p$  para el concreto dosificado con cemento Yura IP a temperaturas de 5°C y -5°C.**

**Para una edad de 7 días del concreto Yura IP a 5°C y -5°C.**

Tabla 62.

*Prueba  $t_p$  para el concreto Yura IP a una edad de 7 días.*

| <b>CONCRETO DOFICADO CON CEMENTO YURA IP</b>              |               |             |            |
|-----------------------------------------------------------|---------------|-------------|------------|
| <b>DISTRIBUCIÓN DE RESULTADOS DE RESISTENCIA - 7 DÍAS</b> |               |             |            |
| <b>DESCRIPCION</b>                                        | <b>PATRON</b> | <b>-5°C</b> | <b>5°C</b> |
| <b>M1</b>                                                 | 147.700       | 130.300     | 139.600    |
| <b>M2</b>                                                 | 146.400       | 121.200     | 149.900    |
| <b>M3</b>                                                 | 158.500       | 125.300     | 146.200    |
| <b>M4</b>                                                 | 146.100       | 113.800     | 159.900    |
| <b>M5</b>                                                 | 138.200       | 122.600     | 146.700    |
| <b>ni</b>                                                 | 5.000         | 5.000       | 5.000      |
| <b>Xi</b>                                                 | 147.380       | 122.640     | 148.460    |
| <b>S</b>                                                  | 7.257         | 6.041       | 7.410      |
| <b>S<sup>2</sup></b>                                      | 52.657        | 36.493      | 54.913     |
| <b><math>\theta_{cp}-\theta_{cc}</math></b>               |               | -24.740     | 1.080      |
| <b><math>S_p</math></b>                                   |               | 6.676       | 7.334      |
| <b><math>t_p</math></b>                                   |               | -5.859      | 0.233      |

*Fuente: Elaboración propia*

**Para una edad de 14 días del concreto Yura IP a 5°C y -5°C.**

Tabla 63.

*Prueba  $t_p$  para el concreto Yura IP a una edad de 14 días.*

| <b>CONCRETO DOFICADO CON CEMENTO YURA IP</b>               |               |             |            |
|------------------------------------------------------------|---------------|-------------|------------|
| <b>DISTRIBUCIÓN DE RESULTADOS DE RESISTENCIA - 14 DÍAS</b> |               |             |            |
| <b>DESCRIPCION</b>                                         | <b>PATRON</b> | <b>-5°C</b> | <b>5°C</b> |
| <b>M1</b>                                                  | 173.800       | 168.300     | 171.700    |
| <b>M2</b>                                                  | 188.400       | 162.900     | 175.600    |
| <b>M3</b>                                                  | 171.500       | 168.700     | 174.200    |
| <b>M4</b>                                                  | 169.500       | 169.100     | 176.200    |
| <b>M5</b>                                                  | 186.700       | 159.400     | 173.300    |
| <b>ni</b>                                                  | 5.000         | 5.000       | 5.000      |
| <b>Xi</b>                                                  | 177.980       | 165.680     | 174.200    |
| <b>S</b>                                                   | 8.888         | 4.326       | 1.804      |
| <b>S<sup>2</sup></b>                                       | 78.997        | 18.712      | 3.255      |
| <b><math>\theta_{cp}-\theta_{cc}</math></b>                |               | -12.300     | -3.780     |
| <b><math>S_p</math></b>                                    |               | 5.974       | 5.287      |
| <b><math>t_p</math></b>                                    |               | -3.256      | -1.130     |

*Fuente: Elaboración propia*

Para una edad de 28 días del concreto Yura IP a 5°C y -5°C.

Tabla 64.

*Prueba tp para el concreto Yura IP a una edad de 28 días.*

| CONCRETO DOFICADO CON CEMENTO YURA IP          |         |         |         |
|------------------------------------------------|---------|---------|---------|
| DISTRIBUCIÓN DE RESULTADOS DE RESISTENCIA - 28 |         |         |         |
| DÍAS                                           |         |         |         |
| DESCRIPCION                                    | PATRON  | -5°C    | 5°C     |
| M1                                             | 214.500 | 194.100 | 214.600 |
| M2                                             | 225.900 | 203.000 | 197.900 |
| M3                                             | 208.800 | 208.100 | 215.000 |
| M4                                             | 236.600 | 220.500 | 220.400 |
| M5                                             | 218.800 | 202.600 | 211.800 |
| ni                                             | 5.000   | 5.000   | 5.000   |
| Xi                                             | 220.920 | 205.660 | 211.940 |
| S                                              | 10.762  | 9.699   | 8.443   |
| S^2                                            | 115.817 | 94.063  | 71.288  |
| $\theta_{cp}-\theta_{cc}$                      |         | -15.260 | -8.980  |
| Sp                                             |         | 8.565   | 7.872   |
| tp                                             |         | -2.817  | -1.804  |

Fuente: Elaboración propia

**Establecer la regla de decisión, determinado la región crítica de la prueba**

Como nuestra región crítica de prueba trata de una prueba Unilateral.

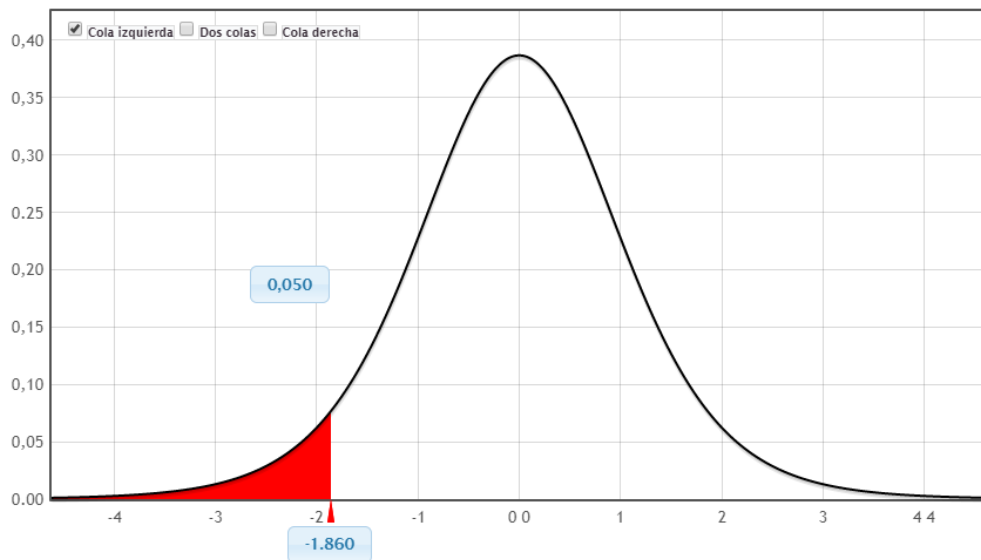
Para muestras de una cola o unilateral, se rechaza la hipótesis nula cuando:

$$t_{n+m-2} < t_{\alpha, n+m-2}, \text{ también: } t_p < \text{tabla}$$

El valor crítico, para la aceptación de rechazo de la hipótesis nula de acuerdo a las tablas t student, para un nivel de significancia de 0.05 y 08 grados de libertad, queda definido en:

$$t_{\alpha, n+m-2} = t_{0.05, 5+5-2} = t_{0.05, 8} = -1.860$$

Como se muestra en la siguiente figura, donde si el tp superior a -1.860, se rechaza la hipótesis nula, en cambio si el tp es inferior a -1.860 no se rechaza la nula.



*Figura 20.* Estadístico t para  $\alpha=0.05$  y 08 grados de libertad.  
Fuente: StatKey.com

**Tomar la decisión de rechazar la hipótesis  $H_0$  si el valor del estadístico de la prueba está en la región crítica. En caso contrario, no rechazar  $H_0$ .**

La toma de una decisión donde se acepta la  $H_0$  o se rechaza la  $H_0$ , caso contrario si se acepta la  $H_1$  o se rechaza la  $H_1$  se hará se realizara con las pruebas de t calculadas en la tabla anterior a su respectiva edad del concreto.

**Edad de 7 días, 14 días y 28 días.**

Los estadísticos de prueba que se han calculado para cada tipo de concreto para los 7 días, 14 días y 28 días los cuales son:

Tabla 65.

*Resumen de análisis de datos con el estadístico t de student dosificado con cemento Yura IP.*

| CONCRETO DOFICADO CON CEMENTO YURA IP |             |        |               |                  |
|---------------------------------------|-------------|--------|---------------|------------------|
|                                       | DESCRIPCION | PATRON | -5°C          | 5°C              |
| 7 DIAS                                | <i>tp</i>   |        | -5.859        | 0.233            |
|                                       | $\alpha$    | 0.05   | 0.05          | 0.05             |
|                                       | N1+N2-2     |        | 8.000         | 8.000            |
|                                       | Tabla       |        | -1.860        | -1.860           |
|                                       | Decisión    |        | Se Rechaza Ho | No Se Rechaza Ho |
| 14 DIAS                               | <i>tp</i>   |        | -3.256        | -1.130           |
|                                       | $\alpha$    | 0.05   | 0.05          | 0.05             |
|                                       | N1+N2-2     |        | 8.000         | 8.000            |
|                                       | Tabla       |        | -1.860        | -1.860           |
|                                       | Decisión    |        | Se Rechaza Ho | No Se Rechaza Ho |
| 28 DIAS                               | <i>tp</i>   |        | -2.817        | -1.804           |
|                                       | $\alpha$    | 0.05   | 0.05          | 0.05             |
|                                       | N1+N2-2     |        | 8.000         | 8.000            |
|                                       | Tabla       |        | -1.860        | -1.860           |
|                                       | Decisión    |        | Se Rechaza Ho | No Se Rechaza Ho |

*Fuente:* Elaboración propia

De la tabla anterior del análisis estadístico t estudent para concretos dosificado con cemento Yura IP se observa que, a los 7 días, 14 días, 28 días a temperatura de -5°C, los estadísticos de prueba caen en la región donde “Se Rechaza el Ho” de la curva de distribución de t student ( $t_p > \text{tabla}$ ).

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula que afirma que la resistencia a compresión del concreto a bajas temperaturas no reduce la resistencia del concreto frente a un concreto elaborado a temperatura ambiente ( $\mu_{\theta\text{CBT}} \geq \mu_{\theta\text{CP}}$ ) a los 7 días, 14 días, 28 días a temperatura de -5°C, con un nivel de significancia de 0.05 (5%).

También se observa que, a los 7 días, 14 días, 28 días a temperatura de 5°C los estadísticos de prueba caen en la región donde “No Se Rechaza el Ho” de la curva de distribución de t student ( $t_p < \text{tabla}$ ). Por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula que afirma que la resistencia a compresión del concreto a bajas temperaturas no reduce la resistencia del concreto frente a un concreto elaborado a temperatura ambiente ( $\mu_{\theta\text{CBT}} \geq \mu_{\theta\text{CP}}$ ) a una edad de 7 días, 14 días y 28 días, con un nivel de significancia de 0.05 (5%).

**Cálculo del estadístico de prueba  $t_p$  para el concreto dosificado con cemento Wari I a temperaturas de 5°C y -5°C.**

**Para una edad de 7 días del concreto Wari I a 5°C y -5°C.**

Tabla 66.

*Prueba  $t_p$  para el concreto Wari I a una edad de 7 días.*

| <b>CONCRETO DOFICADO CON CEMENTO WARI I</b>               |               |             |            |
|-----------------------------------------------------------|---------------|-------------|------------|
| <b>DISTRIBUCIÓN DE RESULTADOS DE RESISTENCIA - 7 DÍAS</b> |               |             |            |
| <b>DESCRIPCION</b>                                        | <b>PATRON</b> | <b>-5°C</b> | <b>5°C</b> |
| <b>M1</b>                                                 | 190.000       | 178.000     | 200.000    |
| <b>M2</b>                                                 | 191.200       | 185.700     | 200.300    |
| <b>M3</b>                                                 | 192.500       | 182.300     | 203.400    |
| <b>M4</b>                                                 | 211.600       | 185.300     | 188.700    |
| <b>M5</b>                                                 | 191.900       | 182.100     | 180.500    |
| <b>ni</b>                                                 | 5.000         | 5.000       | 5.000      |
| <b>Xi</b>                                                 | 195.440       | 182.680     | 194.580    |
| <b>S</b>                                                  | 9.081         | 3.097       | 9.653      |
| <b>S<sup>2</sup></b>                                      | 82.473        | 9.592       | 93.177     |
| <b><math>\theta_{cp}-\theta_{cc}</math></b>               |               | -12.760     | -0.860     |
| <b><math>S_p</math></b>                                   |               | 6.785       | 9.371      |
| <b><math>t_p</math></b>                                   |               | -2.974      | -0.145     |

*Fuente: Elaboración propia*

**Para una edad de 14 días del concreto Wari I a 5°C y -5°C.**

Tabla 67.

*Prueba  $t_p$  para el concreto Wari I a una edad de 14 días.*

| <b>CONCRETO DOFICADO CON CEMENTO WARI I</b>                |               |             |            |
|------------------------------------------------------------|---------------|-------------|------------|
| <b>DISTRIBUCIÓN DE RESULTADOS DE RESISTENCIA - 14 DÍAS</b> |               |             |            |
| <b>DESCRIPCION</b>                                         | <b>PATRON</b> | <b>-5°C</b> | <b>5°C</b> |
| <b>M1</b>                                                  | 271.300       | 235.600     | 251.100    |
| <b>M2</b>                                                  | 244.100       | 221.000     | 266.800    |
| <b>M3</b>                                                  | 271.100       | 231.400     | 267.400    |
| <b>M4</b>                                                  | 259.000       | 245.400     | 239.500    |
| <b>M5</b>                                                  | 260.700       | 217.000     | 246.000    |
| <b>ni</b>                                                  | 5.000         | 5.000       | 5.000      |
| <b>Xi</b>                                                  | 261.240       | 230.080     | 254.160    |
| <b>S</b>                                                   | 11.152        | 11.407      | 12.509     |
| <b>S<sup>2</sup></b>                                       | 124.378       | 130.112     | 156.483    |
| <b><math>\theta_{cp}-\theta_{cc}</math></b>                |               | -31.160     | -7.080     |
| <b><math>S_p</math></b>                                    |               | 10.310      | 10.931     |
| <b><math>t_p</math></b>                                    |               | -4.779      | -1.024     |

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 68.

*Prueba  $t_p$  para el concreto Wqri I a una edad de 7 días.*

| CONCRETO DOFICADO CON CEMENTO WARI I                |         |         |         |
|-----------------------------------------------------|---------|---------|---------|
| DISTRIBUCIÓN DE RESULTADOS DE RESISTENCIA - 28 DÍAS |         |         |         |
| DESCRIPCION                                         | PATRON  | -5°C    | 5°C     |
| M1                                                  | 283.300 | 264.800 | 282.100 |
| M2                                                  | 286.900 | 262.200 | 282.800 |
| M3                                                  | 290.800 | 264.300 | 281.900 |
| M4                                                  | 285.300 | 267.200 | 262.800 |
| M5                                                  | 268.700 | 277.200 | 280.400 |
| ni                                                  | 5.000   | 5.000   | 5.000   |
| Xi                                                  | 283.000 | 267.140 | 278.000 |
| S                                                   | 8.455   | 5.898   | 8.542   |
| S <sup>2</sup>                                      | 71.48   | 34.788  | 72.965  |
| $\theta_{cp}-\theta_{cc}$                           |         | -15.860 | -5.000  |
| $S_p$                                               |         | 7.657   | 8.816   |
| $t_p$                                               |         | -3.275  | -0.897  |

*Fuente: Elaboración propia*

### Establecer la regla de decisión, determinado la región critica de la prueba

Como nuestra región critica de prueba trata de una prueba Unilateral.

Para muestras de una cola o unilateral, se rechaza la hipótesis nula cuando:

$$t_{n+m-2} < t_{\alpha, n+m-2}, \text{ también: } t_p < \text{tabla}$$

El valor crítico, para la aceptación de rechazo de la hipótesis nula de acuerdo a las tablas t student, para un nivel de significancia de 0.05 y 08 grados de libertad, queda definido en:

$$t_{\alpha, n+m-2} = t_{0.05, 5+5-2} = t_{0.05, 8} = -1.860$$

Como se muestra en la siguiente figura, donde si el  $t_p$  superior a -1.860, se rechaza la hipótesis nula, en cambio si el  $t_p$  es inferior a -1.860 no se rechaza la nula.

