

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

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



**TESIS**

---

---

**“ANALISIS DE LA ADICIÓN DE RELAVES MINEROS EN  
EL DISEÑO DE CONCRETO  $F'_c=210 \text{ kg/cm}^2$  DE LAS  
UNIDADES MINERAS DE ESPINAR-CUSCO 2023”**

---

---

**PRESENTADO POR:**

-Bach. ALVIS FAVIO QUISPE PUMA

**PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**ASESOR:**

Ph.D.Ing. AIDA ZAPATA MAR

**CUSCO-PERÚ**

**2024**

# INFORME DE ORIGINALIDAD

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

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: "Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$  de las unidades mineras de Espinar - Cusco 2023"

presentado por: Alvis Favio Quispe Pumá con DNI Nro.: 72009810 presentado por: — con DNI Nro.: — para optar el título profesional/grado académico de Ingeniero Civil

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 1 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 1%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

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

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 7 de febrero de 2024

Aida Zapata de Bauco

Firma

Post firma Ph.D. AIDA ZAPATA M.A.R.

Nro. de DNI 46939604

ORCID del Asesor 0000-002-8500-0134

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259:326404413

NOMBRE DEL TRABAJO

**6. TESIS ALVIS FAVIO QUISPE PUMA .pdf**

AUTOR

**Alvis Favio Quispe Puma**

RECuento DE PALABRAS

**38027 Words**

RECuento DE CARACTERES

**183389 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**201 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**34.1MB**

FECHA DE ENTREGA

**Feb 7, 2024 5:02 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Feb 7, 2024 5:04 PM GMT-5**

### ● 1% de similitud general

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

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

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 30 palabras)

“ANÁLISIS DE LA ADICIÓN DE RELAVES MINEROS EN EL DISEÑO DE CONCRETO  
 $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$  DE LAS UNIDADES MINERAS DE ESPINAR-CUSCO 2023”

HA SIDO APROBADO

---

Ing. JORGE IVÁN CRUZ TELLO  
PRESIDENTE DE TESIS

---

Dr. Ing. ADAN WILBERT SOLORZANO MONTESINOS  
PRIMER INTEGRANTE DE TESIS

---

Mgt. Ing. JOSE RONALD AGUILAR HUERTA  
SEGUNDO INTEGRANTE DE TESIS

## DEDICATORIA

*A mis padres por brindarme en cada instante su apoyo para la realización de este trabajo de investigación, las cuales siempre estuvieron en todo momento para brindarme su ayuda en todo el proceso de este trabajo de investigación, así poder lograr mi objetivo.*

*ALVIS FAVIO QUISPE PUMA*

*A mi compañero de la universidad, que gracia a su apoyo termine de realizar este trabajo de investigación que será de gran importancia para mi vida profesional.*

*ALVIS FAVIO QUISPE PUMA*

## **AGRADECIMIENTOS**

Estoy muy satisfecho por la realización de este trabajo de investigación que servirá de gran apoyo para futuras investigaciones relacionadas a este trabajo.

Agradezco a mi asesora Ph D. AIDA, ZAPATA MAR por su apoyo constante y permanente en la realización de mi tesis de investigación.

Quiero agradecer a mi prestigiosa Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, por permitirme ser parte de sus estudiantes, la cual me permitió cumplir mis estudios universitarios con los estándares muy altos en mi crecimiento profesional.

ALVIS FAVIO QUISPE PUMA

## INDICE

|                                                                                                                           |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>                                                                                               | <b>1</b>  |
| <b>2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>                                                                         | <b>1</b>  |
| <b>3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN ...</b>                                                   | <b>2</b>  |
| 3.1. Planteamiento del Problema .....                                                                                     | 2         |
| 3.2. Formulación del Problema.....                                                                                        | 3         |
| <b>4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>                                                                              | <b>4</b>  |
| 4.1. Objetivo General.....                                                                                                | 4         |
| 4.2. Objetivos Específicos .....                                                                                          | 4         |
| <b>5. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL .....</b>                                                                                | <b>4</b>  |
| 5.1. Antecedentes Empíricos de la Investigación (Estado del Arte) .....                                                   | 4         |
| 5.2. Marco Conceptual.....                                                                                                | 6         |
| 5.3. Ensayos para Agregados Pétreos.....                                                                                  | 9         |
| 5.4. Elaboración del Diseño de Mezcla de Concreto (Método ACI 211.1).....                                                 | 20        |
| 5.5. Elaboración y Curado en el Laboratorio de Especímenes de Concreto para Ensayos (Método ASTM C192) .....              | 28        |
| 5.6. Revenimiento del Concreto de Cemento Hidráulico (Método ASTM C143).....                                              | 31        |
| 5.7. Método de Ensayo Estándar para Esfuerzo de Compresión en Especímenes Cilíndricos de Concreto (Método ASTM C39).....  | 32        |
| 5.8. Resistencia a la Flexión del Concreto (Usando Viga Simple con Carga a los Tercios del Claro) (Método ASTM C78) ..... | 33        |
| <b>6. HIPOTESIS DE INVESTIGACIÓN.....</b>                                                                                 | <b>34</b> |
| 6.1. Hipótesis .....                                                                                                      | 34        |
| 6.2. Identificación de Variables e Indicadores .....                                                                      | 34        |
| 6.3. Operacionalización de Variables .....                                                                                | 35        |

|                                                                                    |           |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 6.4. Alcance, Limitación y Viabilidad.....                                         | 35        |
| <b>7. METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN.....</b>                                        | <b>37</b> |
| 7.1. Tipo de investigación.....                                                    | 37        |
| 7.2. Nivel de investigación .....                                                  | 37        |
| 7.3. Diseño de investigación.....                                                  | 37        |
| 7.4. Población de Estudio .....                                                    | 38        |
| 7.5. Muestra .....                                                                 | 39        |
| 7.6. Tamaño de la Muestra .....                                                    | 39        |
| 7.7. Técnicas de Recolección de Información.....                                   | 40        |
| 7.8. Instrumentos de Técnicas de Recolección de Información .....                  | 41        |
| 7.9. Técnicas de Análisis e Interpretación de la Información .....                 | 41        |
| 7.10. Instrumentos de Técnicas de Análisis e Interpretación de la Información..... | 42        |
| <b>8. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>                                      | <b>43</b> |
| 8.1. Resultados de Ensayos para los Agregados Pétreos.....                         | 43        |
| 8.2. Resultados para el Diseño de Mezcla (Método ACI 211.1).....                   | 64        |
| 8.3. Resultados del Análisis Químico de Relave Minero .....                        | 74        |
| 8.4. Resultados para la Consistencia del Concreto .....                            | 75        |
| 8.5. Resultados de los Ensayos de Resistencia a la Compresión del Concreto .....   | 76        |
| 8.6. Resultados de la Resistencia a la Flexión.....                                | 88        |
| 8.7. Resultados para el Costo de Producción de Concreto .....                      | 90        |
| <b>9. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>                                 | <b>96</b> |
| 9.1. Propiedades físicas y mecánicas de los agregados (Cantera Rio Apurímac) ..... | 96        |
| 9.2. Diseño de Mezcla .....                                                        | 97        |
| 9.3. Composición Química en Laboratorio del Relave Minero.....                     | 98        |
| 9.4. Consistencia del Concreto .....                                               | 101       |

|                                               |            |
|-----------------------------------------------|------------|
| 9.5. Resistencia a la Compresión.....         | 102        |
| 9.6. Resistencia a la flexión.....            | 104        |
| 9.7. Costos de Producción .....               | 105        |
| <b>10.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b> | <b>106</b> |
| 10.1. Conclusión General .....                | 106        |
| 10.2. Conclusiones Específicas .....          | 106        |
| 10.3. Recomendaciones .....                   | 106        |
| <b>11. REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA.....</b>      | <b>108</b> |
| <b>12.ANEXOS.....</b>                         | <b>111</b> |

## INDICE DE TABLAS

|          |                                                                                                                                                 |    |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1  | Requerimientos de tamizado en agregados gruesos .....                                                                                           | 10 |
| Tabla 2  | Requerimientos de tamizado en agregados finos.....                                                                                              | 10 |
| Tabla 3  | Gradación de las muestras de ensayo .....                                                                                                       | 19 |
| Tabla 4  | Carga a usar según el tipo de gradación de la muestra .....                                                                                     | 19 |
| Tabla 5  | Resistencia requerida de diseño cuando no hay datos que permiten determinar la desviación estándar .....                                        | 21 |
| Tabla 6  | Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción .....                                                                            | 21 |
| Tabla 7  | Valores recomendados de asentamiento para diversas clases de construcción .....                                                                 | 22 |
| Tabla 8  | Volumen unitario de agua.....                                                                                                                   | 22 |
| Tabla 9  | Cantidad aproximada de aire esperado en concreto sin aire incluido y niveles de aire incluido para diferentes tamaños máximos de agregado ..... | 23 |
| Tabla 10 | Relación agua/cemento por resistencia.....                                                                                                      | 23 |
| Tabla 11 | Relación agua/cemento por durabilidad. ....                                                                                                     | 24 |
| Tabla 12 | Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto .....                                                                               | 25 |
| Tabla 13 | Número de capas necesarias para las probetas .....                                                                                              | 30 |
| Tabla 14 | Diámetro del pisón y número de golpes que se usan para moldear las probetas de ensayo .....                                                     | 30 |
| Tabla 15 | Operacionalización de variables .....                                                                                                           | 35 |
| Tabla 16 | Número de muestras para prueba de resistencia a la compresión $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ .....                                                  | 39 |
| Tabla 17 | Número de muestras para prueba de resistencia a la flexión .....                                                                                | 39 |
| Tabla 18 | Técnicas de recolección de información.....                                                                                                     | 40 |
| Tabla 19 | Esquema de técnicas de análisis e interpretación de la información .....                                                                        | 42 |
| Tabla 20 | Análisis granulométrico del agregado grueso.....                                                                                                | 43 |
| Tabla 21 | Peso unitario suelto del agregado grueso.....                                                                                                   | 44 |
| Tabla 22 | Peso unitario compactado del agregado grueso.....                                                                                               | 45 |
| Tabla 23 | Peso específico del agregado grueso .....                                                                                                       | 46 |
| Tabla 24 | Absorción del agregado grueso.....                                                                                                              | 47 |
| Tabla 25 | Contenido de humedad del agregado grueso .....                                                                                                  | 48 |
| Tabla 26 | Abrasión de los ángeles del agregado grueso .....                                                                                               | 49 |