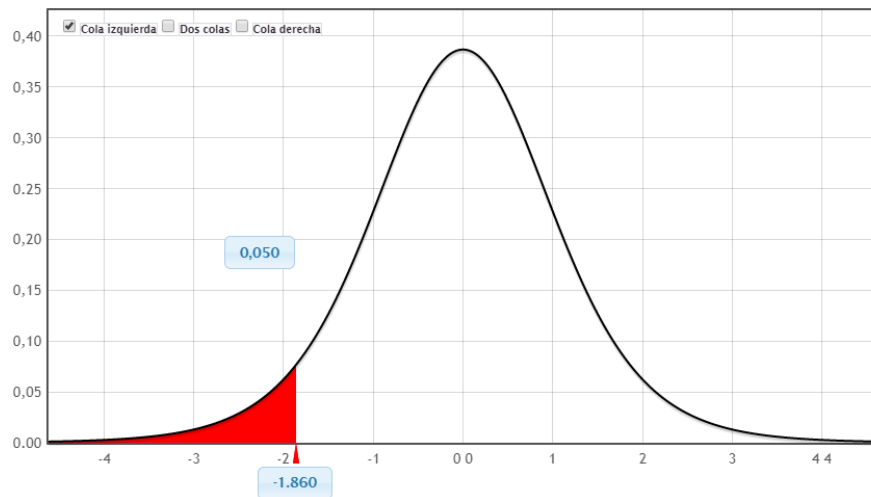


Figura 21. Estadístico t para  $\alpha=0.05$  y 08 grados de libertad.

Fuente: StatKey.com

**Tomar la decisión de rechazar la hipótesis  $H_0$  si el valor del estadístico de la prueba está en la región crítica. En caso contrario, no rechazar  $H_0$ .**

La toma de una decisión donde se acepta la  $H_0$  o se rechaza la  $H_0$ , caso contrario si se acepta la  $H_1$  o se rechaza la  $H_1$  se hará se realizara con las pruebas de t calculadas en la tabla anterior a su respectiva edad del concreto.

**Edad de 7 días, 14 días y 28 días.**

Tabla 69.

Resumen de análisis de datos con el estadístico t de student dosificado con cemento Wari I

| CONCRETO DOFICADO CON CEMENTO WARI I |             |        |                  |                     |
|--------------------------------------|-------------|--------|------------------|---------------------|
|                                      | DESCRIPCION | PATRON | -5°C             | 5°C                 |
| 7 DIAS                               | $tp$        |        | -2.974           | -0.145              |
|                                      | $\alpha$    | 0.05   | 0.05             | 0.05                |
|                                      | N1+N2-2     |        | 8.000            | 8.000               |
|                                      | Tabla       |        | -1.860           | -1.860              |
|                                      | Decisión    |        | Se Rechaza $H_0$ | No Se Rechaza $H_0$ |
| 14 DIAS                              | $tp$        |        | -4.779           | -1.024              |
|                                      | $\alpha$    | 0.05   | 0.05             | 0.05                |
|                                      | N1+N2-2     |        | 8.000            | 8.000               |
|                                      | Tabla       |        | -1.860           | -1.860              |
|                                      | Decisión    |        | Se Rechaza $H_0$ | No Se Rechaza $H_0$ |
| 28 DIAS                              | $tp$        |        | -3.275           | -0.897              |
|                                      | $\alpha$    | 0.05   | 0.05             | 0.05                |
|                                      | N1+N2-2     |        | 8.000            | 8.000               |
|                                      | Tabla       |        | -1.860           | -1.860              |
|                                      | Decisión    |        | Se Rechaza $H_0$ | No Se Rechaza $H_0$ |

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior del análisis estadístico t estudent para concretos dosificado con cemento Wari tipo I se observa que, a los 7 días, 14 días, 28 días a temperatura de -5°C, los estadísticos de prueba caen en la región donde “Se Rechaza el Ho” de la curva de distribución de t student ( $t_p > t_{tabla}$ ).

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula que afirma que la resistencia a compresión del concreto a bajas temperaturas no reduce la resistencia del concreto frente a un concreto elaborado a temperatura ambiente ( $\mu_{\theta_{CBT}} \geq \mu_{\theta_{CP}}$ ) a los 7 días, 14 días, 28 días a temperatura de -5°C, con un nivel de significancia de 0.05 (5%).

También se observa que a los 7 días, 14 días y 28 días a temperatura de 5°C los estadísticos de prueba caen en la región donde “No Se Rechaza el Ho” de la curva de distribución de t student ( $t_p < t_{tabla}$ ).

Por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula que afirma que la resistencia a compresión del concreto a bajas temperaturas no reduce la resistencia del concreto frente a un concreto elaborado a temperatura ambiente ( $\mu_{\theta_{CBT}} \geq \mu_{\theta_{CP}}$ ) a una edad de 7 días, 14 días y 28 días, con un nivel de significancia de 0.05 (5%).

#### **4.2 Interpretación de resultados y discusión**

El análisis de los resultados obtenidos en los ensayos llevados a cabo en la investigación constituye un aparte esencial y de suma importancia.

Los materiales usados para la presente investigación fueron:

- Agregado fino, procedente de la cantera Ilo Ilo.
- Agregado grueso, procedente de la cantera surupana.
- Cemento portland rumi Tipo IP, Frontera IP, Yura IP Y Wari I.
- Agua, suministro de la ciudad Universidad Peruana Unión.

##### **Ensayos preliminares**

- Se realizaron ensayos a los agregados (fino y grueso) para poder hallar sus propiedades físicas.
- Para el concreto patrón, los porcentajes de arena y piedra para el agregado global se halló de acuerdo a las tablas indicadas en el método de diseño de mezclas del ACI.

- Se utilizó un mismo diseño de mezclas para la elaboración del concreto, cabe indicar que se consideró la misma relación agua/cemento para todas las muestras de concreto (concreto normal y concreto con diferentes temperaturas).
- Las condiciones de curado fueron realizadas a la temperatura de aproximadamente 10°C a 13°C. Cabe indicar que esta temperatura representa la temperatura del agua y del medio normal en nuestra zona.

#### **4.2.1. Agregados.**

##### **Agregado fino**

El agregado fino usado en la presente tesis de investigación es de la cantera “Ilo Ilo”. En la gráfica de la curva granulométrica se puede apreciar que la curva se encuentra dentro de los límites determinados por la Norma NTP 400.012.

El módulo de fineza tiene un valor de 3.07.

##### **Agregado grueso**

El agregado grueso usado en la presente tesis de investigación es de la cantera “surupana”. En la gráfica de la curva granulométrica se puede apreciar que la curva se encuentra dentro de los límites determinados por el Huso 57, determinado por la Norma NTP 400.037.

Cabe indicar que la muestra tomada de agregado grueso, según el análisis granulométrico realizado en laboratorio el agregado más se acomodó al Huso 57, y para tener un resultado confiable se separó en cada tamaño que componen el agregado grueso según a los límites indicados de acuerdo al Huso 57.

#### **4.2.2 Calor de hidratación.**

El calor de hidratación depende de la composición química del cemento principalmente C3A (aluminio tricalcico) Y C3S (Silicato tricalcico) al disminuir sus cantidades en las proporciones el calor de hidratación reducirá, el calor de hidratación es aproximadamente igual a la suma de los calores de hidratación de los componentes individuales puros, como cuando sus proporciones respectivas en la masa se hidratan por separado, El calor de hidratación que se produce en un cemento normal es del orden de 85 a 100 cal/g. Asimismo debido a las bajas temperaturas se produce una disminución de

la actividad o reacción química, para el proceso de endurecimiento del concreto el cual puede llegar a disminuir notablemente su resistencia a la compresión, esto debido que el C3A (silicato tricalcico) contribuye más al desarrollo de la resistencia durante las primeras semanas, mientras que el C2S (silicato bicalcico) influye en el incremento posterior de la resistencia.

En la ciudad de Juliaca la temperatura es muy variable en los diferentes periodos del año, es la razón por la cual es importante para el concreto saber la liberación de su calor de hidratación puesto que el cemento al entrar en contacto con el agua reacciona químicamente liberando calorías, en la investigación se ha propuesto determinar qué tipo de cemento tiene un mejor desempeño a bajas temperaturas

### **Correlación del calor de hidratación con la resistencia.**

- Determinación del coeficiente de correlación lineal

Media de la variable X y Y

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n}$$

Coeficiente de correlación lineal

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2} * \sqrt{\sum(y - \bar{y})^2}}$$

- Determinación de la ecuación lineal

Ecuación lineal de la correlación entre la variable Y y la variable X

$$y = ax + b$$

$$a = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{\sum y - a \sum x}{n}$$

## Hidratación vs Resistencia

Tabla 70.

*Datos del calor de hidratación.*

| Cemento     | -5 °C | 5 °C  |
|-------------|-------|-------|
| Wari I      | 38.19 | 30.44 |
| Yura IP     | 69.43 | 43.26 |
| Rumi IP     | 69.70 | 43.79 |
| Frontera IP | 72.10 | 45.66 |

*Fuente:* Elaboración propia

Tabla 71.

*Datos de la resistencia a la compresión a los 28 días.*

| Cemento     | -5 °C  | 5 °C   |
|-------------|--------|--------|
| Wari I      | 266.14 | 279.00 |
| Yura IP     | 204.66 | 212.94 |
| Rumi IP     | 190.56 | 213.48 |
| Frontera IP | 190.24 | 207.66 |

*Fuente:* Elaboración propia

Ecuación Lineal

Temperatura de -5°C

Tabla 72.

*Datos para determinar la ecuación.*

| X      | Y      | X <sup>2</sup> | X*Y      |
|--------|--------|----------------|----------|
| 38.19  | 266.14 | 1458.20        | 10162.94 |
| 69.43  | 204.66 | 4820.51        | 14209.52 |
| 69.70  | 190.56 | 4857.66        | 13281.45 |
| 72.10  | 190.24 | 5198.45        | 13716.36 |
| 249.41 | 851.60 | 16334.83       | 51370.27 |

*Fuente:* Elaboración propia

$$b = -2.209160303$$

$$a = 350.6486267$$

$$y = 350.64863 - 2.20916X$$

Procedimiento para determinar el nivel de correlación

Tabla 73.

Datos para determinar el nivel de correlación

| X          | Y      | $X - \bar{X}$ | $Y - \bar{Y}$ | $(X - \bar{X})^2$ | $(Y - \bar{Y})^2$ | $(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})$ |
|------------|--------|---------------|---------------|-------------------|-------------------|------------------------------|
| 38.19      | 266.14 | -24.17        | 53.24         | 584.04            | 2834.50           | -1286.65                     |
| 69.43      | 204.66 | 7.08          | -8.24         | 50.08             | 67.90             | -58.31                       |
| 69.70      | 190.56 | 7.34          | -22.34        | 53.93             | 499.08            | -164.05                      |
| 72.10      | 190.24 | 9.75          | -22.66        | 95.00             | 513.48            | -220.86                      |
| 249.413547 | 851.6  | 187.06        | 638.70        | 34991.50          | 407937.69         | 119475.32                    |
|            |        | Sumatoria     |               | 35774.55          | 411852.64         | 117745.45                    |

Fuente: Elaboración propia

$$\bar{X} = 62.35$$

$$\bar{Y} = 212.90$$

Nivel de correlación= 0.970 la dependencia de las dos variables es positiva y proporcional

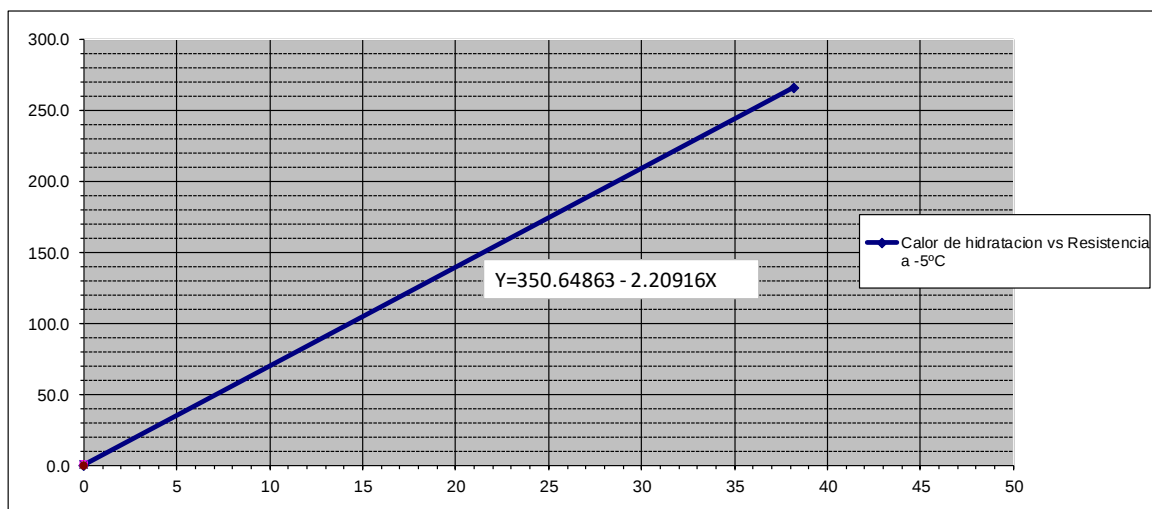


Figura 22. Ecuación de correlación entre el calor de hidratación y la resistencia a la compresión a los 28 días a una temperatura de -5°C.

Ecuación Lineal

Temperatura de 5°C

Tabla 74.

Datos para determinar la ecuación.

| X      | Y      | $X^2$   | $X*Y$    |
|--------|--------|---------|----------|
| 30.44  | 279.00 | 926.74  | 8493.41  |
| 43.26  | 212.94 | 1871.44 | 9211.82  |
| 43.79  | 213.48 | 1917.94 | 9349.19  |
| 45.66  | 207.66 | 2085.16 | 9482.48  |
| 163.16 | 913.08 | 6801.27 | 36536.91 |

Fuente: Elaboración propia

$$b = -4.848706981$$

$$a = 426.0490656$$

$$y = 426.04907 - 4.84871X$$

Procedimiento para determinar el nivel de correlación

Tabla 75.

Datos para determinar el nivel de correlación.

| X      | Y      | $X - \bar{X}$ | $Y - \bar{Y}$ | $(X - \bar{X})^2$ | $(Y - \bar{Y})^2$ | $(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})$ |
|--------|--------|---------------|---------------|-------------------|-------------------|------------------------------|
| 30.44  | 279    | -10.35        | 50.73         | 107.08            | 2573.53           | -524.94                      |
| 43.26  | 212.94 | 2.47          | -15.33        | 6.10              | 235.01            | -37.87                       |
| 43.79  | 213.48 | 3.00          | -14.79        | 9.03              | 218.74            | -44.43                       |
| 45.66  | 207.66 | 4.87          | -20.61        | 23.75             | 424.77            | -100.44                      |
| 163.16 | 913.08 | 122.37        | 684.81        | 14974.46          | 468964.74         | 83800.33                     |
|        |        | Sumatoria     |               | 15120.42          | 472416.79         | 83092.65                     |

Fuente: Elaboración propia

$$\bar{X} = 40.79$$

$$\bar{Y} = 228.27$$

Nivel de correlación= 0.983 la dependencia de las dos variables es positiva y proporcional

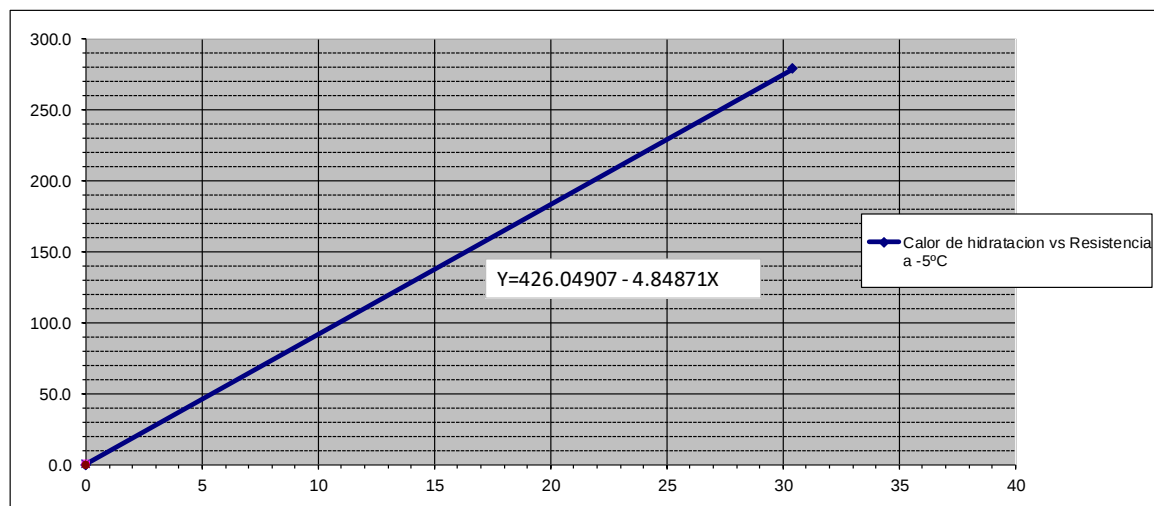


Figura 23. Ecuación de correlación entre el calor de hidratación y la resistencia a la compresión a los 28 días a una temperatura de 5°C.