|                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 27 Cantidad de material fino que pasa el tamiz N° 200.....                                                        | 50 |
| Tabla 28 Contenido de cloruros y sulfatos del agregado grueso .....                                                     | 51 |
| Tabla 29 Análisis granulométrico del agregado fino .....                                                                | 52 |
| Tabla 30 Peso unitario suelto del agregado fino .....                                                                   | 54 |
| Tabla 31 Peso unitario compactado del agregado fino .....                                                               | 55 |
| Tabla 32 Gravedad específica del agregado fino .....                                                                    | 56 |
| Tabla 33 Absorción del agregado fino.....                                                                               | 57 |
| Tabla 34 Contenido de humedad del agregado fino .....                                                                   | 58 |
| Tabla 35 Cantidad de material fino que pasa el tamiz N° 200.....                                                        | 59 |
| Tabla 36 Contenido de cloruros y sulfatos del agregado fino .....                                                       | 60 |
| Tabla 37 Análisis granulométrico de relave minero .....                                                                 | 61 |
| Tabla 38 Peso unitario suelto del agregado fino.....                                                                    | 62 |
| Tabla 39 Gravedad específica del agregado fino .....                                                                    | 63 |
| Tabla 40 Diseño de concreto patrón de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ (DCP).....                                              | 70 |
| Tabla 41 Diseño de concreto patrón de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ + 5% de adición de relave minero (DCP + 5% ARM).....    | 71 |
| Tabla 42 Diseño de concreto patrón de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ + 10% de adición de relave minero (DCP + 10% ARM) ..... | 72 |
| Tabla 43 Diseño de concreto patrón de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ + 15% de adición de relave minero (DCP + 15% ARM) ..... | 73 |
| Tabla 44 Proporción en peso del diseño de mezclas para $1 \text{ m}^3$ de concreto.....                                 | 74 |
| Tabla 45 Contenido de sulfatos y cloruros del relave minero .....                                                       | 74 |
| Tabla 46 Concentración de metales del relave minero de las unidades mineras de Espinar .....                            | 75 |
| Tabla 47 Consistencia de concreto para cada diseño de concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .....                          | 76 |
| Tabla 48 Resistencia a la compresión 1 día (DCP).....                                                                   | 76 |
| Tabla 49 Resistencia a la compresión 3 días (DCP) .....                                                                 | 77 |
| Tabla 50 Resistencia a la compresión 7 días (DCP) .....                                                                 | 77 |
| Tabla 51 Resistencia a la compresión 14 días (DCP) .....                                                                | 78 |
| Tabla 52 Resistencia a la compresión 21 días (DCP) .....                                                                | 78 |
| Tabla 53 Resistencia a la compresión 28 días (DCP) .....                                                                | 79 |
| Tabla 54 Resistencia a la compresión 1 día (DCP+5%ARM).....                                                             | 79 |

|                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 55 Resistencia a la compresión 3 días (DCP+5%ARM) .....                                                                     | 80 |
| Tabla 56 Resistencia a la compresión 7 días (DCP+5%ARM) .....                                                                     | 80 |
| Tabla 57 Resistencia a la compresión 14 días (DCP+5%ARM) .....                                                                    | 81 |
| Tabla 58 Resistencia a la compresión 21 días (DCP+5%ARM) .....                                                                    | 81 |
| Tabla 59 Resistencia a la compresión 28 días (DCP+5%ARM) .....                                                                    | 82 |
| Tabla 60 Resistencia a la compresión 1 día (DCP+10%ARM).....                                                                      | 82 |
| Tabla 61 Resistencia a la compresión 3 días (DCP+10%ARM) .....                                                                    | 83 |
| Tabla 62 Resistencia a la compresión 7 días (DCP+10%ARM) .....                                                                    | 83 |
| Tabla 63 Resistencia a la compresión 14 días (DCP+10%ARM) .....                                                                   | 84 |
| Tabla 64 Resistencia a la compresión 21 días (DCP+10%ARM).....                                                                    | 84 |
| Tabla 65 Resistencia a la compresión 28 días (DCP+10%ARM) .....                                                                   | 85 |
| Tabla 66 Resistencia a la compresión 1 día (DCP+15%ARM).....                                                                      | 85 |
| Tabla 67 Resistencia a la compresión 3 días (DCP+15%ARM) .....                                                                    | 86 |
| Tabla 68 Resistencia a la compresión 7 días (DCP+15%ARM) .....                                                                    | 86 |
| Tabla 69 Resistencia a la compresión 14 días (DCP+15%ARM) .....                                                                   | 87 |
| Tabla 70 Resistencia a la compresión 21 días (DCP+15%ARM) .....                                                                   | 87 |
| Tabla 71 Resistencia a la compresión 28 días (DCP+15%ARM) .....                                                                   | 88 |
| Tabla 72 Resistencia a la flexión 28 días (DCP) .....                                                                             | 89 |
| Tabla 73 Resistencia a la flexión 28 días (DCP+5%ARM).....                                                                        | 89 |
| Tabla 74 Resistencia a la flexión 28 días (DCP+10%ARM).....                                                                       | 90 |
| Tabla 75 Resistencia a la flexión 28 días (DCP+15%ARM).....                                                                       | 90 |
| Tabla 76 Calculo de rendimiento de transporte de relave minero .....                                                              | 91 |
| Tabla 77 Costo de producción de relave minero .....                                                                               | 91 |
| Tabla 78 Costo de producción de concreto patrón de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ (DCP) .....                                          | 92 |
| Tabla 79 Costo de producción de concreto patrón de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ + 5% de adición de relave minero (DCP+5%ARM) .....   | 93 |
| Tabla 80 Costo de producción de concreto patrón de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ + 10% de adición de relave minero (DCP+10%ARM) ..... | 94 |
| Tabla 81 Costo de producción de concreto patrón de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ + 15% de adición de relave minero (DCP+15%ARM) ..... | 95 |
| Tabla 82 Resumen de los resultados obtenidos en laboratorio de los ensayos al agregado fino..                                     | 96 |

|                                                                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 83 Resumen de los resultados obtenidos en laboratorio de los ensayos al agregado grueso .....                      | 96  |
| Tabla 84 Resumen de resultados obtenidos para diferentes combinaciones de agregado y relave .....                        | 97  |
| Tabla 85 Resumen de variación de agregado fino para los diferentes diseños de concreto .....                             | 97  |
| Tabla 86 Composición química en laboratorio de relave minero .....                                                       | 98  |
| Tabla 87 Análisis fisicoquímico de relave minero, piedra chancada y arena gruesa (ppm).....                              | 99  |
| Tabla 88 Cuadro resumen de consistencia del concreto para los diferentes diseños de concreto .....                       | 101 |
| Tabla 89 Resistencia a la compresión de concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ a diferentes edades .....                    | 102 |
| Tabla 90 Resumen de resistencia a la compresión del concreto a los 28 días para los diferentes diseños de concreto ..... | 103 |
| Tabla 91 Resumen de resistencia a la flexión de concreto a los 28 días para los diferentes diseños de concreto .....     | 104 |
| Tabla 92 Resumen de costos de producción para $1\text{m}^3$ de concreto para los diferentes diseños de concreto .....    | 105 |

## INDICE DE FIGURAS

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 Diagrama de ensayo de granulometría .....                | 9  |
| Figura 2 Diagrama de ensayo malla N° 200 .....                    | 11 |
| Figura 3 Diagrama de peso unitario suelto .....                   | 12 |
| Figura 4 Diagrama de peso unitario compactado .....               | 13 |
| Figura 5 Diagrama de peso específico y absorción .....            | 14 |
| Figura 6 Diagrama de gravedad específica y absorción .....        | 15 |
| Figura 7 Diagrama de contenido de humedad .....                   | 17 |
| Figura 8 Diagrama de abrasión los Ángeles .....                   | 18 |
| Figura 9 Diagrama de diseño de mezcla método ACI 211.1 .....      | 20 |
| Figura 10 Diagrama de elaboración de probetas.....                | 28 |
| Figura 11 Diagrama de elaboración de vigas.....                   | 29 |
| Figura 12 Diagrama de revenimiento del concreto.....              | 31 |
| Figura 13 Diagrama de resistencia a la compresión .....           | 32 |
| Figura 14 Diagrama de resistencia a la flexión.....               | 33 |
| Figura 15 Curva granulométrica del agregado grueso .....          | 44 |
| Figura 16 Peso unitario suelto del agregado grueso .....          | 45 |
| Figura 17 Peso unitario compactado del agregado grueso.....       | 46 |
| Figura 18 Peso específico del agregado grueso .....               | 47 |
| Figura 19 Absorción del agregado grueso .....                     | 48 |
| Figura 20 Contenido de humedad del agregado grueso.....           | 49 |
| Figura 21 Abrasión de los ángeles del agregado grueso.....        | 50 |
| Figura 29 Cantidad de material que pasa el tamiz N° 200.....      | 51 |
| Figura 22 Contenido de cloruros/sulfatos del agregado grueso..... | 52 |
| Figura 23 Curva granulométrica del agregado fino .....            | 53 |
| Figura 24 Peso unitario suelto del agregado fino.....             | 54 |
| Figura 25 Peso unitario compactado del agregado grueso.....       | 55 |
| Figura 26 gravedad específica del agregado fino .....             | 56 |
| Figura 27 Absorción del agregado fino .....                       | 57 |
| Figura 28 Contenido de humedad del agregado fino .....            | 58 |
| Figura 29 Cantidad de material que pasa el tamiz N° 200.....      | 59 |
|                                                                   | XI |

|                                                                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 30 Contenido de cloruros/sulfatos del agregado fino .....                                                       | 60  |
| Figura 31 Curva granulométrica del relave minero .....                                                                 | 61  |
| Figura 32 Peso unitario suelto del relave minero.....                                                                  | 62  |
| Figura 33 gravedad específica del agregado fino .....                                                                  | 63  |
| Figura 34 Consistencia del concreto .....                                                                              | 75  |
| Figura 35 Variación del agregado fino para el diseño de concreto.....                                                  | 98  |
| Figura 36 Composición química en laboratorio del relave minero.....                                                    | 99  |
| Figura 37 Contenido de cloruros (ppm).....                                                                             | 100 |
| Figura 38 Contenido de sulfatos (ppm) .....                                                                            | 100 |
| Figura 39 Consistencia del concreto .....                                                                              | 101 |
| Figura 40 Curva de madurez del concreto de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ a diferentes edades .....                         | 102 |
| Figura 41 Resistencia a la compresión del concreto a los 28 días .....                                                 | 103 |
| Figura 42 Resistencia a la flexión del concreto (28 días) .....                                                        | 104 |
| Figura 43 Costo de producción de concreto para $1\text{m}^3$ de concreto para los diferentes diseños de concreto ..... | 105 |

## INDICE DE ANEXOS

|                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------|-----|
| ANEXOS A CERTIFICADOS.....                                | 111 |
| ANEXOS B PLANOS .....                                     | 120 |
| ANEXOS C FICHAS DE OBSERVACIÓN.....                       | 122 |
| ANEXOS D ENSAYOS DE LABORATORIO DE ELEMENTES PÉTREOS..... | 126 |
| ANEXOS E MATRIZ DE CONSISTENCIA .....                     | 163 |
| ANEXOS F PANEL FOTOGRÁFICO .....                          | 164 |

## RESUMEN

Este trabajo de investigación tuvo como objetivo analizar la influencia de la adición de relaves mineros a 5%, 10% y 15% en el diseño de concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  de las unidades mineras de Espinar -Cusco 2023, con la cual se pretende aumentar la consistencia del concreto, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y disminuir el costo de producción del concreto.

Para este trabajo de investigación se utilizó el método de diseño ACI 211.1 para el diseño de concreto patrón de  $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$  y el diseño de concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  con la adición de relave minero de las unidades mineras de Espinar en las proporciones propuestas en peso del material cementante, para cada diseño de concreto, se procedió a la preparación de especímenes consistentes en: 24 briquetas y 3 vigas.

Los resultados promedios de consistencia del diseño de concreto patrón (concreto tradicional) fue de 2.8 pulg. y con un 5%, 10% y 15% de adición de relaves mineros fueron de 3.6pulg. , 3.3pulg. y 3.0 pulg. , para el ensayo de resistencia a la compresión los resultados fueron de  $236.64 \text{ kg/cm}^2$  ,  $245.56 \text{ kg/cm}^2$  ,  $265.26 \text{ kg/cm}^2$  y  $242.40 \text{ kg/cm}^2$  , para el ensayo de resistencia a la flexión los resultados fueros de 2.92 MPa, 3.29MPa, 3.38 MPa y 3.16 MPa , el costo de producción unitaria de concreto con adición de relaves mineros tuvo una variación de 0.42 soles por cada 5% de adicional de relave minero.

Es viable el uso de relaves mineros como adición en el diseño de concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ . Se llegó a establecer que el porcentaje relevante de adición de relaves mineros de las unidades mineras de Espinar fue de 10% en el diseño de concreto de  $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ , cuya adición ofrece un mejor resultado en el ensayo de consistencia con un valor de 3.3 pulg, en el ensayo a la resistencia a la compresión con un valor de  $265.26 \text{ kg/cm}^2$ , en el ensayo de resistencia a la flexión con un valor de 3.38 MPa y costo de producción de concreto de 342.60 soles.

Palabras Clave: Diseño de concreto, relaves mineros, concreto.

## ABSTRACT

This research work aimed to analyze the influence of the addition of mine tailings at 5%, 10% and 15% on the concrete design  $f'_c=210$  kg/cm<sup>2</sup> of the Espinar -Cusco 2023 mining units, with the which is intended to increase the consistency of concrete, compressive strength, flexural strength and reduce the cost of concrete production.

For this research work, the ACI 211.1 design method was used for the design of pattern concrete of  $f'_c= 210$  kg/cm<sup>2</sup> and the design of pattern concrete of  $f'_c=210$  kg/cm<sup>2</sup> with the addition of mining tailings of Espinar mining units in the proposed proportions by weight of cementitious material, for each concrete design, specimens were prepared consisting of: 24 briquettes and 3 beams.

The average pattern concrete design consistency results (traditional concrete) was 2.8 in. and with 5%, 10% and 15% addition of mine tailings they were 3.6 inches. , 3.3in. and 3.0 in. , for the compressive strength test the results were 236.64 kg/cm<sup>2</sup>, 245.56 kg/cm<sup>2</sup>, 265.26 kg/cm<sup>2</sup> and 242.40 kg/cm<sup>2</sup>, for the flexural strength test the results were 2.92 MPa, 3.29MPa , 3.38 MPa and 3.16 MPa, the unit production cost of concrete with the addition of mine tailings had a variation of 0.42 soles for each 5% additional mine tailings.

The use of mine tailings as an addition in the concrete design  $f'_c=210$  kg/cm<sup>2</sup> is viable. It was established that the relevant percentage of addition of mine tailings from the Espinar mining units was 10% in the concrete design of  $f'_c = 210$  kg/cm<sup>2</sup>, whose addition offers a better result in the consistency test with a value of 3.3 inches, in the compressive strength test with a value of 265.26 kg/cm<sup>2</sup>, in the flexural strength test with a value of 3.38 MPa and concrete production cost of 342.60 soles.

Keywords: Concrete design, mine tailings, concrete.

## 1. INTRODUCCIÓN

La presente investigación “ANÁLISIS DE LA ADICIÓN DE RELAVES MINEROS EN EL DISEÑO DE CONCRETO  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  DE LAS UNIDADES MINERAS DE ESPINAR-CUSCO 2023” tiene la iniciativa de ser desarrollada debido a la problemática existente de la gran acumulación de los relaves mineros de las unidades mineras de Espinar en la zona de explotación. En consecuencia, el primordial objetivo propuesto en este trabajo de investigación, es analizar la influencia de adición de relaves mineros a 5%, 10% y 15% en el diseño de concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023, con metodología tipo cuantitativa, nivel correlacional y un diseño experimental.

## 2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Toda investigación posee diferentes enfoques, en efecto. Bajo un enfoque teórico la presente investigación permitirá generar conocimientos acerca de las bondades de este nuevo material como componente de adición en el diseño de concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

De igual modo, bajo un enfoque técnico se propone su aplicación en diferentes porcentajes de relaves mineros de las unidades mineras de Espinar como un material de adición en el diseño de concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , a efectos de conocer cada propiedad mecánica y física de concreto patrón y concreto modificado con las adiciones propuestas en la presente investigación.

De acuerdo con lo señalado se pretende mejorar el comportamiento del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con adiciones de relave minero en peso de material cementante, pudiendo aplicarse en diferentes construcciones de obras civiles de concreto, en las zonas aledañas a la población de Espinar.

Asimismo, bajo un enfoque económico la presente investigación, tiene como fin principal innovar, investigar y proponer el uso novedoso de un material mejorado y sostenible, como es el caso del concreto con relave minero, en efecto el uso de este material representa un costo menor al concreto convencional, con mejor desempeño principalmente en la resistencia a la compresión y flexión.

Finalmente, bajo un enfoque medio-ambiental la presente investigación, pretende dar una alternativa de solución al problema latente de contaminación, ya que se propone utilizar los relaves mineros en la industria de la construcción, permitiendo minimizar los efectos ambientales nocivos, reduciendo la cantidad de residuos mineros circundantes de todas las

zonas aledañas al centro de explotación minera.

Debido a la composición química y características físicas de los relaves, estos forman parte de elementos que no pueden ni deben estar almacenados y que es necesario la búsqueda de alternativas para su deposición final o su reutilización y de esta manera generar un proceso de minera más sostenible y disminuir el impacto ambiental, siendo una realidad crítica la que viven los pobladores en las unidades mineras, debido entre otros a la contaminación de las fuentes de agua y tratamiento deficiente de estos relaves mineros.