## Calor de hidratación Vs Fraguado

Tabla 76.

*Datos del calor de hidratación.*

| Cemento     | -5 °C | 5 °C  |
|-------------|-------|-------|
| Wari I      | 38.19 | 30.44 |
| Yura IP     | 69.43 | 43.26 |
| Rumi IP     | 69.70 | 43.79 |
| Frontera IP | 72.10 | 45.66 |

*Fuente:* Elaboración propia

Tabla 77.

*Datos del tiempo de fraguado.*

| Cemento     | -5 °C | 5 °C |
|-------------|-------|------|
| Wari I      | 167   | 167  |
| Yura IP     | 248   | 248  |
| Rumi IP     | 269   | 269  |
| Frontera IP | 315   | 315  |

*Fuente:* Elaboración propia

Ecuación lineal

Temperatura de -5°C

Tabla 78.

*Datos para determinar la ecuación.*

| X      | Y      | X <sup>2</sup> | X*Y      |
|--------|--------|----------------|----------|
| 38.19  | 167.00 | 1458.20        | 6377.14  |
| 69.43  | 248.00 | 4820.51        | 17218.61 |
| 69.70  | 269.00 | 4857.66        | 18748.48 |
| 72.10  | 315.00 | 5198.45        | 22711.59 |
| 249.41 | 999.00 | 16334.83       | 65055.81 |

*Fuente:* Elaboración propia

$$b = 3.530792$$

$$a = 29.59316091$$

$$y = 29.59316 + 3.53079X$$

Procedimiento para determinar el nivel de correlación

Tabla 79.

Datos para determinar el nivel de correlación.

| X          | Y      | $X - \bar{X}$ | $Y - \bar{Y}$ | $(X - \bar{X})^2$ | $(Y - \bar{Y})^2$ | $(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})$ |
|------------|--------|---------------|---------------|-------------------|-------------------|------------------------------|
| 38.19      | 167.00 | -24.17        | -82.75        | 584.04            | 6847.56           | 1999.81                      |
| 69.43      | 248.00 | 7.08          | -1.75         | 50.08             | 3.06              | -12.38                       |
| 69.70      | 269.00 | 7.34          | 19.25         | 53.93             | 370.56            | 141.36                       |
| 72.10      | 315.00 | 9.75          | 65.25         | 95.00             | 4257.56           | 635.98                       |
| 249.413547 | 999    | 187.06        | 749.25        | 34991.50          | 561375.56         | 140154.83                    |
|            |        | Sumatoria     |               | 35774.55          | 572854.31         | 142919.60                    |

Fuente: Elaboración propia

$$\bar{X} = 62.35$$

$$\bar{Y} = 249.75$$

Nivel de correlación= 0.998 la dependencia de las dos variables es positiva y proporcional

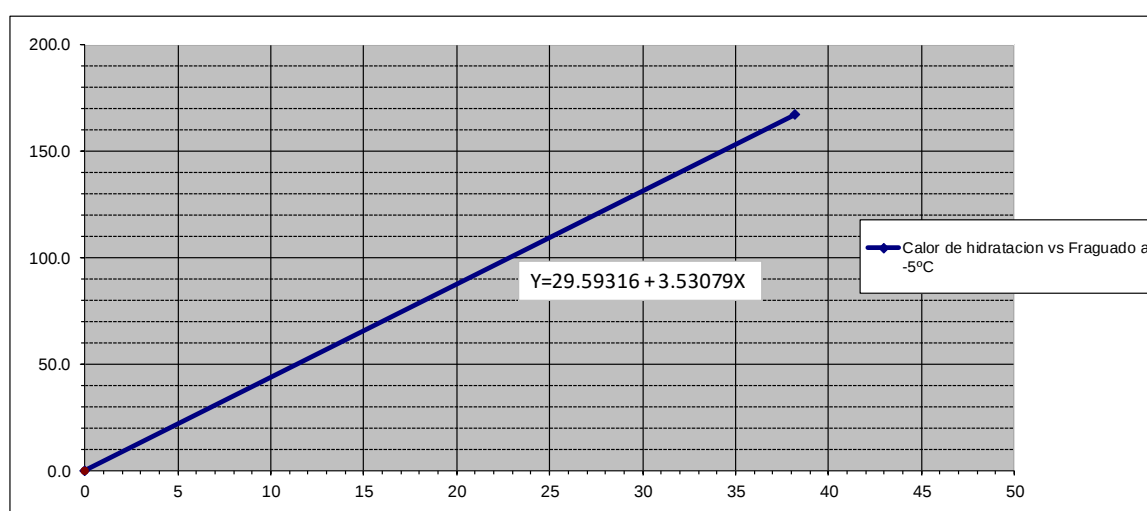


Figura 24. Ecuación de correlación entre el calor de hidratación y el fraguado a una temperatura de -5°C.

Ecuación Lineal

Temperatura de 5°C

Tabla 80.

Datos para determinar la ecuación.

| X      | Y      | $X^2$   | $X*Y$    |
|--------|--------|---------|----------|
| 30.44  | 167.00 | 926.74  | 5083.87  |
| 43.26  | 248.00 | 1871.44 | 10728.52 |
| 43.79  | 269.00 | 1917.94 | 11780.65 |
| 45.66  | 315.00 | 2085.16 | 14384.01 |
| 163.16 | 999.00 | 6801.27 | 41977.05 |

Fuente: Elaboración propia

$$b = 8.412157429$$

$$a = -93.38243557$$

$$y = -93.38244 + 8.41216X$$

Procedimiento para determinar el nivel de correlación

Tabla 81.

*Datos para determinar el nivel de correlación*

| X         | Y   | $X - \bar{X}$ | $Y - \bar{Y}$ | $(X - \bar{X})^2$ | $(Y - \bar{Y})^2$ | $(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})$ |
|-----------|-----|---------------|---------------|-------------------|-------------------|------------------------------|
| 30.44     | 167 | -10.35        | -82.75        | 107.07540811045   | 6847.56           | 856.27                       |
| 43.26     | 248 | 2.47          | -1.75         | 6.10              | 3.06              | -4.32                        |
| 43.79     | 269 | 3.00          | 19.25         | 9.03              | 370.56            | 57.83                        |
| 45.66     | 315 | 4.87          | 65.25         | 23.75             | 4257.56           | 317.99                       |
| 163.16    | 999 | 122.37        | 749.25        | 14974.46          | 561375.56         | 91685.87                     |
| Sumatoria |     |               |               | 15120.42          | 572854.31         | 92913.64                     |

Fuente: Elaboración propia

$$\bar{X} = 40.79$$

$$\bar{Y} = 249.75$$

Nivel de correlación=0.983 la dependencia de las dos variables es positiva y proporcional

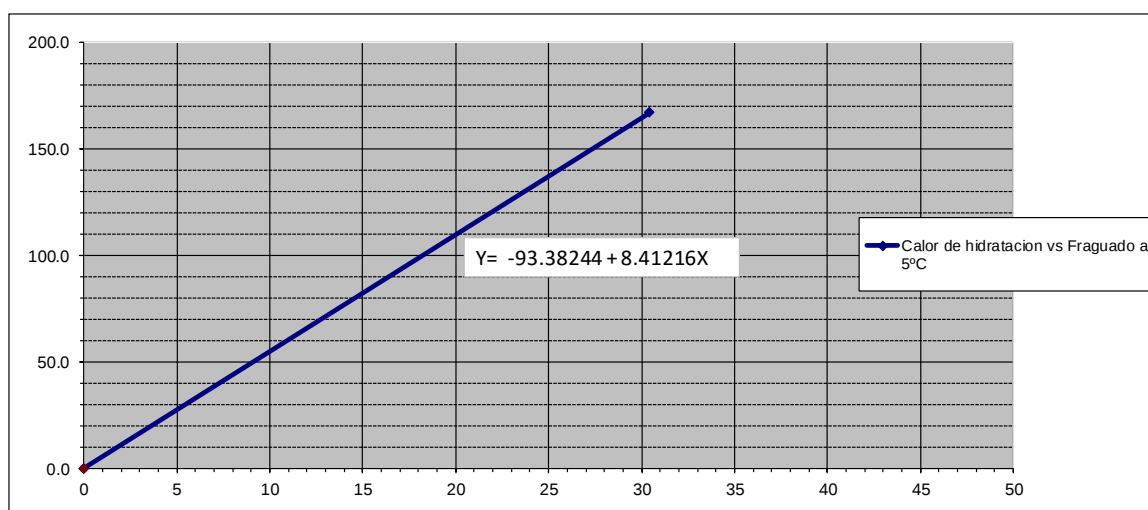


Figura 25. Ecuación de correlación entre el calor de hidratación y el fraguado a una temperatura de 5°C.

## Fraguado Vs Resistencia

Tabla 82.

*Datos del tiempo de fraguado.*

| Cemento     | -5 °C | 5 °C |
|-------------|-------|------|
| Wari I      | 167   | 167  |
| Yura IP     | 248   | 248  |
| Rumi IP     | 269   | 269  |
| Frontera IP | 315   | 315  |

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 83.

*Datos de la resistencia a la compresión a los 28 días.*

| Cemento     | -5 °C  | 5 °C   |
|-------------|--------|--------|
| Wari I      | 266.14 | 279.00 |
| Yura IP     | 204.66 | 212.94 |
| Rumi IP     | 190.56 | 213.48 |
| Frontera IP | 190.24 | 207.66 |

*Fuente: Elaboración propia*

Ecuación lineal

Temperatura -5°C

Tabla 84.

*Datos para determinar la ecuación*

| X         | Y      | X <sup>2</sup> | X*Y       |
|-----------|--------|----------------|-----------|
| 167.00    | 266.14 | 27889.00       | 44445.38  |
| 248.00    | 204.66 | 61504.00       | 50755.68  |
| 269.00    | 190.56 | 72361.00       | 51260.64  |
| 315.00    | 190.24 | 99225.00       | 59925.60  |
| SUMATORIA |        | 260979.00      | 206387.30 |

*Fuente: Elaboración propia.*

$$a = -0.5488228$$

$$b = 349.968500$$

$$y = 349.96850 - 0.54882X$$

Procedimiento para determinar el nivel de correlación

Tabla 85.

Datos para determinar el nivel de correlación.

| X         | Y      | $X - \bar{X}$ | $Y - \bar{Y}$ | $(X - \bar{X})^2$ | $(Y - \bar{Y})^2$ | $(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})$ |
|-----------|--------|---------------|---------------|-------------------|-------------------|------------------------------|
| 167.00    | 266.14 | -82.75        | 53.24         | 6847.56           | 2834.50           | -4405.61                     |
| 248.00    | 204.66 | -1.75         | -8.24         | 3.06              | 67.90             | 14.42                        |
| 269.00    | 190.56 | 19.25         | -22.34        | 370.56            | 499.08            | -430.05                      |
| 315.00    | 190.24 | 65.25         | -22.66        | 4257.56           | 513.48            | -1478.57                     |
| 999       | 851.6  | 749.25        | 638.70        | 561375.56         | 407937.69         | 478545.98                    |
| Sumatoria |        |               |               | 572854.31         | 411852.64         | 472246.18                    |

Fuente: Elaboración propia

$$\bar{X} = 249.75$$

$$\bar{Y} = 212.90$$

Nivel de correlación= 0.972 la dependencia de las dos variables es positiva y proporcional

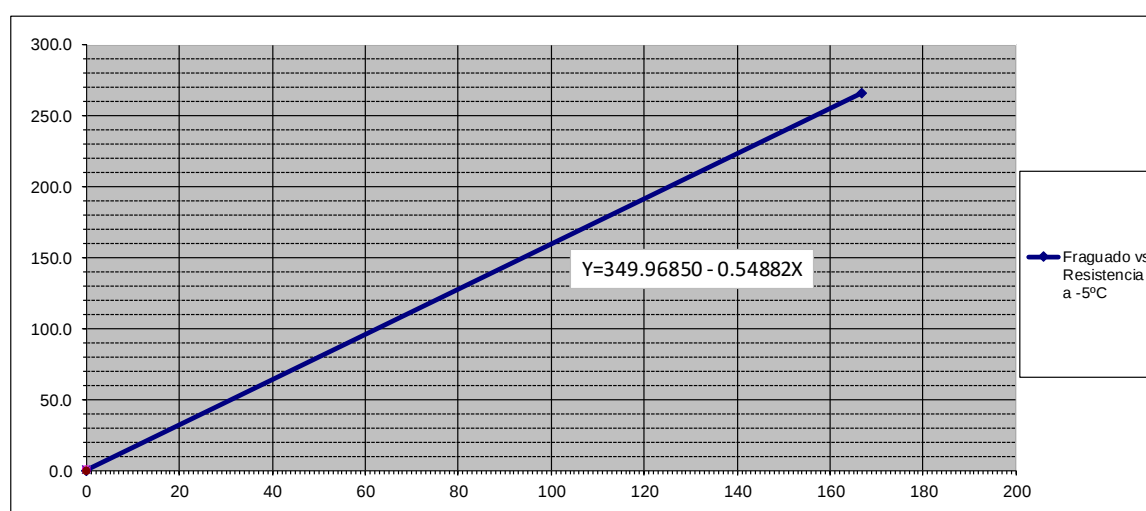


Figura 26. Ecuación de correlación entre el fraguado y la resistencia a la compresión a los 28 días a una temperatura de -5°C.

Ecuación lineal

Temperatura de 5°C

Tabla 86.

Datos para determinar la ecuación

| X      | Y      | $X^2$    | $X*Y$    |
|--------|--------|----------|----------|
| 167.00 | 279.00 | 27889.00 | 46593.00 |
| 248.00 | 212.94 | 61504.00 | 52809.12 |
| 269.00 | 213.48 | 72361.00 | 57426.12 |
| 315.00 | 207.66 | 99225.00 | 65412.90 |

|           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|
| SUMATORIA | 260979.00 | 222241.14 |
|-----------|-----------|-----------|

Fuente: Elaboración propia

$$b = -0.5053329$$

$$a = 354.476891$$

$$y = 354.47689 - 0.50533X$$

Procedimiento para determinar el nivel de correlación

Tabla 87.