### **3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Planteamiento del Problema**

En la presente investigación, se hizo un estudio del empleo del material proveniente de los relaves producto de la explotación minera en Espinar-Cusco, que en la actualidad no se está dando utilidad a este material y es altamente contaminante, y que contrariamente es depositado indistintamente en toda la zona aledaña a la explotación minera, con el presente estudio se procura dar utilidad a este material, como un componente de adición en el diseño de concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  para su utilización en obras de construcción civil.

##### **3.1.1. Situación problemática**

En todas las actividades productivas donde el hombre interviene se generan residuos, actualmente en un mundo donde cada día se busca realizar actividades que vayan en beneficio del ambiente, se requieren ejecutar acciones que permitan la disminución de este tipo de residuos. (Calderón, 2020)

Asimismo, dada la gran cantidad de relaves que produce el sector minero, es imperativo buscar tecnologías innovadoras para su manejo y disposición. Dicha tecnología no solo reduciría el impacto ambiental de los relaves, sino que, también prolongaría la vida útil de las represas de relaves y los depósitos mineros. Asimismo, reduciría los niveles de contaminación y reduciría los costos asociados con las actividades mineras. (Calderón, 2020)

La práctica de reutilizar los relaves produce una gran cantidad de beneficios, similares al reciclaje en general. Reduce el porcentaje de explotación de recursos naturales, limita el desperdicio, genera activos financieros, estimula la innovación, crea oportunidades de empleo e inculca la ética ambiental. Además, frena la

exposición humana y ecológica a materiales contaminados (Calderón, 2020).

El impacto ambiental de un proyecto de minería es inevitable, debido a la forma en la que se degradan los suelos, y las aguas. Coincidentemente con investigaciones relacionadas al tema de estudio, los entendidos señalan que: Los relaves mineros son una de las consecuencias de este tipo proyectos, por lo cual se busca mitigar esta situación a través de la proposición de nuevos usos para los relaves (Menéndez & Muñoz, 2021).

Las unidades mineras de Espinar enfrentan una necesidad apremiante de reusar los subproductos de las actividades mineras, conocidos como relaves mineros. Estos materiales han demostrado tener efectos perjudiciales significativos en el medioambiente, sociedad y economía del área. Su peligrosa composición y peso pueden causar daños irreparables al ecosistema, amenazar la salud pública y alterar los escenarios naturales de Espinar.

Reconociendo el impacto significativo de la minería en nuestra economía, invertir en tecnologías innovadoras y ecológicas que frenen los efectos ambientales adversos es beneficioso tanto para la humanidad como para el planeta.

### **3.2. Formulación del Problema**

#### **3.2.1. Problema general**

**PG:** ¿De qué manera influye la adición de relaves mineros a 5%,10% y 15% en el diseño de concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023?

#### **3.2.2. Problemas específicos**

**PE1:** ¿Cuál es la composición química en laboratorio de los relaves mineros de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023?

**PE2:** ¿Cómo incide la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  en las proporciones propuestas de 5%,10% y 15% en peso del material cementante de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023, en la consistencia del concreto?

**PE3:** ¿Cómo influye la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  en las proporciones propuestas de 5%,10% y 15% en peso del material cementante de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023, en la resistencia a la flexión?

**PE4:** ¿Cuál es la diferencia de costo de producción del concreto patrón (concreto estándar) y el concreto con adición de relaves mineros en las proporciones propuestas de 5%,10% y 15% en peso del material cementante de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023?

#### **4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **4.1. Objetivo General**

**OG:** Analizar la influencia de la adición de relaves mineros a 5%,10% y 15% en el diseño de concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023.

##### **4.2. Objetivos Específicos**

**OE1:** Determinar la composición química en laboratorio de los relaves mineros de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023.

**OE2:** Hallar la incidencia de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c= 210\text{ kg/cm}^2$  en las proporciones propuestas de 5%,10% y 15% en peso del material cementante de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023, en la consistencia del concreto.

**OE3:** Establecer la adición relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210\text{ kg/cm}^2$  en las proporciones propuestas de 5%,10% y 15% en peso del material cementante de las unidades mineras de Espinar -Cusco 2023, en la resistencia a la flexión.

**OE4:** Identificar el comparativo de costo de producción de concreto patrón (concreto estándar) y el concreto con adición de relaves mineros en las proporciones propuestas de 5%,10% y 15% en peso del material cementante de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023.

#### **5. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

##### **5.1. Antecedentes Empíricos de la Investigación (Estado del Arte)**

-Mercado y Reyna (2020) presentaron la tesis titulada: **“Influencia de los porcentajes de los relaves mineros en la resistencia a la compresión en bloques de concreto ensamblables, Trujillo 2019”**, Universidad Privada del Norte con objetivo de “determinar la influencia de los porcentajes de los relaves mineros en la resistencia a la compresión en bloques de concreto tipo ensamblables, Trujillo 2019”, bajo una metodología de diseño experimental concluyeron, que: al analizar los relaves mineros se descubrió que la

composición metálica no era perjudicial para el concreto debido a la ausencia de restos orgánicos y cloruros que provocan la degradación del concreto. Al realizar pruebas utilizando concreto elaborado con 50 % de Relaves Mineros como suplente del agregado fino, se observó que la resistencia a compresión era comparable a las dosificaciones estándar y superior a otros tratamientos. Como tal, es una excelente opción para la producción de BCE. Sin embargo, agregar relaves de mina en porcentajes de 46 y 56 % tiene un impacto adverso, disminuyendo la resistencia a compresión de concretos.

-Romero y Salinas (2020) presentaron la tesis: **“Estudio experimental del concreto para adoquines tipo II, adicionando relaves minero”**, Universidad Nacional de Agustín de Arequipa, que tiene como objetivo “determinar las propiedades físico-mecánicas de un adoquín tipo II para tránsito vehicular ligero, cuando se adiciona un porcentaje óptimo de relave minero del Pasivo ambiental Santa Cecilia en reemplazo del agregado fino”, bajo una metodología de diseño experimental concluyeron, que: después de experimentar con la adición de relaves de mina para reemplazar el agregado fino, los investigadores concluyeron que los adoquines de concreto con un porcentaje óptimo de relaves cumplen con los requisitos técnicos y económicos para su uso en la pavimentación de tráfico vehicular y peatonal. Esta alternativa es rentable y ecológica, lo que la convierte en una opción atractiva. Sin embargo, el estudio encontró que los adoquines con porcentajes de sustituto de relaves superiores al 10 % experimentaron una disminución en la resistencia, que está por debajo del requisito estándar mínimo.

-Huerta y León (2021) presentaron la investigación titulada: **“Análisis de la resistencia a la compresión del concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  aplicando relave minero, Huaraz 2021”** Universidad Cesar Vallejo, tiene objetivo de “determinar cómo influye el relave minero en la resistencia a la compresión de concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$ , Huaraz 2021”, bajo metodología tipo aplicada, enfoque cuantitativo y diseño experimental concluyeron, que: Después de 28 días de curado, se evaluó la resistencia de las piezas de prueba. La muestra estándar y las sustituciones de 0, 6, 12 y 25 % de relaves mineros por agregado fino excedieron la resistencia solicitada de  $f'c = 210 \text{ kg/centímetros al cuadrado}$  en 11 %, 16,20%, 4,80% y 19,50%, respectivamente. Sin embargo, el reemplazo del 50 % cayó un 2,60 % por debajo de la resistencia solicitada. El concreto normalmente obtiene el 99 % de resistencia de diseño después de 28 días de curado, pero las muestras evaluadas superaron este promedio. El

mayor índice de reemplazo de 12 % alcanzó el 118,5 % de la resistencia de diseño.

-Suarez (2022) presentó la investigación titulada: **“El relave minero como agregado del concreto en el diseño de mezcla en  $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$  al 5%,15%,25% en el centro poblado de Chicrin-2021”**, Universidad de Huánuco, tiene objetivo “determinar el comportamiento del concreto adicionándole en relave minero en el diseño de mezcla  $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$ , centro poblado de Chicrin-2021” bajo una metodología de enfoque cuantitativo, un nivel cuantitativo y un diseño experimental concluye que: De acuerdo con el diseño, los relaves mineros de la mina Chicrin, cuando se utilizan en los porcentajes recomendados, no afectan la trabajabilidad del concreto, a pesar de causar un asentamiento de 4 a 6 pulgadas. El patrón cilíndrico fue testigo de resistencia a compresión superior a  $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$ , no se vio afectada incluso con un mayor índice de relaves mineros utilizados en lugar de cemento.

## 5.2. Marco Conceptual

### -Análisis de precios unitarios

Es una técnica que ayuda a evaluar el desempeño de una tarea. Al utilizar este método, es posible establecer la cuantía de trabajo que se puede realizar en un día o al medir una unidad específica. (Calero, 2015, p. 13).

### -Análisis granulométrico

“Es la sencilla operación de separar una muestra de agregado en fracciones, cada una de las cuales consta de partículas del mismo tamaño” (Neville, 2013, p. 102).

### -Agregados

Son los materiales de relleno para hacer más económica la mezcla. Mitigan la formación de grietas durante el proceso de fraguado. Junto con la pasta y el proceso de hidratación, permiten el desarrollo de la resistencia con la edad (Matallana, 2019, p. 24).