*Datos para determinar el nivel de correlación.*

| X         | Y      | $X - \bar{X}$ | $Y - \bar{Y}$ | $(X - \bar{X})^2$ | $(Y - \bar{Y})^2$ | $(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})$ |
|-----------|--------|---------------|---------------|-------------------|-------------------|------------------------------|
| 167.00    | 279    | -82.75        | 50.73         | 6847.56           | 2573.53           | -4197.91                     |
| 248.00    | 212.94 | -1.75         | -15.33        | 3.0625            | 235.01            | 26.83                        |
| 269.00    | 213.48 | 19.25         | -14.79        | 370.56            | 218.74            | -284.71                      |
| 315.00    | 207.66 | 65.25         | -20.61        | 4257.56           | 424.77            | -1344.80                     |
| 999.00    | 913.08 | 749.25        | 684.81        | 561375.56         | 468964.74         | 513093.89                    |
| Sumatoria |        |               |               | 572854.31         | 472416.79         | 507293.30                    |

Fuente: Elaboración propia

$$\bar{X} = 249.75$$

$$\bar{Y} = 228.27$$

Nivel de correlación = 0.975 la dependencia de las dos variables es positiva y proporcional

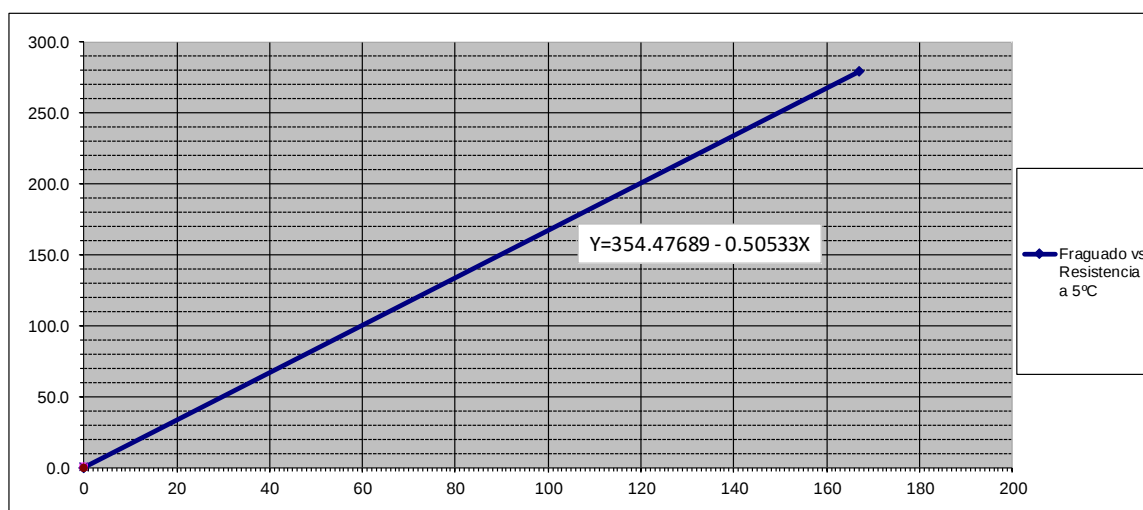


Figura 27. Ecuación de correlación entre el fraguado y la resistencia a la compresión a los 28 días a una temperatura de 5°C

### **Temperatura de -5 °C**

**Cemento Wari tipo I:** el calor de hidratación del cemento Wari tipo I a una temperatura de -5°C es de 38.19 cal/gr y su resistencia a la compresión alcanzada a los 28 días promedio es de 127.21%.

Interpretación: el cemento Wari tipo I es quien libera un menor calor de hidratación por ende su resistencia a la compresión aumenta llegando hasta un 127.21%.

**Cemento Yura tipo IP:** el calor de hidratación del cemento Yura tipo IP a una temperatura de -5°C es de 69.43 cal/gr y su resistencia a la compresión alcanzada a los 28 días promedio es de 97.93%

Interpretación: el cemento Yura tipo I es quien le procede al cemento Wari liberando un calor de hidratación alta, a una temperatura de -5 °C solo llego hasta un 97.93% en su resistencia a la compresión.

**Cemento Rumi tipo IP:** el calor de hidratación del cemento Rumi tipo IP a una temperatura de -5°C es de 69.70 cal/gr y su resistencia a la compresión alcanzada a los 28 días promedio es de 91.22 %

Interpretación: el cemento Rumi IP libera un calor de hidratación alta es por la cual su resistencia disminuye llegando solo hasta un 91.22%.

**Cemento Frontera tipo IP:** el calor de hidratación del cemento Yura tipo IP a una temperatura de -5°C es de 72.10 cal/gr y su resistencia a la compresión alcanzada a los 28 días promedio es de 91.07 %.

Interpretación: el cemento Frontera IP es el cemento que libera un mayor calor de hidratación a comparación de los demás ya mencionados, por lo cual su resistencia disminuye llegando hasta un 91.07%.

### **Temperatura de 5 °C**

**Cemento Wari tipo I:** el calor de hidratación del cemento Wari tipo I a una temperatura de 5 °C es de 30.44 cal/gr y su resistencia a la compresión alcanzada a los 28 días promedio es de 132.38 %

Interpretación: el cemento Wari tipo I libera un menor calor de hidratación a una temperatura de 5°C por lo cual su resistencia aumenta llegando hasta un 132.38%.

**Cemento Yura tipo IP:** el calor de hidratación del cemento Yura tipo IP a una temperatura de 5 °C es de 43.26 cal/gr y su resistencia a la compresión alcanzada a los 28 días promedio es de 100.92 %.

Interpretación: el cemento Yura IP es quien le procede al cemento Wari a una temperatura de 5 °C llego a una resistencia de 100.92%

**Cemento Rumi tipo IP:** el calor de hidratación del cemento Rumi tipo IP a una temperatura de 5°C es de 43.79 cal/gr y su resistencia a la compresión alcanzada a los 28 días es de 101.18%

Interpretación: el cemento Rumi tipo IP libera un calor de hidratación elevado, pero esta a su vez a una temperatura de °5 su resistencia a la compresión llego a un 101.18%.

**Cemento Frontera tipo IP:** el calor de hidratación del cemento Yura tipo IP a una temperatura de 5 °C es de 45.66 cal/gr y su resistencia a la compresión es de alcanzada a los 28 dias es de 98.41 %

Interpretación: el cemento Frontera tipo IP libera un mayor calor de hidratación a una temperatura de 5 °C a comparación de los demás cementos mencionados, por lo cual su resistencia disminuye llegando solo hasta un 98.41.

NOTA: en los siguientes cuadros se muestras los resultados de la correlación entre el calor de hidratación, tiempo de fraguado y la resistencia a la compresión.

Tabla 88.

*Correlación del calor de hidratación con la temperatura del concreto, tiempos de fraguado y la resistencia a compresión a los 7 días (Elaborado a 5°C).*

| Tipo de cemento | Calor de hidratación (cal/gr) | Variación de Temperatura (°c) | Tiempo de Fraguado (min.) | Resistencia patrón a los 7 días (%) | Resistencia a 5°C los 7 días (%) | Reducción de Resistencia (%) |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|------------------------------|

|             |       |      |     |        |        |         |
|-------------|-------|------|-----|--------|--------|---------|
| Frontera IP | 45.66 | 8.55 | 315 | 68.83% | 54.33% | -14.50% |
| Rumi IP     | 43.79 | 8.2  | 269 | 69.73% | 59.88% | -9.85%  |
| Yura IP     | 43.26 | 8.1  | 248 | 70.18% | 70.70% | -0.52%  |
| Wari I      | 30.44 | 5.7  | 167 | 93.07% | 92.66% | -0.41%  |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 89.

*Correlación del calor de hidratación con la temperatura del concreto, tiempos de fraguado y la resistencia a compresión a los 14 días (Elaborado a 5°C).*

| Tipo de cemento | Calor de hidratación (cal/gr) | Variación de Temperatura (°C) | Tiempo de Fraguado (min.) | Resistencia patrón a los 14 días (%) | Resistencia a 5°C los 14 días (%) | Reducción de Resistencia (%) |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| Frontera IP     | 45.66                         | 8.55                          | 315                       | 82.24%                               | 69.52%                            | -12.72%                      |
| Rumi IP         | 43.79                         | 8.2                           | 269                       | 84.18%                               | 77.00%                            | -7.18%                       |
| Yura IP         | 43.26                         | 8.1                           | 248                       | 84.75%                               | 82.95%                            | -1.80%                       |
| Wari I          | 30.44                         | 5.7                           | 167                       | 124.40%                              | 121.03%                           | -3.37%                       |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 90.

*Correlación del calor de hidratación con la temperatura del concreto, tiempos de fraguado y la resistencia a compresión a los 14 días (Elaborado a 5°C).*

| Tipo de cemento | Calor de hidratación (cal/gr) | Variación de Temperatura (°C) | Tiempo de Fraguado (min.) | Resistencia patrón a los 28 días (%) | Resistencia a 5°C los 28 días (%) | Reducción de Resistencia (%) |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| Frontera IP     | 45.66                         | 8.55                          | 315                       | 101.70%                              | 98.41%                            | -3.29%                       |
| Rumi IP         | 43.79                         | 8.2                           | 269                       | 103.62%                              | 101.18%                           | -2.44%                       |
| Yura IP         | 43.26                         | 8.1                           | 248                       | 105.20%                              | 100.92%                           | -4.28%                       |
| Wari I          | 30.44                         | 5.7                           | 167                       | 134.76%                              | 132.38%                           | -2.38%                       |

Fuente: Elaboración propia

Correlación del calor de hidratación con la temperatura del concreto, tiempos de fraguado y la resistencia a compresión (Elaborado a -5°C)

Tabla 91.

*Correlación del calor de hidratación con la temperatura del concreto, tiempos de fraguado y la resistencia a compresión a los 7 días (Elaborado a -5°C)*

| Tipo de cemento | Calor de hidratación (cal/gr) | Variación de Temperatura (°C) | Tiempo de Fraguado (min.) | Resistencia patrón a los 7 días (%) | Resistencia a -5°C los 7 días (%) | Reducción de Resistencia (%) |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| Frontera IP     | 72.1                          | 8.55                          | 315                       | 68.83%                              | 49.61%                            | -19.22%                      |
| Rumi IP         | 69.7                          | 8.2                           | 269                       | 69.73%                              | 54.29%                            | -15.44%                      |

|         |       |     |     |        |        |         |
|---------|-------|-----|-----|--------|--------|---------|
| Yura IP | 69.43 | 8.1 | 248 | 70.18% | 58.40% | -11.78% |
| Wari I  | 38.19 | 5.7 | 167 | 93.07% | 86.99% | -6.08%  |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 92.

*Correlación del calor de hidratación con la temperatura del concreto, tiempos de fraguado y la resistencia a compresión a los 14 días (Elaborado a -5°C)*

| Tipo de cemento | Calor de hidratación (cal/gr) | Variación de Temperatura (°C) | Tiempo de Fraguado (min.) | Resistencia patrón a los 14 días (%) | Resistencia a -5°C los 14 días (%) | Reducción de Resistencia (%) |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| Frontera IP     | 72.1                          | 8.55                          | 315                       | 82.24%                               | 68.39%                             | -13.85%                      |
| Rumi IP         | 69.7                          | 8.2                           | 269                       | 84.18%                               | 72.66%                             | -11.52%                      |
| Yura IP         | 69.43                         | 8.1                           | 248                       | 84.75%                               | 78.90%                             | -5.85%                       |
| Wari I          | 38.19                         | 5.7                           | 167                       | 124.40%                              | 109.56%                            | -14.84%                      |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 93.

*Correlación del calor de hidratación con la temperatura del concreto, tiempos de fraguado y la resistencia a compresión a los 7 días (Elaborado a -5°C)*

| Tipo de cemento | Calor de hidratación (cal/gr) | Variación de Temperatura (°C) | Tiempo de Fraguado (min.) | Resistencia patrón a los 28 días (%) | Resistencia a -5°C los 28 días (%) | Reducción de Resistencia (%) |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| Frontera IP     | 72.1                          | 8.55                          | 315                       | 101.70%                              | 91.07%                             | -10.63%                      |
| Rumi IP         | 69.7                          | 8.2                           | 269                       | 103.62%                              | 91.22%                             | -12.40%                      |
| Yura IP         | 69.43                         | 8.1                           | 248                       | 105.20%                              | 97.93%                             | -7.27%                       |
| Wari I          | 38.19                         | 5.7                           | 167                       | 134.76%                              | 127.21%                            | -7.55%                       |

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.3 Resistencia a la compresión.

- El ensayo se desarrolla de acuerdo al procedimiento indicado en la norma NTP 339.034 (ASTM C39). Se ensayaron 5 cilindros por cada tipo de mezcla de concreto por cada edad a 7, 14 y 28 días.
- En el proyecto de investigación realizada determinación de la resistencia a compresión en concretos normales se encuentran tres tipos de cementos coincidentes a nuestra investigación los cuales son Frontera IP, Rumi IP y Yura IP, obteniendo resultados similares a nuestras pruebas de laboratorio, mostrado en la tabla 91.
- Según Teodoro E. Harmsen en su libro diseño de estructuras de concreto muestra la relación entre la resistencia del concreto a una determinada edad

y la resistencia a los 7 días con 67%, a los 14 días con 86 % y a los 28 días con el 100 %, donde podemos visualizar claramente que las pruebas realizadas en el laboratorio si llegan a la resistencia requerida donde se muestran en la tabla.

- La elaboración y vaciado de probeta del concreto patrón fue efectuada a una Temperatura Ambiente. El cual fue efectuado en los ambientes del Laboratorio de la E.P. Ingeniería Civil – UPeU.

Tabla 94.

*Relación entre la resistencia del concreto a una determinada edad*

| <b>Relación entre la resistencia del concreto a una determinada edad</b> |               |                |                |
|--------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|----------------|
| <b>TIEMPO</b>                                                            | <b>7 DIAS</b> | <b>14 DIAS</b> | <b>28 DIAS</b> |
| <b>% de Resistencia</b>                                                  | <b>67.00%</b> | <b>86.00%</b>  | <b>100.00%</b> |
| Antecedente Frontera                                                     | 68.01%        | 81.87%         | 98.98%         |
| Antecedente Rumi IP                                                      | 71.06%        | 85.04%         | 101.67%        |
| Antecedente Yura IP                                                      | 79.97%        | 91.64%         | 106.48%        |
| Frontera IP                                                              | 68.83%        | 82.24%         | 101.70%        |
| Rumi IP                                                                  | 69.73%        | 84.18%         | 103.62%        |
| Yura IP                                                                  | 70.18%        | 84.75%         | 105.20%        |

*Fuente:* Elaboración propia

- De la tabla 94 podemos visualizar los concretos patrones dosificados con cementos Frontera IP, Rumi IP, Yura IP, y Wari I respondieron satisfactoriamente al comportamiento requerido en relación a su resistencia de diseño de concretos 210kg/cm<sup>2</sup>
  - Para los concretos elaborados a bajas temperaturas La norma técnica peruana (NTP E-0.60) especifica que se considera como clima frío a aquel en que, en cualquier momento del vaciado, la temperatura ambiente pueda estar por debajo de 5° C.
  - Abanto Flavio (2009), en su libro tecnología del concreto menciona que el 30% o más de la resistencia, puede perderse por un secado prematuro del concreto o si la temperatura baja a 5C° o menos durante los primeros días, a menos que se mantenga el concreto continuamente húmedo durante un largo tiempo después del descenso de temperatura. La congelación del concreto fresco puede reducir su resistencia hasta en 50%.
  - El PCA indica que el concreto desarrolla muy poca resistencia a bajas temperaturas. Esto ocurre durante las primeras 24 horas después del colado,

bajo temperaturas normales y relaciones agua-cemento menor que 0.60. Reducciones significativas de la resistencia última, hasta cerca de 50%, pueden ocurrir si el concreto se congela pocas horas después del colado o antes que se desarrolle una resistencia de 35 kg/cm<sup>2</sup>. También indica que la temperatura afecta la velocidad de hidratación del cemento, las bajas temperaturas retardan la hidratación y, consecuentemente, retardan el endurecimiento y el desarrollo de la resistencia del concreto.

- En la tabla 95 y 96 se muestran los concretos que fueron sometidos a temperaturas de -5°C y 5°C dichas muestras fueron sometido a las congeladoras que se usaron para simular la temperatura con el objetivo de generar las bajas temperaturas.

Tabla 95.

*Diferencia en % de resistencias frente al concreto patrón dosificado con cemento diferentes tipos de cemento a -5°C*

|         | FRONTERA IP | RUMI IP | YURA IP | WARI I  |
|---------|-------------|---------|---------|---------|
| 7 DIAS  | -19.22%     | -15.45% | -11.78% | -6.08%  |
| 14 DIAS | -13.88%     | -11.52% | -5.86%  | -14.84% |
| 28 DIAS | -10.64%     | -12.40% | -7.27%  | -7.55%  |

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 96.

*Diferencia en % de resistencias frente al concreto patrón dosificado con cemento diferentes tipos de cemento a 5°C*

|         | FRONTERA IP | RUMI IP | YURA IP | WARI I |
|---------|-------------|---------|---------|--------|
| 7 DIAS  | -14.50%     | -9.86%  | -0.51%  | -0.41% |
| 14 DIAS | -12.71%     | -7.18%  | -1.80%  | -3.37% |
| 28 DIAS | -3.30%      | -2.44%  | -4.28%  | -2.38% |

*Fuente: Elaboración propia*

- En la tabla 95 se muestran que los concretos elaborados a temperaturas de -5°C no responden satisfactoriamente al comportamiento requerido en relación a su resistencia de diseño de concretos 210kg/cm<sup>2</sup>, con una edad de 7 días reduciendo en un promedio de 15.48%, a los 14 días con 10.42% y a los 28 días con 10.10% en los concretos dosificados con cementos tipo IP con variaciones significativamente inferiores frente al concreto patrón.

Mientras que los concretos dosificado con cemento Wari tipo I a -5°C reducen su resistencia en 6.08% a los 7, en 14.84% a los 14 días, en 7.55% a los 28 días

siendo menor las variaciones frente a los concretos dosificados con cementos tipo IP.