### -Agua

La elaboración del concreto se basa en el agua como elemento crucial. Las propiedades del concreto endurecido final, como la trabajabilidad y resistencia, están íntimamente ligadas a la calidad del agua utilizada en la mezcla (Castillo, 2009, p.21).

### **-Calidad del relave**

Los relaves están compuestos por sulfuros polimetálicos y tienen una concentración importante de cobre, hierro, zinc, plomo, arsénico y cadmio. Por su composición, los relaves tienen el potencial de generar aguas ácidas (Romero & Flores, 2010, p. 3).

### **-Cemento Portland**

Brinda una definición de cemento como una sustancia que tiene una capacidad excepcional para pegar y fusionar fragmentos minerales, creando una entidad sólida y cohesiva” (Neville, 2013, p.1).

### **-Concreto**

La composición de la mezcla incluye cemento Portland, agregado grueso, fino y agua. Para asegurar la consistencia óptima de la mezcla, la pasta de cemento debe cubrir completamente el agregado grueso mientras que el fino ocupa cada espacio entre el agregado grueso, y ambos están cubiertos por la pasta (Castillo, 2009, p. 12).

### **-Consistencia**

Plantea que el primordial factor que incide en el nivel de humedad de una mezcla es la cuantía de agua utilizada (Castillo, 2009, p. 47).

### **-Costo directo**

Se incurre en costos directos durante la producción o construcción de un producto. Estos comprenden el costo de mano de obra, maquinaria utilizada, y los materiales empleados a efectos de fabricación directa del producto (Eyzaguirre, 2010, p. 17).

### **-Curado para el concreto**

“El curado es el acto de evitar que el concreto se seque demasiado rápido. Esto se logra manteniendo una temperatura óptima durante un tiempo determinado. (Niño, 2010, p. 123)

### **-Diseño de mezcla del concreto**

Es un proceso que permite determinar la combinación más práctica y económica de materiales disponibles para producir un concreto que satisfaga sus requerimientos bajo condiciones particulares de uso (Niño, 2010, p. 183).

### **-Durabilidad del concreto**

Es la habilidad para resistir la acción del medio ambiente, los ataques químicos y biológicos, la abrasión o cualquier otro proceso de deterioro (Matallana, 2019, p. 124).

#### **-Relave**

El relave es un sólido finamente molido, que se descarta en operaciones mineras (Servicio Nacional de Geología y Minería, s.f.) .

#### **-Resistencia a la compresión**

Son los esfuerzos de rotura del concreto, medido como la media de resistencia de 2 cilindros estándar (150 milímetros de diámetro) o 3 cilindros de 100 mm de diámetro, medidos durante 28 días o menor (Matallana, 2019, p. 116).

#### **-Resistencia a la flexión o Módulo de rotura (MR)**

La resistencia a la flexión del concreto, más conocida como módulo de rotura (MR), es un factor importante en estructuras de concreto simple, tales como las losas de pavimento y los pisos industriales. Se evalúa sometiendo una vigueta estándar de concreto a flexión, cargada en el tercio medio (Matallana, 2019, p. 122).

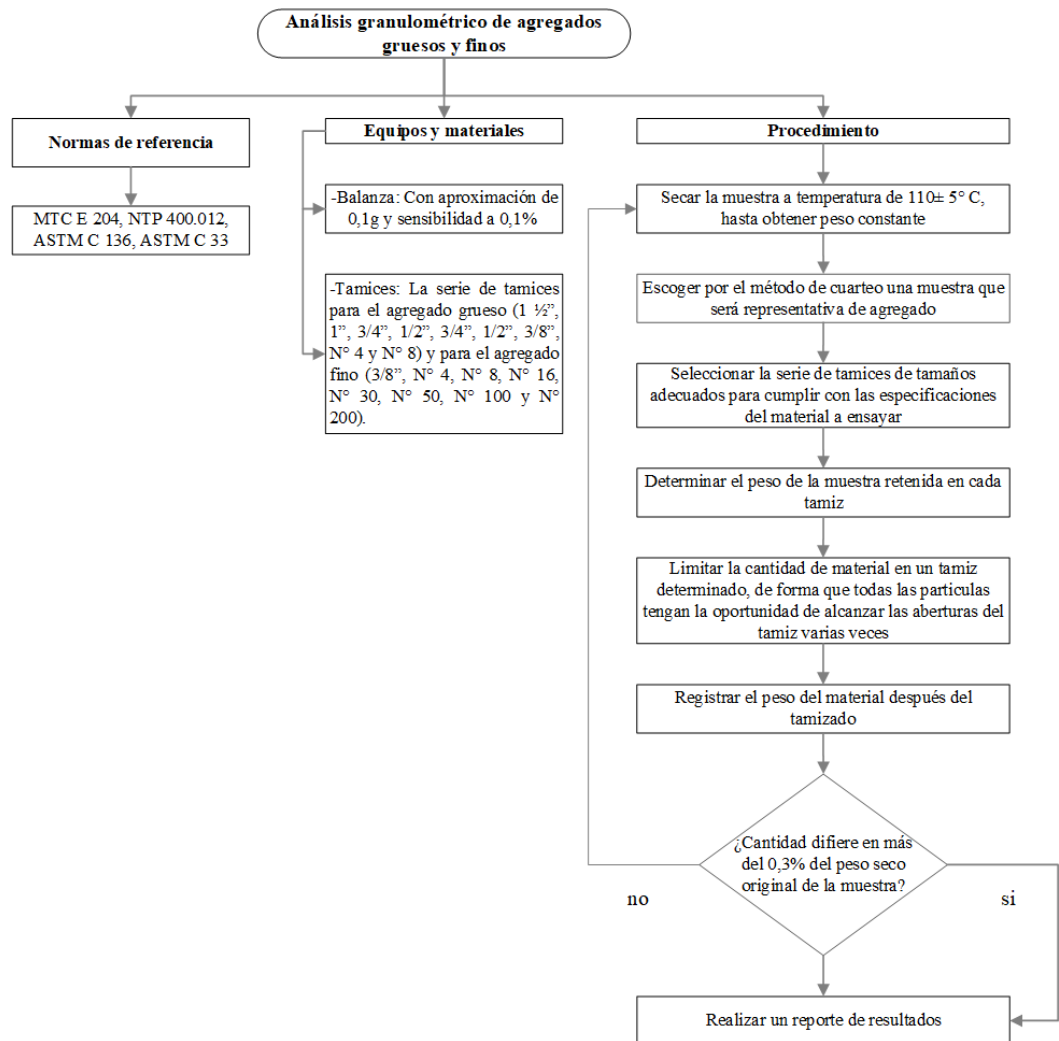
#### **-Trabajabilidad**

Es una condición conveniente para que el concreto fresco se mezcle, vierta, compacte y termine sin segregación ni filtraciones a lo largo de estas operaciones (Castillo, 2009, p. 47)

## 5.3. Ensayos para Agregados Pétreos

### 5.3.1. Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos

Figura 1  
Diagrama de ensayo de granulometría



Fuente: Elaboración Propia

Para los requerimientos del tamizado en el agregado grueso de cantera de río Apurímac se utilizará siguiente Tabla 1:

Tabla 1

*Requerimientos de tamizado en agregados gruesos*

| Número de Tamaño | Tamaño Nominal (Tamices con abertura cuadrada) | Cantidades más finas que Cada Tamiz de Laboratorio (Abertura Cuadrada), Porcentaje Masa |                 |                    |                   |                 |                 |                  |
|------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------|-------------------|-----------------|-----------------|------------------|
|                  |                                                | 25mm (1 pulg)                                                                           | 19mm (3/4 pulg) | 12.5 mm (1/2 pulg) | 9.5 mm (3/8 pulg) | 4.75 mm (No. 4) | 2.36 mm (No. 8) | 1.18 mm (No. 16) |
| 1                | 90 a 37.5mm                                    | ...                                                                                     | 0 a 5           | ...                | ...               | ...             | ...             | ...              |
| 2                | 63 a 37.5 mm                                   | ...                                                                                     | 0 a 5           | ...                | ...               | ...             | ...             | ...              |
| 3                | 50 a 25 mm                                     | 0 a 15                                                                                  | ...             | 0 a 5              | ...               | ...             | ...             | ...              |
| 357              | 50 a 4.75mm                                    | 35 a 70                                                                                 | ...             | 10 a 30            | ...               | 0 a 5           | ...             | ...              |
| 4                | 37.5 a 19 mm                                   | 20 a 55                                                                                 | 0 a 15          | ...                | 0 a 5             | ...             | ...             | ...              |
| 467              | 37.5 a 4.75 mm                                 | ...                                                                                     | 35 a 70         | ...                | 10 a 30           | 0 a 5           | ...             | ...              |
| 5                | 25 a 12.5 mm                                   | 90 a 100                                                                                | 20 a 55         | 0 a 10             | 0 a 5             | ...             | ...             | ...              |
| 56               | 25 a 9.5 mm                                    | 90 a 100                                                                                | 40 a 85         | 10 a 40            | 0 a 15            | 0 a 5           | ...             | ...              |
| 57               | 25 a 4.75 mm                                   | 95 a 100                                                                                | ...             | 25 a 60            | ...               | 0 a 10          | 0 a 5           | ...              |
| 6                | 19 a 9.5mm                                     | 100                                                                                     | 90 a 100        | 20 a 55            | 0 a 15            | 0 a 5           | ...             | ...              |
| 67               | 19 a 4.75 mm                                   | 100                                                                                     | 90 a 100        | ...                | 20 a 55           | 0 a 10          | 0 a 5           | ...              |
| 7                | 12.5 a 4.745 mm                                | ...                                                                                     | 100             | 90 a 100           | 40 a 70           | 0 a 15          | 0 a 5           | ...              |
| 8                | 9.5 a 2.36 mm                                  | ...                                                                                     | ...             | ...                | 85 a 100          | 10 a 30         | 0 a 5           | 0 a 5            |

Fuente: Ajustado. Desarrollado por el comité de la Norma ASTM C 33-03

Para los requerimientos del tamizado en el agregado fino de cantera de río Apurímac se utilizará siguiente Tabla 2:

Tabla 2

*Requerimientos de tamizado en agregados finos*

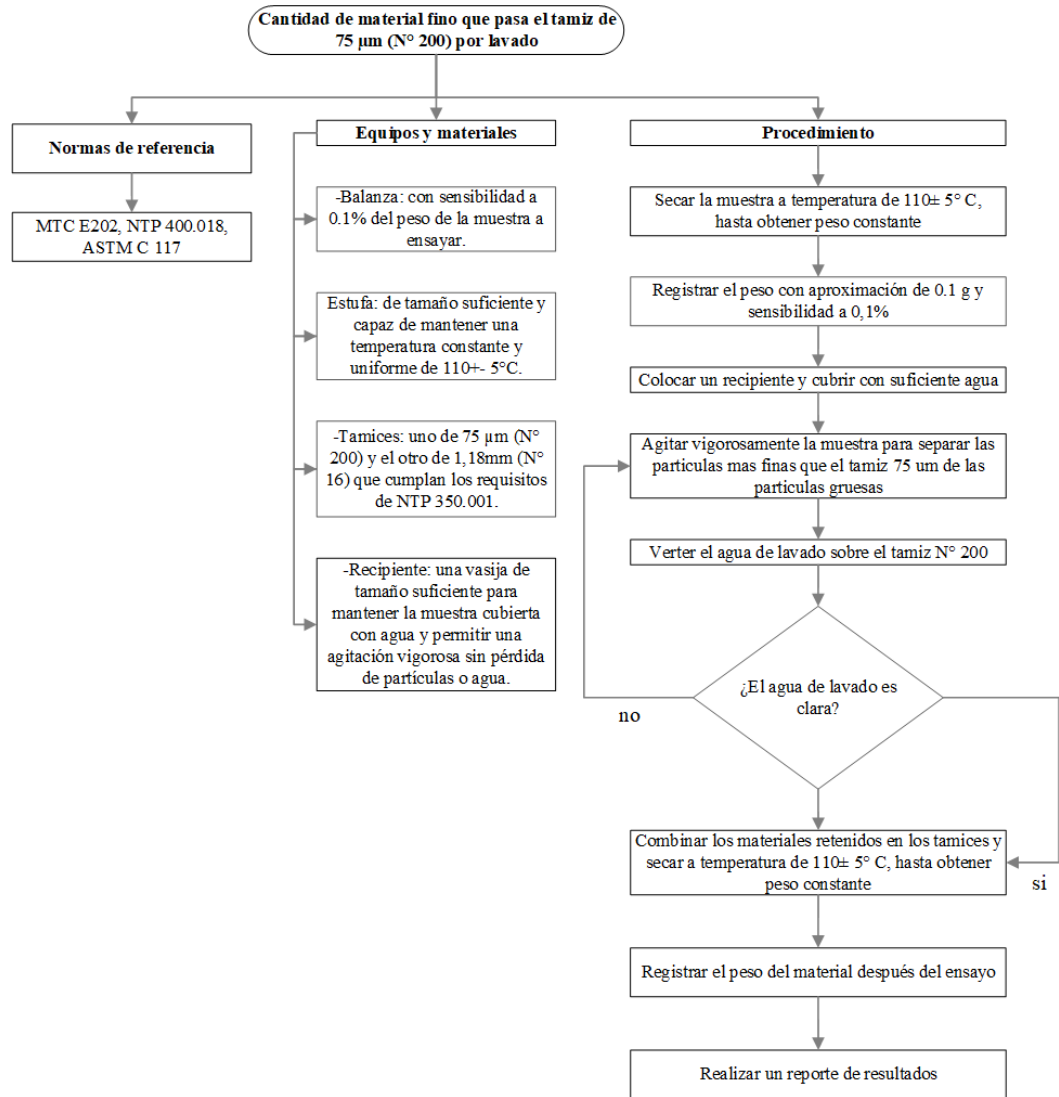
| Tamiz (Especificación E 11) | Porcentaje Pasando (%) |
|-----------------------------|------------------------|
| 9.5 mm (3/8 in)             | 100                    |
| 4.75mm (No. 4)              | 95 a 100               |
| 2.36mm (No. 8)              | 80 a 100               |
| 1.18mm (No. 16)             | 50 a 85                |
| 600µm (No. 30)              | 25 a 60                |
| 300µm (No. 50)              | 5 a 30                 |
| 150µm (No. 100)             | 0 a 10                 |

Fuente: Ajustado. Desarrollado por el comité de la Norma ASTM C 33-03

### 5.3.2. Cantidad de material fino que pasa el tamiz de 75 µm (N° 200)

Figura 2

Diagrama de ensayo malla N° 200



Fuente: Elaboración Propia

La cantidad de material que pasa el tamiz de 75 µm (N° 200) por lavado con agua se determina con las siguientes ecuaciones:

$$E = A - D \quad \text{Ecuación 5.1}$$

$$F = \frac{E}{A} \quad \text{Ecuación 5.2}$$

Donde:

A= Peso del material seco antes del lavado, en gr.

D= Peso del material seco después del lavado, en gr.

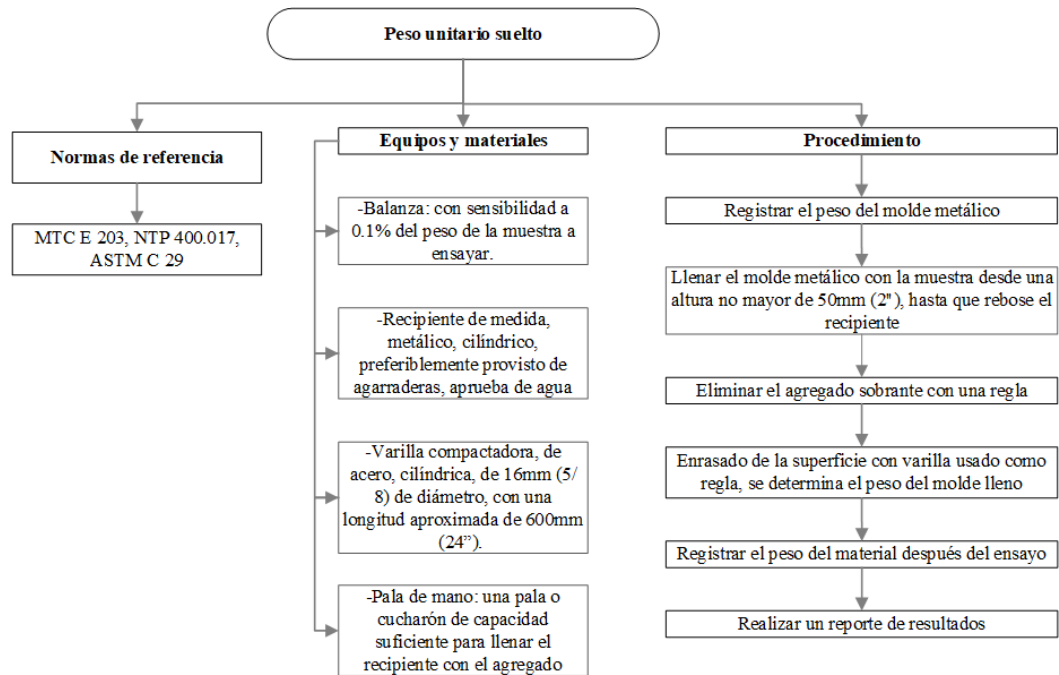
E= Peso del material filtrado seco, en gr.

F= Porcentaje de material fino que pasa el tamiz N° 200, en %

### 5.3.3. Pesos unitarios y vacíos de los agregados

Figura 3

Diagrama de peso unitario suelto



Fuente: Elaboración Propia

El peso unitario suelto se determina con las siguientes ecuaciones:

$$C = A - B \quad \text{Ecuación 5.3}$$

$$E = \frac{C}{D} \quad \text{Ecuación 5.4}$$

Donde:

A= Peso del material más peso del molde, en gr.