- En la tabla 96 se muestran que los concretos elaborados a temperaturas de 5°C no responden satisfactoriamente al comportamiento requerido en relación a su resistencia de diseño de concretos 210kg/cm<sup>2</sup>, con una edad de 7 días reduciendo en un promedio de 8.29%, a los 14 días con 7.90% y a los 28 días con 3.34% en los concretos dosificados con cementos tipo IP con variaciones significativamente inferiores frente al concreto patrón. Mostrando un desarrollo positivo de la resistencia a compresión ya que a los 28 días se puede observar una diferencia inferior del 3.34% aproximándose a responder al comportamiento requerido en relación a su resistencia de diseño de concretos 210kg/cm<sup>2</sup>.

Mientras que los concretos dosificado con cemento Wari tipo I a 5°C reducen su resistencia en 0.41% a los 7, en 3.37% a los 14 días, en 2.38% a los 28 días, siendo menor las variaciones frente a los concretos dosificados con cementos tipo IP. Mostrando un desarrollo positivo de la resistencia a compresión ya que a los 28 días se puede observar una diferencia inferior del 2.38 % aproximándose a responder al comportamiento requerido en relación a su resistencia de diseño de concretos 210kg/cm<sup>2</sup>.

#### 4.4 Resistencia a la compresión

| Concreto con tipo de cemento | Resistencia de diseño  | 7 DIAS  | 14 DIAS | 28 DIAS |
|------------------------------|------------------------|---------|---------|---------|
| Patron Frontera IP           | 210 kg/cm <sup>2</sup> | 144.540 | 172.700 | 213.580 |
| Patron Rumi IP               | 211 kg/cm <sup>2</sup> | 146.440 | 176.780 | 217.600 |
| Patron Yura IP               | 212 kg/cm <sup>2</sup> | 147.380 | 177.980 | 220.920 |
| Patron Wari IP               | 213 kg/cm <sup>2</sup> | 195.440 | 261.240 | 283.000 |

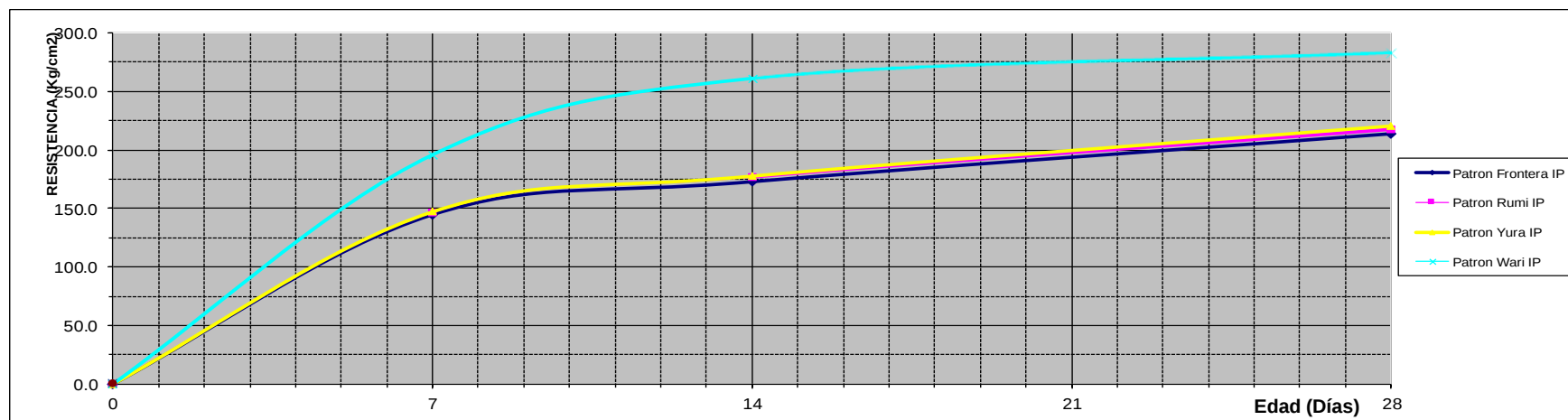
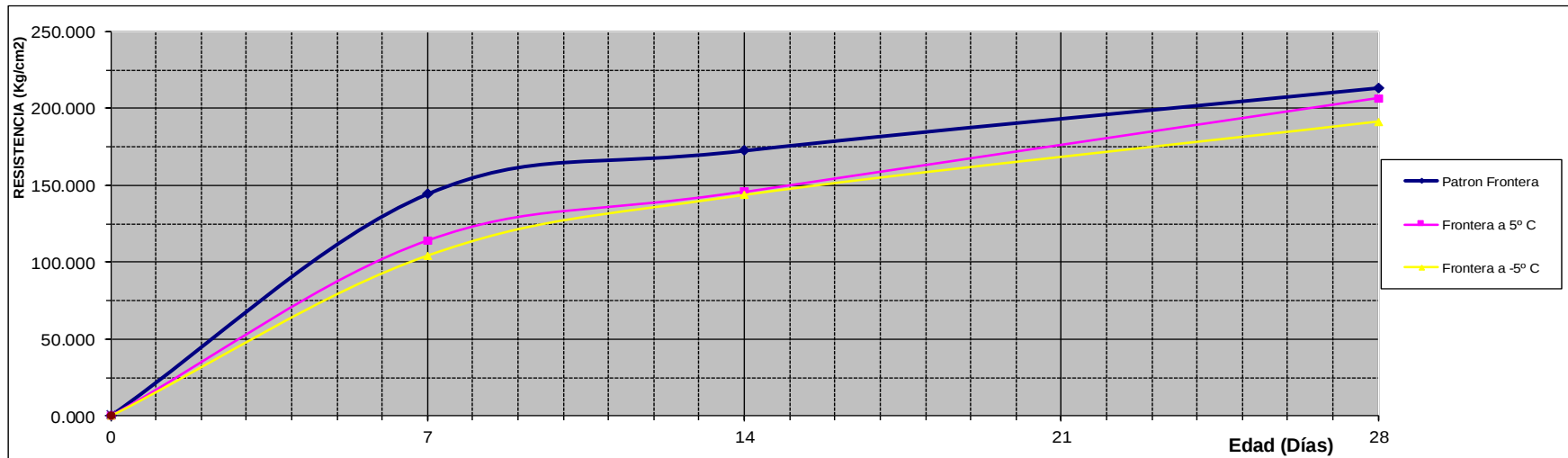


Figura 28. Desarrollo de la resistencia de la muestra patrón.

DESCRIPCIÓN: El siguiente cuadro muestra la evolución de la resistencia a la compresión de los testigos de concreto, los ensayos realizados sobre estos testigos se hicieron a los 7, 14 y 28 días de edad. Las Curvas siguen a los promedios obtenidos de cada grupo de muestras (Patrones de concretos dosificados con cementos Frontera IP, Rumi IP, Yura IP y Wari).

INTERPRETACIÓN: - El grupo de Muestra de concretos patrones dosificados con los cementos Frontera, Rumi, Yura, a los 7 días, 14 días y 28 días desarrollando según la resistencia de diseño 210 kg/cm<sup>2</sup>. El grupo de Muestras de concreto dosificado con cemento Wari tipo I la resistencia es alta en comparación a los grupos de concreto dosificado con cementos Frontera IP, Rumi IP y Yura IP.

| Concreto con tipo de cemento | Resistencia de diseño  | 7 DIAS  | 14 DIAS | 28 DIAS |
|------------------------------|------------------------|---------|---------|---------|
| Patron Frontera              | 210 kg/cm <sup>2</sup> | 144.540 | 172.700 | 213.580 |
| Frontera a 5° C              | 211 kg/cm <sup>2</sup> | 114.100 | 146.000 | 206.660 |
| Frontera a -5° C             | 212 kg/cm <sup>2</sup> | 104.180 | 143.560 | 191.240 |



*Figura 29.* Desarrollo de la resistencia de la muestra del cemento Frontera tipo IP a una temperatura de 5°C y -5°C

DESCRIPCIÓN: El siguiente cuadro muestra la evolución de la resistencia a la compresión de los testigos de concreto dosificado con cemento Frontera IP, los ensayos realizados sobre estos testigos se hicieron a los 7, 14 y 28 días de edad a temperaturas de 5°C y -5°C.

INTERPRETACIÓN: El grupo de Muestra sometidos a 5° C y -5°C reducen significativamente la resistencia de los concretos dosificados con los cementos Frontera frente al concreto patrón elaborado a temperatura ambiente donde se muestra que la resistencia reduce desde los primeros días, esto es debido a que las partículas del cemento están siendo afectadas por las bajas temperaturas. El grupo de Muestras de concreto elaborado a -5°C está siendo más afectado frente al concreto patrón y al concreto elaborado a 5°C.

| Concreto con tipo de cemento | Resistencia de diseño  | 7 DIAS  | 14 DIAS | 28 DIAS |
|------------------------------|------------------------|---------|---------|---------|
| Patron Rumi IP               | 210 kg/cm <sup>2</sup> | 146.440 | 176.780 | 217.600 |
| Rumi a 5° C                  | 211 kg/cm <sup>2</sup> | 114.100 | 146.000 | 206.660 |
| Rumi a -5° C                 | 212 kg/cm <sup>2</sup> | 104.180 | 143.560 | 191.240 |

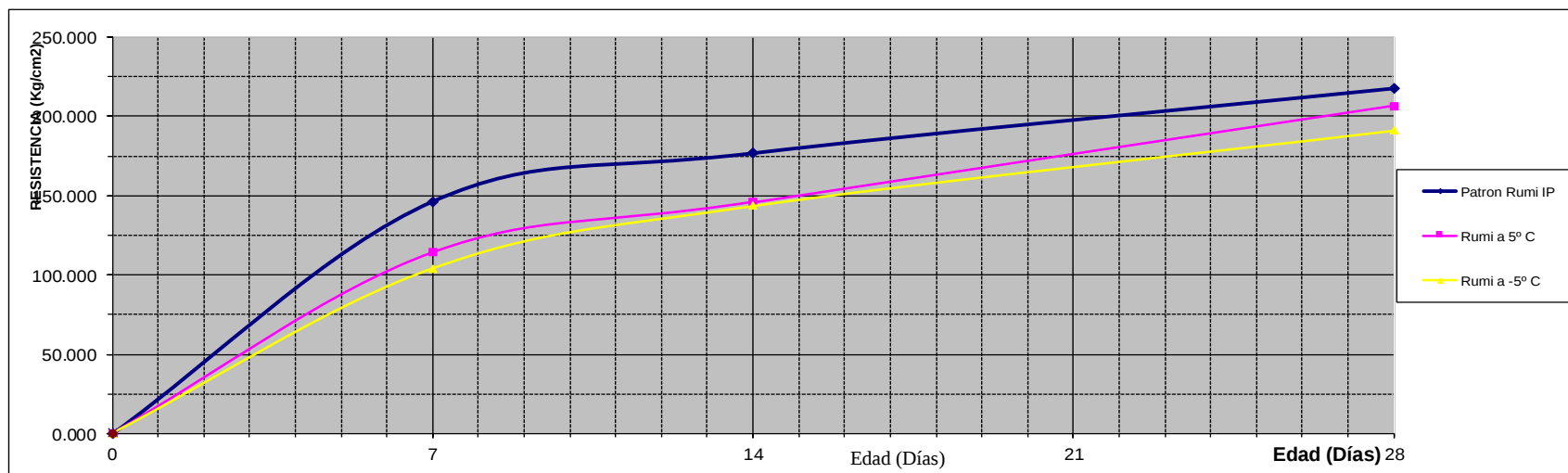
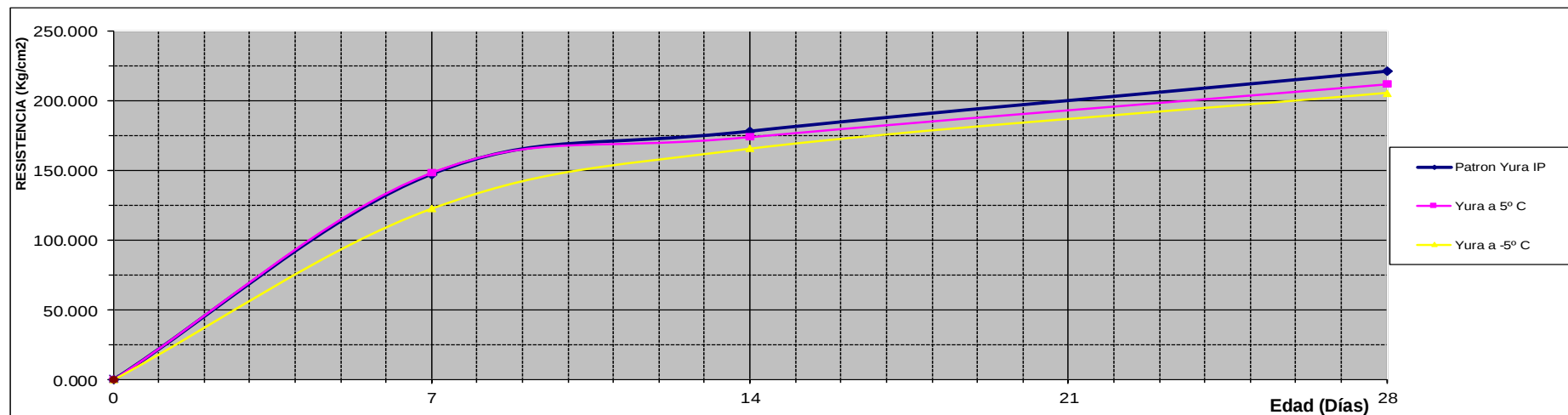


Figura 30. Desarrollo de la resistencia de la muestra del cemento Rumi tipo IP a una temperatura de 5°C y -5°C

DESCRIPCIÓN: El siguiente cuadro muestra la evolución de la resistencia a la compresión de los testigos de concreto dosificado con cemento Rumi IP, los ensayos realizados sobre estos testigos se hicieron a los 7, 14 y 28 días de edad a temperaturas de 5°C y -5°C.

INTERPRETACIÓN: El grupo de Muestra sometidos a 5° C y -5°C reducen significativamente la resistencia de los concretos dosificados con los cementos Rumi frente al concreto patrón elaborado a temperatura ambiente donde se muestra que la resistencia reduce desde los primeros días, esto es debido a que las partículas del cemento están siendo afectadas por las bajas temperaturas. El grupo de Muestras de concreto elaborado a -5°C está siendo más afectado frente al concreto patrón y al concreto elaborado a 5°C.

| Concreto con tipo de cemento | Resistencia de diseño  | 7 DIAS  | 14 DIAS | 28 DIAS |
|------------------------------|------------------------|---------|---------|---------|
| Patron Yura IP               | 210 kg/cm <sup>2</sup> | 147.380 | 177.980 | 220.920 |
| Yura a 5° C                  | 211 kg/cm <sup>2</sup> | 148.460 | 174.200 | 211.940 |
| Yura a -5° C                 | 212 kg/cm <sup>2</sup> | 122.640 | 165.680 | 205.660 |

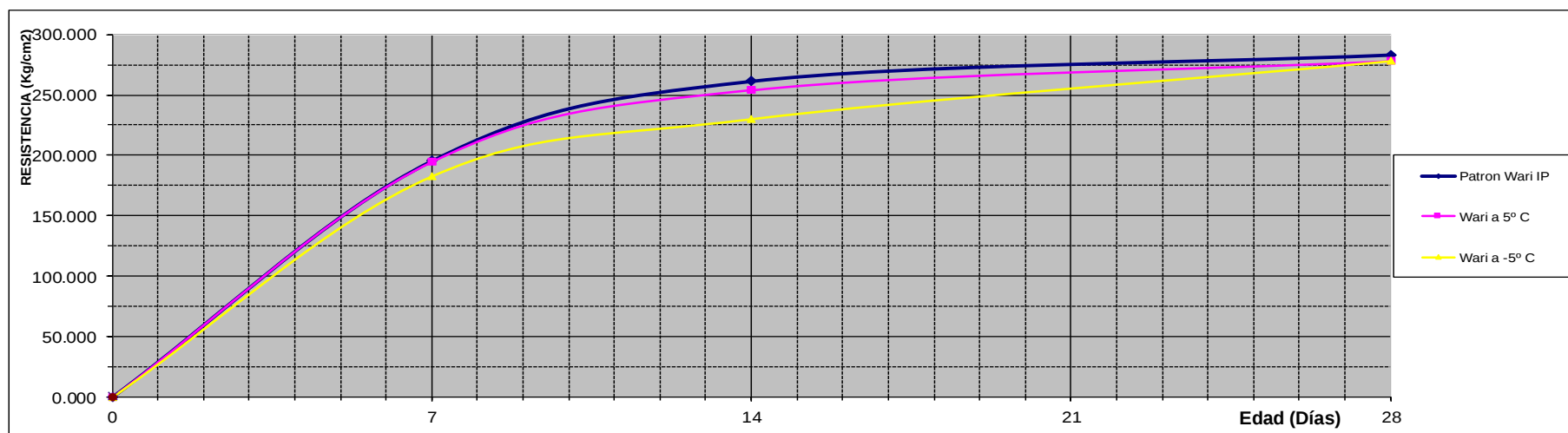


*Figura 31.* Desarrollo de la resistencia de la muestra del cemento Yura tipo IP a una temperatura de 5°C y -5°C

DESCRIPCIÓN: El siguiente cuadro muestra la evolución de la resistencia a la compresión de los testigos de concreto dosificado con cemento Yura IP, los ensayos realizados sobre estos testigos se hicieron a los 7, 14 y 28 días de edad a temperaturas de 5°C y -5°C.

INTERPRETACIÓN: El grupo de Muestra sometidos a 5° C y -5°C reducen significativamente la resistencia de los concretos dosificados con los cementos Yura frente al concreto patrón elaborado a temperatura ambiente donde se muestra que la resistencia reduce desde los primeros días, esto es debido a que las partículas del cemento están siendo afectadas por las bajas temperaturas. El grupo de Muestras de concreto elaborado a -5°C está siendo más afectado frente al concreto patrón y al concreto elaborado a 5°C.

| Concreto con tipo de cemento | Resistencia de diseño  | Resistencia |         |         |
|------------------------------|------------------------|-------------|---------|---------|
| Patron Wari IP               | 210 kg/cm <sup>2</sup> | 195.440     | 261.240 | 283.000 |
| Wari a 5° C                  | 211 kg/cm <sup>2</sup> | 194.580     | 254.160 | 278.000 |
| Wari a -5° C                 | 212 kg/cm <sup>2</sup> | 182.680     | 230.080 | 278.000 |



*Figura 32.* Desarrollo de la resistencia de la muestra del cemento Wari tipo I a una temperatura de 5°C y -5°C

DESCRIPCIÓN: El siguiente cuadro muestra la evolución de la resistencia a la compresión de los testigos de concreto dosificado con cemento Wari tipo I, los ensayos realizados sobre estos testigos se hicieron a los 7, 14 y 28 días de edad a temperaturas de 5°C y -5°C.

INTERPRETACIÓN: El grupo de Muestra sometidos a 5°C y -5°C reducen significativamente la resistencia de los concretos dosificados con los cementos Wari frente al concreto patrón elaborado a temperatura ambiente donde se muestra que la resistencia reduce desde los primeros días, esto es debido a que las partículas del cemento están siendo afectadas por las bajas temperaturas. El grupo de Muestras de concreto elaborado a -5°C está siendo más afectado frente al concreto patrón y al concreto elaborado a 5°.

## **Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones**

### **5.1 Conclusiones**

#### **5.1.1. Conclusión general.**

De los resultados obtenidos el calor de hidratación de los cementos Wari I, Yura IP, Rumi IP y Frontera IP para  $-5^{\circ}\text{C}$  son: 38.19 cal/gr, 69.43, 69.70 cal/gr y 72.10 cal/gr y  $5^{\circ}\text{C}$  son: 30.44 cal/gr, 43.26 cal/gr, 43.79 cal/gr y 45.66 cal/gr, de donde concluimos que el cemento Wari libera un menor calor de hidratación esto debido a que contiene el 50 % de Silicato de tricálcico (C3S) que reducen su calor de hidratación y contribuye más al desarrollo de la resistencia durante las primeras semanas, mientras que el silicato dicálcico (C2S) con el 24% contribuye en el incremento posterior de la resistencia. Los cementos tipo IP liberan un mayor calor de hidratación esto debido a que contiene el 32 % de Silicato de tricálcico (C3S) hacen que incrementen su calor de hidratación y contribuyen menor al desarrollo de la resistencia durante las primeras semanas, mientras que el silicato dicálcico (C2S) con el 40% contribuye en el incremento posterior de la resistencia.

#### **5.1.2. Conclusiones específicas.**

El fraguado inicial del concreto realizado mediante el aparato de Vicat, concluimos que a menor tiempo de fraguado el calor de hidratación es bajo donde el concreto dosificado con cemento Wari tipo I es 167 min. Dando el calor de hidratación bajo de 38.19 cal/gr y la resistencia del concreto de 127.1% respondiendo satisfactoriamente a la resistencia de diseño.

De los resultados obtenidos concluimos que los concretos elaborados a temperaturas de  $-5^{\circ}\text{C}$  no responden satisfactoriamente al comportamiento requerido en relación a su resistencia de diseño de concretos  $210\text{kg/cm}^2$ , a los 28 días reducen su resistencia en 10.10% en los concretos dosificados con cementos tipo IP con variaciones significativamente inferiores frente al concreto patrón. Mientras que los concretos dosificado con cemento Wari tipo I reducen su resistencia en 7.55% a los 28 días siendo menor las variaciones frente a los concretos dosificados con cementos tipo IP. De la tabla 96 concluimos que los concretos elaborados a temperaturas de  $5^{\circ}\text{C}$  no responden satisfactoriamente al comportamiento requerido en relación a su resistencia de diseño de concretos  $210\text{kg/cm}^2$ , a los 28 días reducen su resistencia en 3.34% aproximándose la resistencia de diseño. Mientras que los concretos dosificado con cemento Wari tipo I

reducen su resistencia en 2.38% a los 28 días, siendo menor las variaciones frente a los concretos dosificados con cementos tipo IP aproximándose a responder al comportamiento requerido en relación a su resistencia de diseño de concretos 210kg/cm<sup>2</sup>.

Por su mejor desarrollo de la resistencia a compresión, el concreto dosificado con cemento Wari tipo I es óptimo a bajas temperaturas para la ciudad de Juliaca.

## **5.2. Recomendaciones**

Cuando se elaboren concretos en bajas temperaturas que son inferiores a los 5°C se recomienda tener un control adecuado al momento en la selección de materiales, dosificación, preparación, transporte, curado, control de calidad, encofrado y desencofrado del concreto y poder obtener la temperatura adecuada del concreto.

Para obtener datos óptimos de la temperatura del concreto se debe de controlar con diferentes termómetros con precisiones adecuadas al momento de obtener la información.

El proceso de endurecimiento inicial es el momento en el que el concreto es extremadamente vulnerable a las bajas temperaturas que impiden las reacciones químicas de los componentes del cemento. Es por eso que los tratamientos de los concretos a bajas temperaturas tengan un tratamiento especial con aditivos incorporadores de aire y tener cuidado en la etapa de curado, protegiéndolo de las bajas temperaturas.

El cemento que se recomienda según los resultados obtenidos es el cemento Wari tipo I porque tiene menor liberación de calor de hidratación por lo cual su resistencia inicial es alta.

En el proceso del curado de las probetas se debe tener un adecuado control de la temperatura ya que esta puede influenciar en su resistencia.

Se debe tener cuidado en hacer los ensayos físicos de los agregados, ya que los resultados obtenidos influenciarán en la cantidad de materiales que integran la unidad cúbica de concreto.

## Referencias

- Abanto, C. F. (2009). *Tecnología del concreto*. Lima: Editorial San Marcos E.I.R.L. - Editor.
- Absi, J. M., Calle, D. B., Chalcha, J. F., & Vásquez, D. (2017). *Plan de negocio para la implementación de una planta de cemento en la región Cusco*. Arequipa. Perú.: Universidad ESAN.
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Estados Unidos: 2004 Portland Cement Association.
- Neville, A. M. (1999). *Tecnología del concreto*. Mexico: M. en A. Soledad Moliné Venanzi.
- Rivva, L. E. (2000). *Naturaleza y materiales del concreto*. Lima: Angel Gomez, Katy Ramos, Roxana Herrera.
- Sanchez, D. (2001). *Tecnología del concreto y mortero*. Colombia: Multiletras editores Ltda.
- Sánchez Muñoz, F. L. (2015). Relación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto a edades de 3, 7, 14, 28 y 56 días respecto a la resistencia a la compresión de cilindros de concreto a edad de 28 días. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad privada Antenor Orrego, Trujillo.
- Tufino Santiago, D. R. (2009). Variación de resistencias vs. edades y relación a/c con cemento pórtland tipo I (sol). Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Ricardo Palma, LIMA.
- Calla Salcedo, R. (2013). Resistencia del concreto utilizando aditivos superplastificante y microsílice con agregados de la cantera Cutimbo. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Huincho Salvatierra, E. (2011). "Concreto de alta Resistencia usando aditivo superplastificante, microsílice y nanosílice con cemento portland tipo I. Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Lima - Perú.

- Quevedo Haro, E. C. (2013). Granulometría de agregados (grueso y fino). Manual de tecnología de materiales, Universidad Nacional del Santa, E. AP, Ingeniería civil, Chimbote - Perú.
- Gómez Gutiérrez, M. (2009). Límites de consistencia de los agregados para mezclas de concreto. Tesis, Universidad nacional autónoma de México, División de ingeniería civil y geomatica, México D.F.
- Harmsen, T. E. (1995). *Supervisión de Obras de Concreto*. Lima-Perú: ACI-Perú.
- Germán Quispe; Julio Laura; Heber Chui; Samuel Laura. (2016). Comportamiento de la resistencia a la compresión del concreto a diferentes altitudes en las localidades de Puno 2016 Ciencia y Desarrollo. Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Alas Peruanas, Filial Puno.
- M. I. Sanchez de Rojas, M. Frías y J. Rivera (2000). Studies about the heat of hydration developed in mortars with natural and by-product materials. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC). España.
- M. Isabel Sánchez de Rojas; M. Frías. Comportamiento de los materiales puzolánicos en la hidratación del cemento. Instituto Eduardo Torroja (CSIC). Madrid, España.
- Manuel Alejandro Giraldo M. (2005) Evolución mineralógica del cemento portland durante el proceso de hidratación. Universidad Nacional de Colombia, Medellín
- Emilio Hernández Bautista, Dale P. Bentz, Sadoth Sandoval Torres, Prisciliano Felipe de Jesús Cano Barrita. (2014). Determinación de propiedades termofísicas durante la hidratación de materiales base cemento utilizando CEMHYD3D, Segundo congreso internacional de la Red del Medio Ambiente. National Institute of Standards and Technology. Santa Cruz Xoxocotlán
- F. Puerta y T. Vazquez. (2001). Hidratación inicial del cemento. Efecto de aditivos superplastificantes, Instituto de Ciencias de la Construcción EduardoTorroja (CSIC), España.
- V. F. Rahhal, V. L. Bonavetti, R. Talero. (2005). Hidratación Temprana de Cementos con Mediano y Alto Contenido de Adiciones Minerales Cristalinas, Instituto de

Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja - C.S.I.C. Serrano Galvache  
Madrid - España.

Conceptodefinicion.de, «Conceptodefinicion.de,» 27 06 2015. [En línea].  
Available: <http://conceptodefinicion.de/temperatura/>. [Último acceso: 11 02 2018].

«Diccionario de arquitectura y construcción,» [En línea]. Available:  
<http://www.parro.com.ar/definicionde-temperatura+ambiente>.

Hernandez, R. (2006). *Metodología de la investigación*. Mexico: McGraw-Hiill/Interamericana editores.

Manuel, B. (2012). *Metodologia de la investigacion para ingenieros*. Chiclayo.

## ANEXO A: Matriz de consistencia

| Título:                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| “Influencia del calor de hidratación en concreto a bajas temperaturas, dosificados con cementos comercializados en la ciudad de Juliaca”                         |                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                |
| Problema                                                                                                                                                         | Objetivo                                                                                                                                                                              | Hipótesis                                                                                                                                                                              | Metodología                                                                                                                                                                    |
| Problema general                                                                                                                                                 | Objetivo general                                                                                                                                                                      | Hipótesis general                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                |
| ¿Cómo influye el calor de hidratación en la resistencia del concreto a bajas temperaturas?                                                                       | Determinar la influencia del calor de hidratación en la resistencia del concreto a bajas temperaturas                                                                                 | El calor de hidratación a bajas temperaturas influye en el desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto dosificado con cementos: Rumi IP, Frontera IP, Yura IP, y Wari I. | <b>Tipo de investigación:</b><br>Cuantitativo                                                                                                                                  |
| Problemas específicos                                                                                                                                            | Objetivos específicos                                                                                                                                                                 | Hipótesis específicos                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                |
| ¿Cuál es el desarrollo del calor de hidratación en el concreto durante el fraguado inicial dosificado con cementos comercializados en la ciudad de Juliaca?      | Determinar el calor de hidratación del concreto en el fraguado inicial dosificado con cementos comercializados en la ciudad de Juliaca.                                               | El tiempo del fraguado inicial influye en el desarrollo del calor de hidratación del concreto dosificado con cementos comercializados en la ciudad de Juliaca.                         | <b>Diseño de investigación:</b><br>No Experimental                                                                                                                             |
| ¿Cómo es el comportamiento de la resistencia a la compresión del concreto a bajas temperaturas, dosificados con cementos comercializados en la ciudad de Juliaca | Determinar y comparar la resistencia a la compresión del concreto $F'c=210$ Kg/cm <sup>2</sup> a bajas temperaturas, dosificado con cementos comercializados en la ciudad de Juliaca. | La resistencia a la compresión del concreto $F'c=210$ Kg/cm <sup>2</sup> dosificado con cementos Rumi IP, Frontera IP, Yura IP, y Wari I reducen su resistencia a bajas temperaturas   | <b>Variable independiente:</b><br>Dosificación del concreto con cementos: Rumi IP, Frontera IP, Yura IP, y Wari I.<br><br><b>Variables dependientes:</b><br>Bajas temperaturas |
| ¿Qué tipo de cemento tiene mejor desempeño en la ciudad de Juliaca?                                                                                              | Identificar el tipo de cemento con mejor desempeño a bajas temperaturas en la ciudad de Juliaca.                                                                                      | El cemento Rumi tiene mejor desempeño en la ciudad de Juliaca.                                                                                                                         | Calor de hidratación del concreto.                                                                                                                                             |

Fuente: Elaboración propia

## ANEXO B: Ensayos de laboratorio



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE TECNOLOGIA DE CONCRETO Y MATERIALES**



|                                                     |                                                                                                                                                  |                  |                           |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
| <b>PROYECTO :</b>                                   | <b>"INFLUENCIA DEL CALOR DE HIDRATACION EN CONCRETOS A BAJAS TEMPERATURAS, DOSIFICADOS CON CEMENTOS COMERCIALIZADOS EN LA CIUDAD DE JULIACA"</b> |                  |                           |
| <b>REALIZADO POR :</b>                              | <b>Bach. Moises Mamani Chipana</b>                                                                                                               |                  |                           |
|                                                     | <b>Bach. Ronald Dennis Chambi Mamani</b>                                                                                                         |                  |                           |
| <b>ASESOR :</b>                                     | <b>Ing. Moises Araca Chile</b>                                                                                                                   |                  |                           |
| <b>FECHA :</b>                                      | <b>Agosto del 2019</b>                                                                                                                           | <b>CANtera :</b> | <b>Surupana y Ilo Ilo</b> |
| <b>ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD (NTP 400.016)</b> |                                                                                                                                                  |                  |                           |

### AGREGADO GRUESO

| Nro De Tara               | 1    | 2           | 3    |
|---------------------------|------|-------------|------|
| Peso de Tara              | 513  | 500         | 701  |
| Peso de Tara + M. Humeda  | 1506 | 1508        | 1511 |
| Peso de Tara + M. Seca    | 1499 | 1500        | 1499 |
| Peso de Agua              | 7    | 8           | 12   |
| Peso Muestra Seca         | 986  | 1000        | 798  |
| Contenido de humedad W%   | 0.71 | 0.80        | 1.50 |
| Promedio cont. Humedad W% |      | <b>1.00</b> |      |