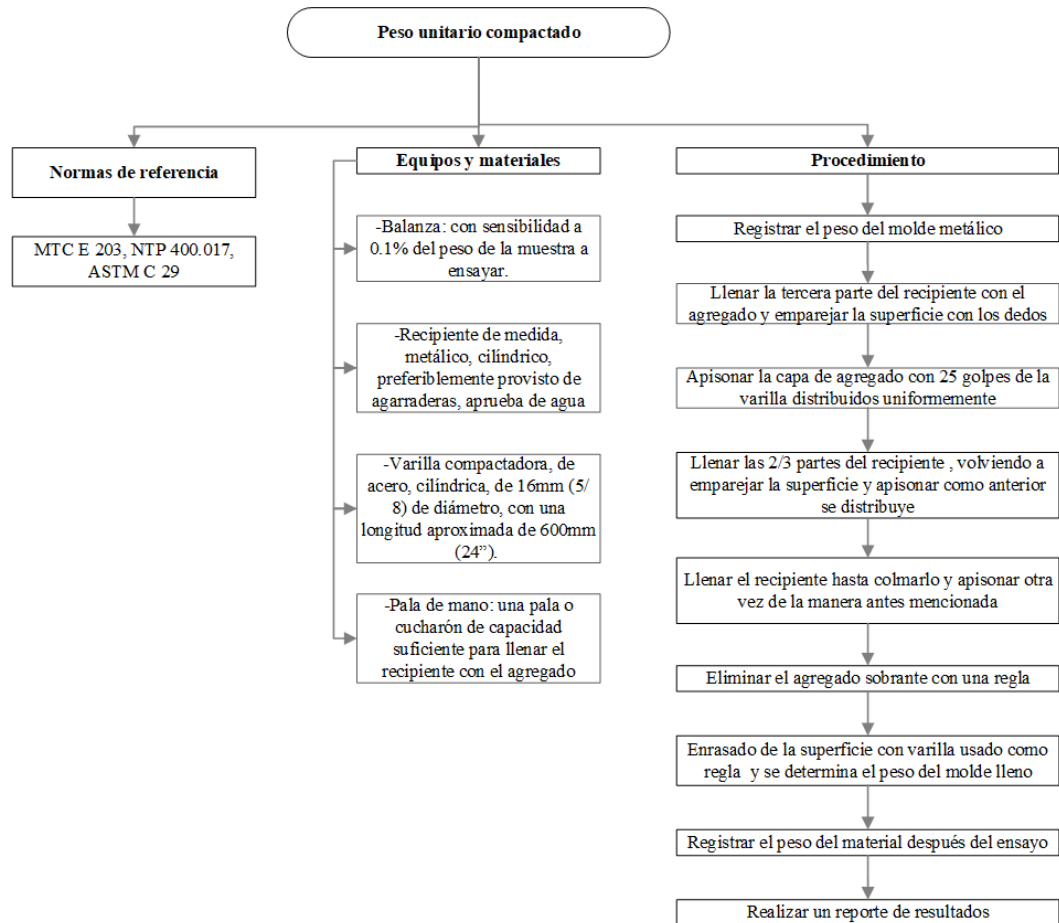
B= Peso del molde, en gr.

C= Peso del material, en gr.

D= Volumen del molde, en cm<sup>3</sup>

E= Peso unitario suelto, en gr./cm<sup>3</sup>

Figura 4  
Diagrama de peso unitario compactado



Fuente: Elaboración Propia

El peso unitario suelto se determina con la siguiente ecuación:

$$C = A - B \quad \text{Ecuación 5.5}$$

$$E = \frac{C}{D} \quad \text{Ecuación 5.6}$$

Donde:

A= Peso del material más peso del molde, en gr.

B= Peso del molde, en gr.

C= Peso del material, en gr.

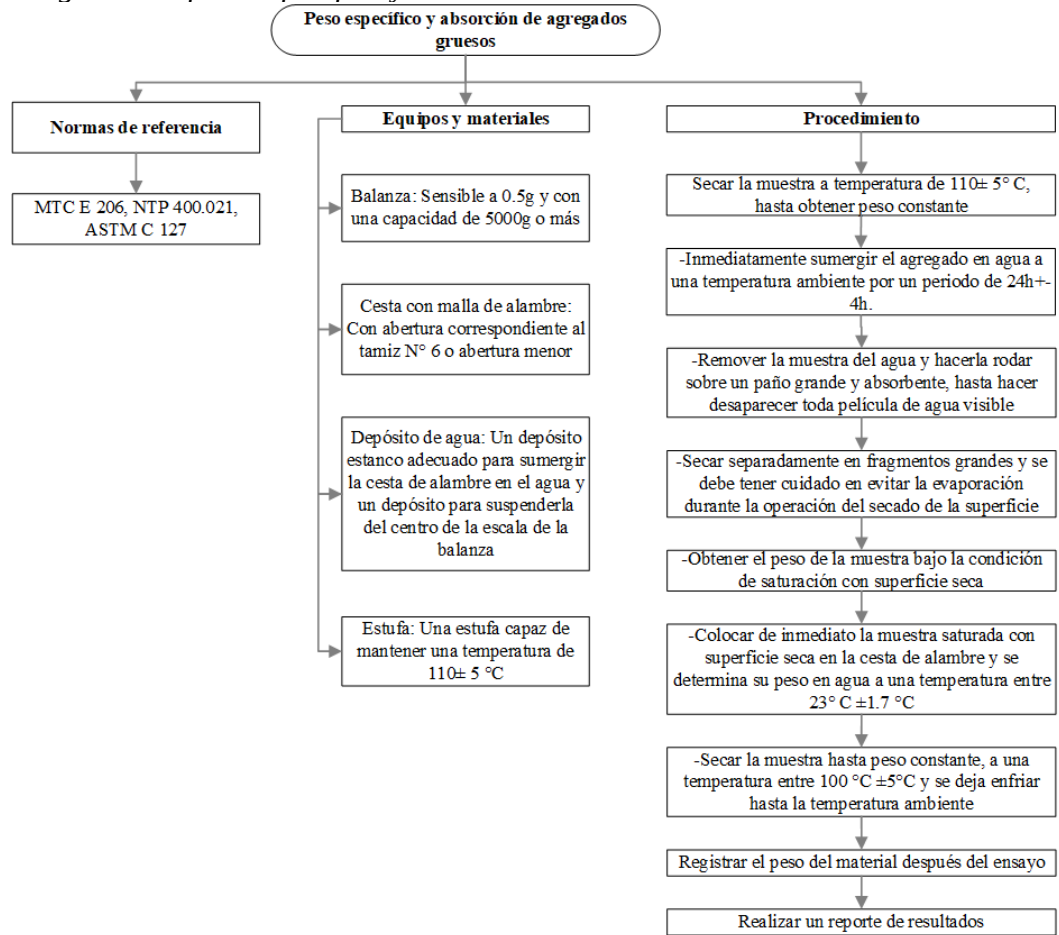
D= Volumen del molde, en cm<sup>3</sup>

E= Peso unitario compactado, en gr./cm<sup>3</sup>

### 5.3.4. Peso específico y absorción de agregados gruesos

Figura 5

Diagrama de peso específico y absorción



Fuente: Elaboración Propia

El peso específico de masa (Pem) se determina con la siguiente ecuación:

$$P_{em} = \frac{A}{(B-C)} \times 100 \quad \text{Ecuación 5.7}$$

Donde:

A=Peso de la muestra seca en el aire, en gr.

B=Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire, en gr.

C=Peso en el agua de la muestra saturada, en gr.

La absorción se determina con la siguiente ecuación:

$$A_b = \frac{B-A}{A} \times 100 \quad \text{Ecuación 5.8}$$

Donde:

$A_b$ = Absorción, en %

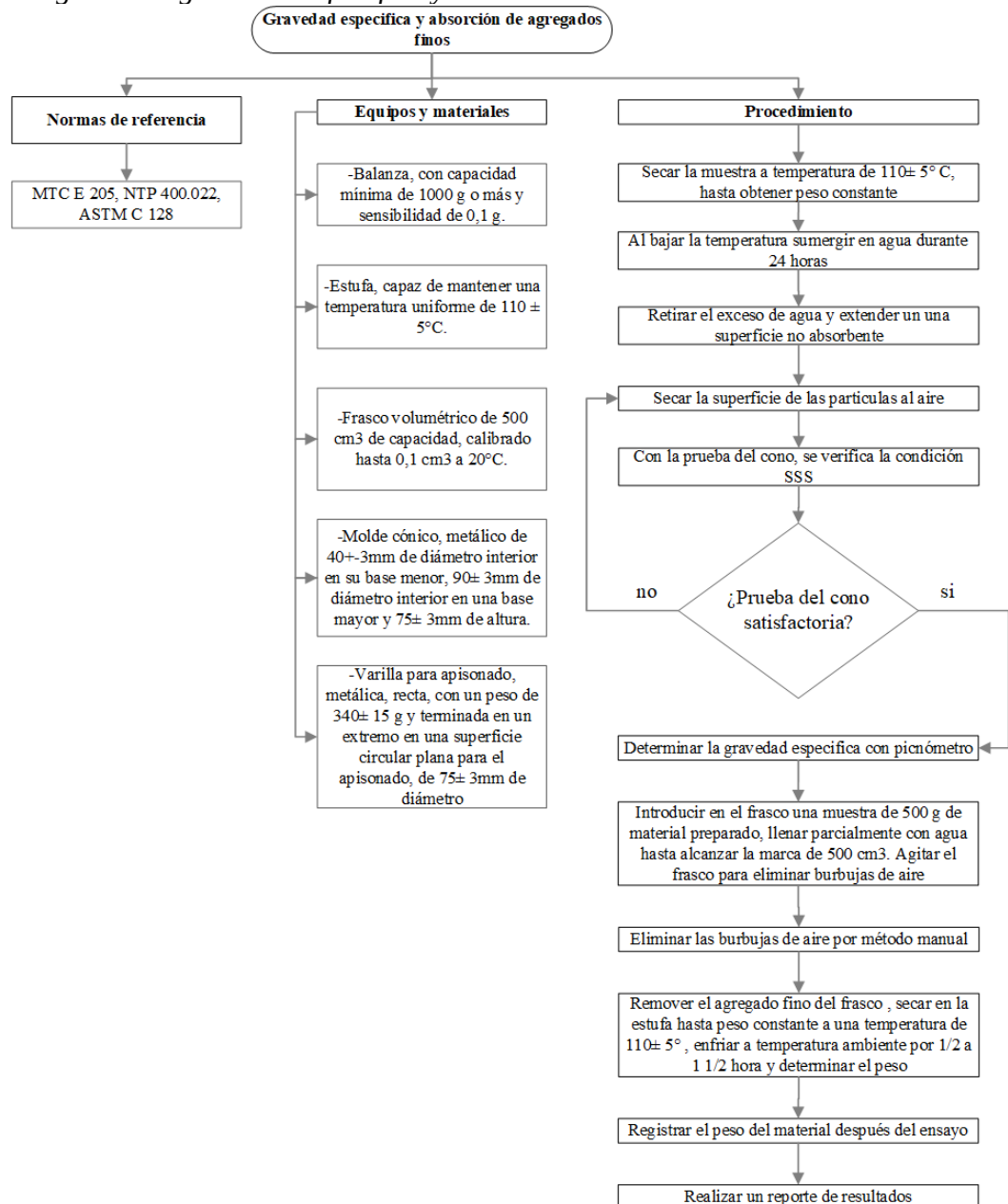
B=Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire, en gr.