### AGREGADO FINO

| Nro De Tara               | 1    | 2           | 3    |
|---------------------------|------|-------------|------|
| Peso de Tara              | 230  | 225         | 227  |
| Peso de Tara + M. Humeda  | 502  | 501         | 500  |
| Peso de Tara + M. Seca    | 489  | 488         | 488  |
| Peso de Agua              | 13   | 13          | 12   |
| Peso Muestra Seca         | 259  | 263         | 261  |
| Contenido de humedad W%   | 5.02 | 4.94        | 4.60 |
| Promedio cont. Humedad W% |      | <b>4.85</b> |      |

**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)**  
**ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACION ( D2216 - D854 - D4318 - D427 - D2487 )**

**PROYECTO :** "INFLUENCIA DEL CALOR DE HIDRATACION EN CONCRETOS A BAJAS TEMPERATURAS, DOSIFICADOS CON CEMENTOS COMERCIALIZADOS EN LA CIUDAD DE JULIACA"

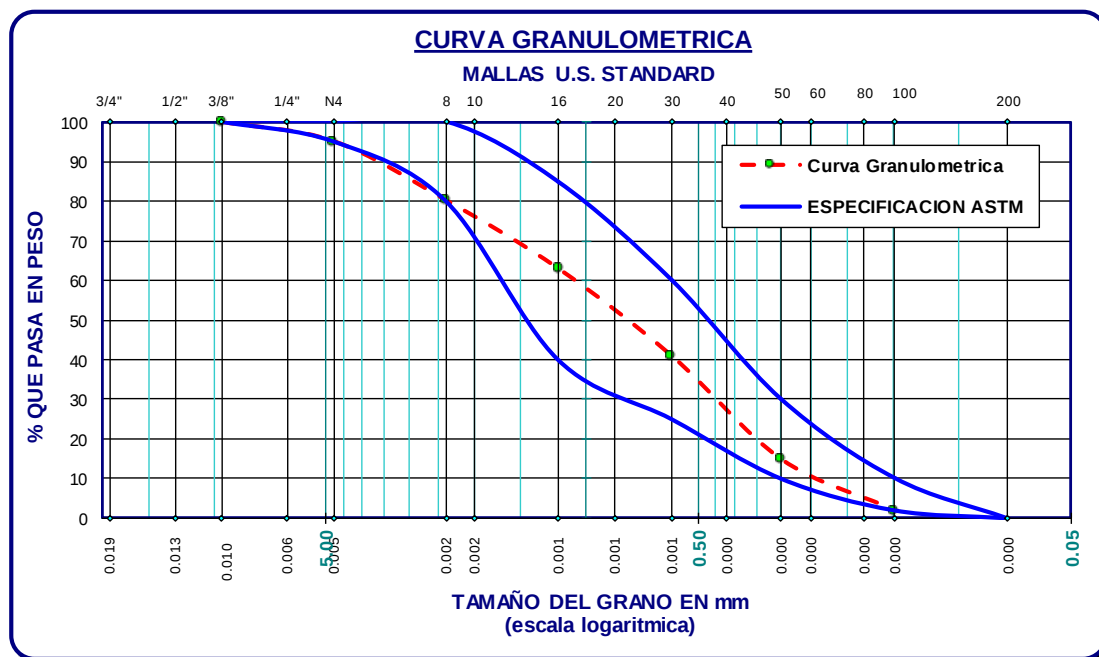
**REALIZADO POR :** Bach. Moises Mamani Chipana  
 Bach. Ronald Dennis Chambi Mamani

**MUESTRA :** AGREGADO FINO

**FECHA :** Agosto del 2019

**CANTERA :** Ilo Ilo

| TAMICES<br>ASTM | ABERTURA<br>mm | PESO<br>RETENIDO | %RETENIDO<br>PARCIAL | %RETENIDO<br>ACUMULADO | % QUE<br>PASA | ESPECIF.<br>ASTM | DESCRIPCION DE LA MUESTRA                                                                                                             |
|-----------------|----------------|------------------|----------------------|------------------------|---------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3"              | 76.200         |                  |                      |                        |               |                  | P.L. 475.00                                                                                                                           |
| 2 1/2"          | 63.500         |                  |                      |                        |               |                  | P.S. 475.00                                                                                                                           |
| 2"              | 50.600         |                  |                      |                        |               |                  | Cont. de Humedad: ,0.06                                                                                                               |
| 1 1/2"          | 38.100         |                  |                      |                        |               |                  | Peso unitario suelto : 1626 kg/m <sup>3</sup>                                                                                         |
| 1"              | 25.400         |                  |                      |                        |               |                  | peso unit. Compactado: 1861 kg/m <sup>3</sup>                                                                                         |
| 3/4"            | 19.050         |                  |                      |                        |               |                  | <b>MODULO DE FINEZA : 3.07</b>                                                                                                        |
| 1/2"            | 12.700         |                  |                      |                        |               |                  |                                                                                                                                       |
| 3/8"            | 9.525          | 0.00             | 0.00                 | 0.00                   | 100.00        | 100 100          |                                                                                                                                       |
| No4             | 4.760          | 31.00            | 6.53                 | 6.53                   | 95.10         | 95 100           |                                                                                                                                       |
| No8             | 2.380          | 67.00            | 14.11                | 20.63                  | 80.20         | 80 100           |                                                                                                                                       |
| No16            | 1.190          | 78.00            | 16.42                | 37.05                  | 62.95         | 40 85            | <b>OBSERVACIONES:</b><br>El modulo de fineza debe de estar en los limites de 2.35 @ 3.15, no debe excederse el limite +/-0.2 Max 3.35 |
| No30            | 0.590          | 105.00           | 22.11                | 59.16                  | 40.84         | 25 60            |                                                                                                                                       |
| No50            | 0.300          | 124.00           | 26.11                | 85.26                  | 14.74         | 10 30            |                                                                                                                                       |
| No100           | 0.149          | 61.00            | 12.84                | 98.11                  | 1.89          | 2 10             |                                                                                                                                       |
| No200           | 0.074          | 9.00             | 1.89                 | 100.00                 | 0.00          |                  |                                                                                                                                       |
| BASE            |                | 0.00             | 0.00                 | 100.00                 | 0.00          |                  |                                                                                                                                       |
| TOTAL           |                | 475.00           | 100.00               |                        |               |                  |                                                                                                                                       |
| % PERDIDA       |                |                  |                      |                        |               |                  |                                                                                                                                       |



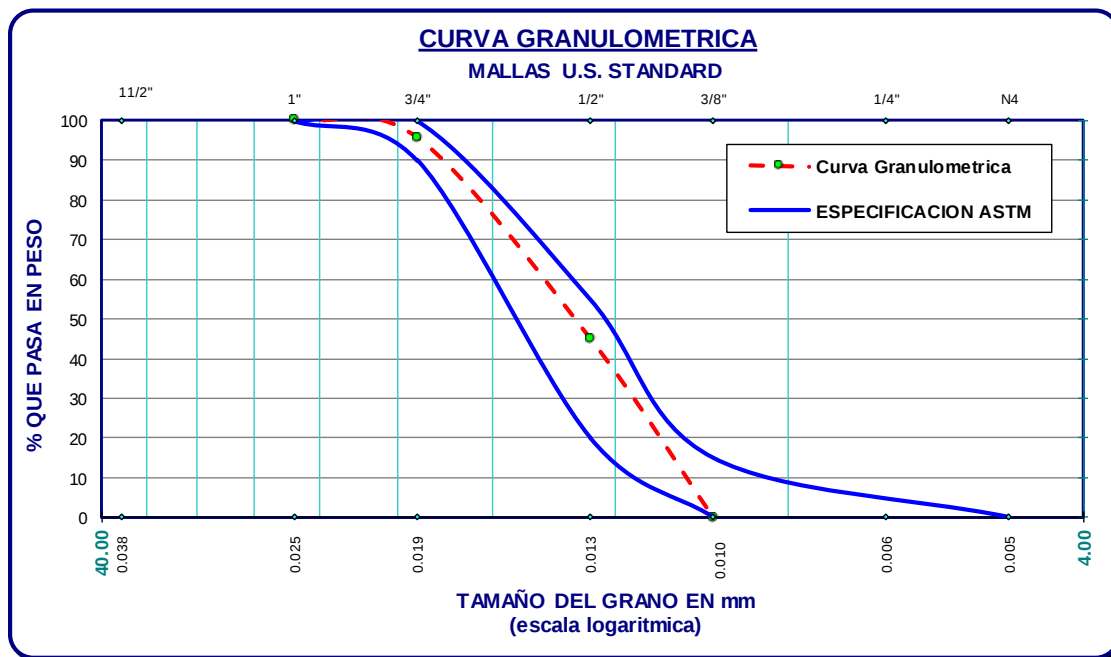
**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)**  
**ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACION ( D2216 - D854 - D4318 - D427 - D2487 )**

**OBRA :** "INFLUENCIA DEL CALOR DE HIDRATACION EN CONCRETOS A BAJAS TEMPERATURAS, DOSIFICADOS CON CEMENTOS

**REALIZADO POR :** Bach. Moises Mamani Chipana  
 Bach. Ronald Dennis Chambi Mamani  
**FECHA :** Agosto del 2019

**MUESTRA :** AGREGADO GRUESO  
**CANTERA :** Surupana

| TAMICES ASTM     | ABERTURA mm | PESO RETENIDO | %RETENIDO PARCIAL | %RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA | ESPECIF. 1" ASTM C-33-54 |      | TAMAÑO MAXIMO: 1"                                                                              |
|------------------|-------------|---------------|-------------------|---------------------|------------|--------------------------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3"               | 76.200      |               |                   |                     |            |                          |      | <b>DESCRIPCION DE LA MUESTRA</b><br><br>P.M 5330.00                                            |
| 2 1/2"           | 63.500      |               |                   |                     |            |                          |      |                                                                                                |
| 2"               | 50.600      |               |                   |                     |            |                          |      |                                                                                                |
| 1 1/2"           | 38.100      |               |                   |                     |            |                          |      | Contenido de Humedad = 2.79%                                                                   |
| 1"               | 25.400      | 0.00          | 0.00              | 0.00                | 100.00     | 100                      | 100  |                                                                                                |
| 3/4"             | 19.050      | 230.00        | 4.32              | 4.32                | 95.68      | 90                       | 100  | Peso unitario suelto : 2570 kg/m <sup>3</sup><br>peso unit. Compactado: 1590 kg/m <sup>3</sup> |
| 1/2"             | 12.700      | 2700.00       | 50.66             | 54.97               | 45.03      | 20                       | 55   |                                                                                                |
| 3/8"             | 9.525       | 2400.00       | 45.03             | 100.00              | 0.00       | 0                        | 15   | <b>MODULO DE FINEZA :</b> 7.04                                                                 |
| 1/4"             | 6.350       | 0.00          | 0.00              | 0.00                | 0.00       | 0.00                     | 0.00 |                                                                                                |
| No4              | 4.760       | 0.00          | 0.00              | 100.00              | 0.00       | 0                        | 5    |                                                                                                |
| No8              | 2.380       |               |                   |                     |            |                          |      |                                                                                                |
| No16             | 1.190       |               |                   |                     |            |                          |      |                                                                                                |
| No30             | 0.590       |               |                   |                     |            |                          |      |                                                                                                |
| No50             | 0.300       |               |                   |                     |            |                          |      |                                                                                                |
| No100            | 0.149       |               |                   |                     |            |                          |      |                                                                                                |
| No200            | 0.074       |               |                   |                     |            |                          |      |                                                                                                |
| <b>BASE</b>      |             |               |                   |                     |            |                          |      |                                                                                                |
| <b>TOTAL</b>     |             | 5330.00       | 100.00            |                     |            |                          |      | <b>OBSERVACIONES:</b>                                                                          |
| <b>% PERDIDA</b> |             |               |                   |                     |            |                          |      |                                                                                                |



**PESO ESPECIFICO**  
**AGREGADOS FINO Y GRUESO PARA DISEÑO DE MEZCLAS**

**PROYECTO** : "INFLUENCIA DEL CALOR DE HIDRATACION EN  
CONCRETOS A BAJAS TEMPERATURAS, DOSIFICADOS  
CON CEMENTOS COMERCIALIZADOS EN LA CIUDAD  
DE JULIACA"

**REALIZADO POR** : Bach. Moises Mamani Chipana

Bach. Ronald Dennis Chambi Mamani

**ASESOR** : Ing. Moises Araca Chile

**FECHA** : Agosto del 2019

**CANTERA** : Surupana y Ilo Ilo

**ENSAYO DE PESO ESPECIFICO (NTP 400.021 - NTP 400.022)**

**PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADO FINO**

|   |                                        |        |        |        |
|---|----------------------------------------|--------|--------|--------|
| 1 | Peso de la arena SSS+ fiola+agua       | 497.00 | 498.00 | 497.00 |
| 2 | Peso de la arena SSS+Fiola             | 386.00 | 390.00 | 386.00 |
| 3 | Peso del agua                          | 111.00 | 108.00 | 111.00 |
| 4 | Peso de la arena secada al horno+Fiola | 376.00 | 379.00 | 376.00 |
| 5 | Peso de la Fiola                       | 132.00 | 132.00 | 132.00 |
| 6 | Peso de la arena secada al horno       | 244.00 | 245.00 | 244.00 |
| 7 | Volumen de la Fiola                    | 250.00 | 250.00 | 250.00 |
| 8 | Peso de la muestra de arena SSS        | 254.00 | 258.00 | 254.00 |

**RESULTADOS**

|   |                                                 |      |             |      |
|---|-------------------------------------------------|------|-------------|------|
| 1 | Peso especifico de masa: 6/(7-3)                | 1.76 | 1.73        | 1.76 |
|   | Promedio                                        |      | <b>1.75</b> |      |
| 2 | Peso especifico de masa saturada SSS: (8/(7-3)) | 1.83 | 1.82        | 1.83 |
|   | Promedio                                        |      | <b>1.82</b> |      |
| 3 | Peso especifico aparente: 6/((7-3)-(8-6))       | 2.56 | 2.53        | 2.55 |
|   | Promedio                                        |      | <b>2.55</b> |      |
| 4 | Porcentaje de absorcion: % ((8-6)/6)            | 4.10 | 5.31        | 4.10 |
|   | Promedio                                        |      | <b>4.50</b> |      |

**PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO**

|   |                                      |         |         |         |
|---|--------------------------------------|---------|---------|---------|
| 1 | Peso de muestra secada al horno      | 2896.00 | 2911.00 | 2915.00 |
| 2 | Peso de la muestra al aire cond. SSS | 3000.00 | 3005.00 | 3000.00 |
| 3 | Peso de la muestra sumergida en agua | 1087.00 | 1089.00 | 1086.00 |

**RESULTADOS**

|   |                                                   |      |             |      |
|---|---------------------------------------------------|------|-------------|------|
| 1 | Peso especifico de la masa: P.E.M. 1/(2-3)        | 1.51 | 1.52        | 1.52 |
|   | Promedio                                          |      | <b>1.52</b> |      |
| 2 | P.E de la masa saturada SSS P.E.M.S.S.S.(2/(2-3)) | 1.57 | 1.57        | 1.57 |
|   | Promedio                                          |      | <b>1.57</b> |      |
| 3 | Peso especifico aparente P.E.A. : 1/(1-3)         | 2.58 | 2.60        | 2.54 |
|   | Promedio                                          |      | <b>2.57</b> |      |
| 4 | Porcentaje de absorcion: %ABS((2-1)/1)*100        | 3.59 | 3.23        | 2.92 |
|   | Promedio                                          |      | <b>3.25</b> |      |

| PROYECTO        | "INFLUENCIA DEL CALOR DE HIDRATACION EN CONCRETOS A BAJAS TEMPERATURAS, DOSIFICADOS CON CEMENTOS COMERCIALIZADOS EN LA CIUDAD DE JULIACA" |          |                    |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------------|
| REALIZADO POR : | Bach. Moises Mamani Chipana<br>Bach. Ronald Dennis Chambi Mamani                                                                          |          |                    |
| ASESOR :        | Ing. Moises Araca Chile                                                                                                                   |          |                    |
| FECHA :         | Agosto del 2019                                                                                                                           | CANTERA: | Surupana y Ilo Ilo |

### ENSAYO DE PESO UNITARIO (NTP 400.017)

#### AGREGADO FINO

| PESO UNITARIO SUELTO               |       |       |       |
|------------------------------------|-------|-------|-------|
| Fino suelto                        | I     | II    | III   |
| Peso de molde gr.                  | 1849  | 1849  | 1849  |
| Peso de molde + muestra gr.        | 4535  | 4528  | 4532  |
| Peso de muestra gr.                | 2686  | 2679  | 2683  |
| Volumen de molde cm <sup>3</sup> , | 1578  | 1578  | 1578  |
| Peso unitario gr/cm <sup>3</sup> , | 1.702 | 1.697 | 1.700 |
| Peso unitario Kg/m <sup>3</sup> ,  |       | 1700  |       |

| PESO UNITARIO COMPACTADO            |       |       |       |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|
| Fino compactado                     | I     | II    | III   |
| Peso de molde gr.                   | 1849  | 1849  | 1849  |
| Peso de molde + muestra gr.         | 4629  | 4631  | 4630  |
| Peso de la muestra gr.              | 2780  | 2782  | 2781  |
| Volumen del molde cm <sup>3</sup> , | 1578  | 1578  | 1578  |
| Peso unitario gr/cm <sup>3</sup> ,  | 1.761 | 1.763 | 1.762 |
| Peso unitario Kg/m <sup>3</sup> ,   |       | 1762  |       |

#### AGREGADO GRUESO

| PESO UNITARIO SUELTO               |       |       |       |
|------------------------------------|-------|-------|-------|
| Grueso suelto                      | I     | II    | III   |
| Peso de molde gr.                  | 3908  | 3908  | 3908  |
| Peso de molde + muestra gr.        | 10578 | 10580 | 10575 |
| Peso de muestra gr.                | 6670  | 6672  | 6667  |
| Volumen de molde cm <sup>3</sup> , | 4562  | 4562  | 4562  |
| Peso unitario gr/cm <sup>3</sup> , | 1.462 | 1.462 | 1.461 |
| Peso unitario Kg/m <sup>3</sup> ,  |       | 1462  |       |

| PESO UNITARIO COMPACTADO            |       |       |       |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|
| Grueso compactado                   | I     | II    | III   |
| Peso de molde gr.                   | 3908  | 3908  | 3908  |
| Peso de molde + muestra gr.         | 11160 | 11167 | 11165 |
| Peso de la muestra gr.              | 7252  | 7259  | 7257  |
| Volumen del molde cm <sup>3</sup> , | 4562  | 4562  | 4562  |
| Peso unitario gr/cm <sup>3</sup> ,  | 1.590 | 1.591 | 1.591 |
| Peso unitario Kg/m <sup>3</sup> ,   |       | 1590  |       |

## ANEXO C: Diseño de Mezcla por el método ACI 211.1.

### Anexo C-1: Método por Volumen Absoluto Equivalente.

| CARACTERISTICAS                                           | Agreg. Grueso | Agreg. Fino |
|-----------------------------------------------------------|---------------|-------------|
| Peso Específico (Kg/cm <sup>3</sup> )                     | 2570          | 2550        |
| Peso Unitario Compactado (Kg/cm <sup>3</sup> )            | 1590          | 1762        |
| Peso Unitario Suelto (Kg/cm <sup>3</sup> )                | 1462          | 1700        |
| Tamaño Máximo (pulg)                                      | 1             | -           |
| Tamaño Máximo Nominal (Pulg)                              | 3/4           | -           |
| Módulo de Fineza                                          | -             | 3.07        |
| Absorción (%)                                             | 3.25          | 4.5         |
| Contenido de humedad (%)                                  | 1             | 4.85        |
| Peso específico del cemento tipo IP (gr/cm <sup>3</sup> ) | 2.85          |             |

| DATOS DE DISEÑO                                             |      |
|-------------------------------------------------------------|------|
| Resistencia a la compresión de Diseño (Kg/cm <sup>2</sup> ) | 210  |
| Peso Específico del Cemento ( Kg/cm <sup>2</sup> )          | 3140 |

$$f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$$

#### a) Resistencia requerida promedio

$$f'_{cr} = 294 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f'_{cr} = 28.78 \text{ Mpa}$$

#### b) Valores de diseño

|                             |         |
|-----------------------------|---------|
| 1 Asentamiento              | 3" - 4" |
| 2 Tamaño Max. Nominal       | 3/4"    |
| 3 Aire Incorporado          | no      |
| 4 Relación Agua Cemento a/c | 0.534   |
| 5 Agua                      | 205 lts |
| 6 Total de aire             | 2.00%   |
| 7 Volumen del A.G           | 0.61    |

#### c) Análisis de diseño

##### 1. Factor cemento

$$\text{Fact. Cemento} = \frac{205 \text{ Lts}}{0.53 \text{ m}^3}$$

$$\text{Fact. Cemento} = 386.79 \text{ kg/m}^3$$

##### 2. Contenido de agregado grueso

$$\text{Peso del agregado grueso seco} = 0.610 \times 1590 = 969.9 \text{ kg/m}^3$$

##### 3. Volúmenes absolutos

$$\text{Cemento} = \frac{386.79 \text{ kg/m}^3}{2.85 \times 1000} = 0.1357 \text{ m}^3$$

4. Volumen absoluto del agua

$$\text{Agua} = \frac{205 \text{ lts}}{1 \times 1000} = 0.205 \text{ m}^3$$

5. Volumen absoluto del aire atrapado

$$\text{Aire} = \frac{2.00\%}{1 \times 1} = 0.02 \text{ m}^3$$

6. Volumen absoluto del agregado grueso

$$\text{Agregado grueso} = \frac{969.90 \text{ kg/m}^3}{2.57 \times 1000} = 0.3774 \text{ m}^3$$

$$\text{Suma de volúmenes absolutos} = 0.7381 \text{ m}^3$$

7. Contenido de agregado fino

$$\begin{aligned} \text{Volumen absorción agregado fino} &= 1 - 0.7381 = 0.2619 \text{ m}^3 \\ \text{Peso del agregado fino seco} &= 0.2619 \times 2.55 \times 1000 = 667.82 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

**d) Cantidad de materiales por m<sup>3</sup> en peso**

|       |                         |         |                   |
|-------|-------------------------|---------|-------------------|
| 1     | Cemento                 | 386.79  | kg/m <sup>3</sup> |
| 2     | Agua de diseño          | 205     | Lt/m <sup>3</sup> |
| 3     | Agregado fino seco      | 667.82  | kg/m <sup>3</sup> |
| 4     | Agregado grueso seco    | 969.90  | kg/m <sup>3</sup> |
| <hr/> |                         |         |                   |
|       | Peso total de la mezcla | 2229.51 | kg/m <sup>3</sup> |

**e) Corrección por humedad del agregado**

1. Peso húmedo del agregado fino

$$\text{Agregado fino} = 667.82 \times \frac{1 + 4.85/100}{1.0485} = 700.21 \text{ kg/m}^3$$

2. Peso húmedo del agregado grueso

$$\text{Agregado grueso} = 969.90 \times \frac{1 + 1/100}{1.0100} = 979.60 \text{ kg/m}^3$$

**f) Contribución de agua de los agregados**

1. Humedad superficial de los agregados

$$\begin{aligned} \text{Agregado fino} &= 4.85 - 4.5 = 0.35\% \\ \text{Agregado grueso} &= 1.00 - 3.25 = -2.25\% \\ &\hline &1.90\% \end{aligned}$$

## 2 Aporte de humedad de los agregados

|                        |           |   |         |   |                     |
|------------------------|-----------|---|---------|---|---------------------|
| Agregado fino seco =   | 667.82    | x | 0.0035  | = | 2.34 Lt/m3          |
| Agregado grueso seco = | 969.90    | x | -0.0225 | = | <u>-21.82 Lt/m3</u> |
|                        |           |   |         |   | -19.49 Lt/m3        |
| Agua efectiva =        | 205 lt/m3 | - | -19.37  | = | 224.37 lt/m3        |

### g) Cantidad de materiales corregidos por m3 de concreto

|                        |        |
|------------------------|--------|
| Cemento                | 386.79 |
| Agua efectiva          | 224.37 |
| Agregado fino húmedo   | 700.21 |
| Agregado grueso húmedo | 979.60 |

### h) Proporciones en peso por unidad de cemento

|                 |   |               |       |   |      |
|-----------------|---|---------------|-------|---|------|
| Cemento         | = | <u>386.79</u> | kg/m3 | = | 1.00 |
|                 |   | 386.79        | kg/m3 |   |      |
| Agua efectiva   | = | <u>224.37</u> | kg/m3 | = | 0.58 |
|                 |   | 386.79        | kg/m3 |   |      |
| Agregado fino   | = | <u>700.21</u> | kg/m3 | = | 1.81 |
|                 |   | 386.79        | kg/m3 |   |      |
| Agregado grueso | = | <u>979.60</u> | kg/m3 | = | 2.53 |
|                 |   | 386.79        | kg/m3 |   |      |

### i) Cantidad de materiales corregidos por bolsa

|                        |      |   |      |   |       |           |
|------------------------|------|---|------|---|-------|-----------|
| Cemento                | 1.00 | x | 42.5 | = | 42.5  | Kg/ Bolsa |
| Agua efectiva          | 0.58 | x | 42.5 | = | 24.7  | Lt/ Bolsa |
| Agregado fino húmedo   | 1.81 | x | 42.5 | = | 76.9  | Kg/ Bolsa |
| Agregado grueso húmedo | 2.53 | x | 42.5 | = | 107.6 | Kg/ Bolsa |

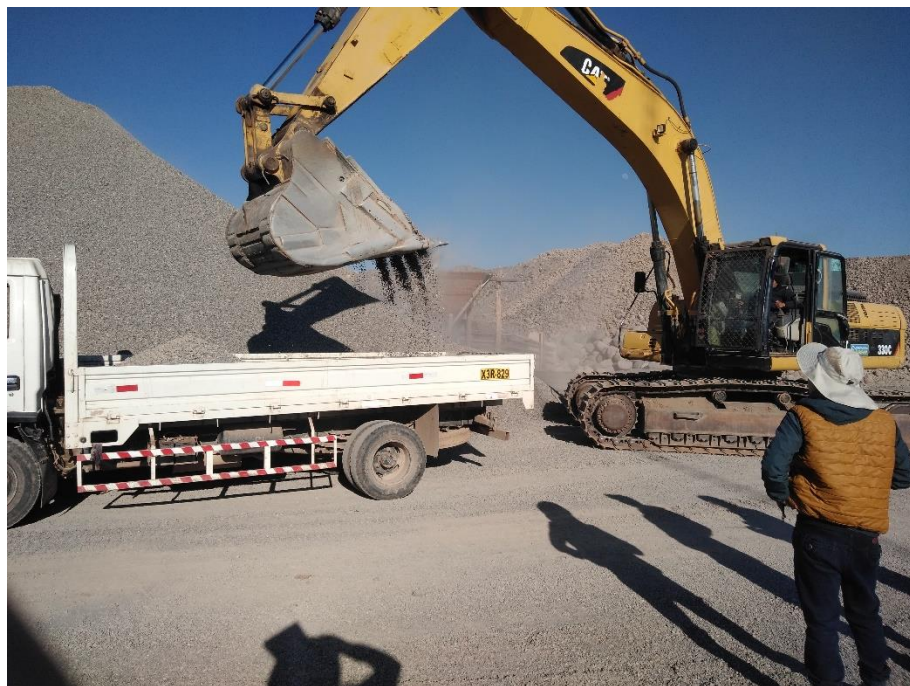
## CUADRO DE RESUMEN

| Descripción     | Volum. Abso. | Pesos Secos/m3 | Humedad | Pesos Kg/m3 | Proporciones |
|-----------------|--------------|----------------|---------|-------------|--------------|
| Cemento         | 0.14         | 386.79         |         | 386.79      | 1.00         |
| Agua            | 0.21         | 205.00         | 1.90%   | 224.37      | 0.58         |
| Agregado fino   | 0.26         | 667.82         | 0.35%   | 700.21      | 1.81         |
| Agregado grueso | 0.38         | 969.90         | -2.25%  | 979.60      | 2.53         |

#### **ANEXO D: Panel fotográfico**



**Fotografia 1.** *Obtención del agregado fino cantera Ilo Ilo para la el analisis de ensayos laboratorio y elaboracion de especímenes.*



**Fotografia 2.** *Obtencion del agregado grueso de la cantera surupana (piedra chancada) para el analisis de ensayos laboratorio y elaboracion de especímenes.*



**Fotografia 3.** *Ensayo de granulometría agregado fino.*



**Fotografia 4.** *Ensayo de granulometría agregado grueso.*



**Fotografía 5.** Selección y pesado de agregado fino y agregado grueso para su posterior secado en el horno.



**Fotografía 6.** Ensayo del peso unitario compactado del agregado fino en moldes de 10 cm x 20 cm.



**Fotografía 7.** Ensayo del peso unitario compactado del agregado grueso en moldes de 15 cm x 30 cm.



**Fotografía 8.** Granulometría del agregado fino y grueso e identificación de los diámetros de muestras.



**Fotografia 9.** *Ensayo del peso especifico del agregado fino en fiola de 250 gr.*



**Fotografia 10.** *Selección del cemento Yura en ferreterías siendo uno de los cementos comercializados en la ciudad de Juliaca*



**Fotografia 11.** Selección del cemento Frontera en ferreterías siendo uno de los cementos comercializados en la ciudad de Juliaca



**Fotografia 12.** Selección del cemento Rumi en ferreterías siendo uno de los cementos comercializados en la ciudad de Juliaca



**Fotografia 13.** *Peso del cemento Wari tipo I para el ensayo del fraguado inicial realizado en los laboratorios de la Universidad Andina del Cusco.*



**Fotografia 14.** *Ensayo de consistencia del cemento Rumi IP para su posterior ensayo del fraguado inicial del cemento.*



**Fotografia 15.** *Instrumentos necesarios para controlar el fraguado inicial con el Aparato de Vicat (termómetro, cronometro).*



**Fotografia 16.** *Fin del fraguado inicial del cemento Yura IP al tiempo mostrado en el cronometro.*



**Fotografia 17.** *Ensayos a cada 15 minutos para ver el desarrollo del fraguado del cemento con el aparato de Vicat.*



**Fotografia 18.** *Materiales y equipos para iniciar el respectivo mezcla de los materiales para elaborar los especímenes.*



**Fotografia 19.** *Cemento frontera para elaborar el concreto y el ensayo de calor de hidratación.*



**Fotografia 20.** *Cemento Wari I para elaborar el concreto y el ensayo de calor de hidratación.*



**Fotografía 21.** Mezcladora de concreto 11 Pie3 utilizada para la elaboración de especímenes.



**Fotografía 22.** Elaboración de especímenes en moldes de 10 cm x 20 cm.



**Fotografía 23.** Congeladora MABE para someter los especímenes y los cubos de concreto (25cmx25cmx25cm) a temperaturas de 5°C y -5°C.



**Fotografía 24.** Especímenes colocados en la congeladora para ser sometidos a temperaturas de -5°C y 5°C durante el fraguado inicial.



**Fotografia 25.** Control de la temperatura del concreto a 5°C para determinar el calor de hidratacion en cubos de (25cmx25cmx25cm).



**Fotografia 26.** Especímenes colocados en la congeladora para ser sometidos a temperaturas de 5°C durante el fraguado inicial.



**Fotografía 27.** *Especímenes colocados en la congeladora para ser sometidos a temperaturas de 5°C durante el fraguado inicial y control de la temperatura del concreto (25cm x25cmx25cm)*



**Fotografía 28.** *Curado de especímenes en la poza (patio del laboratorio de concreto y ensayo de materiales- UPeU)*



**Fotografia 29.** Control de la temperatura del agua durante el día.



**Fotografia 30.** Control de la temperatura ambiente de la poza durante la noche, para controlar la temperatura del agua con polietileno.



**Fotografia 31.** *Testigos de concreto despues de extraer de la poza para el secado y posteriormente ser ensayados.*



**Fotografia 32.** *Realizando las respectivas mediciones de diámetros y alturas de las muestras listos para ser ensayados en la prensa digital automática.*





**Fotografia 35.** Testigos de concreto dosificado con cemento Wari I a una temperatura de 5°C para el ensayo de resistencia a compresión.



**Fotografia 36.** Testigos de concreto dosificado con cemento Wari I concreto patrón para el ensayo de resistencia a compresión.



**Fotografia 37.** Rotura de probeta del concreto dosificado con cemento Wari tipo I a una temperatura 5 °C y edad de 28 días.



**Fotografia 38.** Probetas de concreto ya ensayadas a compresión.



**Fotografía 39.** *Muestras de concreto donde se realizaron los controles para obtener el calor de hidratación del concreto (cubos de 25cmx25x25cm)*



**Fotografía 40.** *Probetas ensayas a compresión durante el Proyecto de tesis que constan de concretos dosificado con cemento Rumi IP, Yura IP, Frontera IP y Wari I.*