A=Peso de la muestra seca en el aire, en gr.

### 5.3.5. Gravedad específica y absorción de agregados finos

Figura 6

Diagrama de gravedad específica y absorción



Fuente: Elaboración Propia

La gravedad específica aparente, gravedad específica aparente saturada y gravedad específica nominal se determina con las siguientes ecuaciones:

$$H = \frac{D}{E+G-F} \quad \text{Ecuación 5.9}$$

$$I = \frac{G}{E+G-F} \quad \text{Ecuación 5.10}$$

$$J = \frac{D}{E+D-F} \quad \text{Ecuación 5.11}$$

Donde:

D= Peso de la muestra seca en el horno, en gr.

E= Peso del picnómetro más agua hasta la marca, en gr.

F= Peso del picnómetro con agua más peso de la muestra saturada con superficie seca, en gr.

G= Peso de la muestra saturada con superficie seca, en gr.

H= Gravedad específica aparente, en gr/cm<sup>3</sup>

I= Gravedad específica aparente saturada, en gr/cm<sup>3</sup>

J= Gravedad específica nominal, en gr/cm<sup>3</sup>

La absorción se determina con la siguiente ecuación:

$$K = G - D \quad \text{Ecuación 5.12}$$

$$A_b = \frac{K}{D} \times 100 \quad \text{Ecuación 5.13}$$

Donde:

D= Peso de la muestra seca en el horno, en gr.

G= Peso de la muestra saturada con superficie seca, en gr.

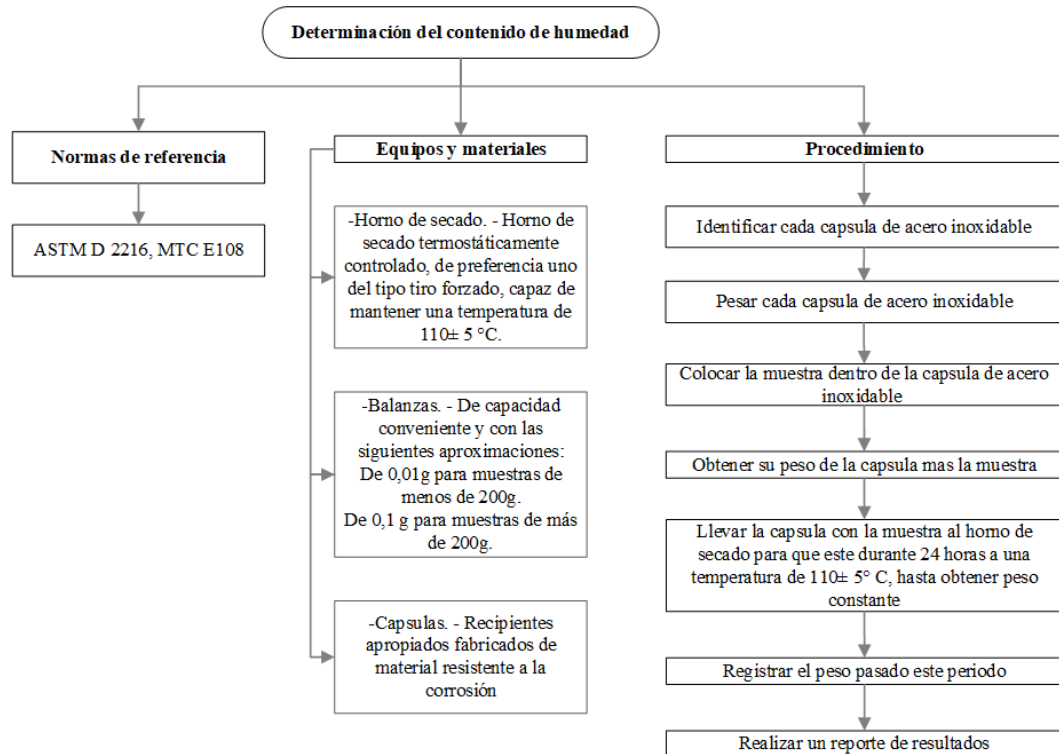
K= Peso del agua absorbida, en gr.

A<sub>b</sub>= Porcentaje de absorción, en %

### 5.3.6. Determinación del contenido de humedad

Figura 7

Diagrama de contenido de humedad



Fuente: Elaboración Propia

El contenido de humedad se determina con la siguiente ecuación:

$$W = \frac{Pa}{Pms} \times 100 \quad \text{Ecuación 5.14}$$

Donde:

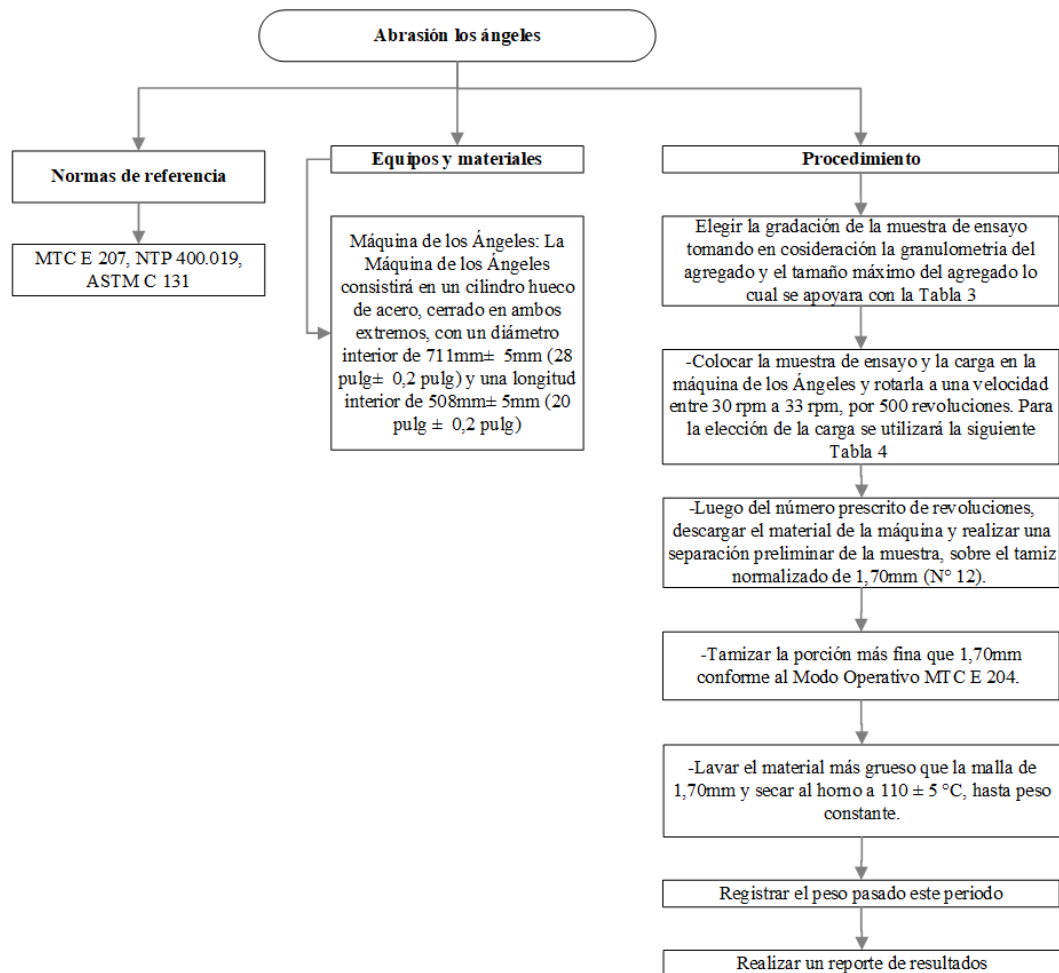
Pa= Peso del agua, en gr.

G= Peso de la muestra seca, en gr.

W= Contenido de humedad, en %.

### 5.3.7. Abrasión los ángeles (l.a.) al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5mm (1 ½")

Figura 8  
Diagrama de abrasión los Ángeles



Fuente: Elaboración Propia

Para elegir la gradación de la muestra de ensayo tomando en consideración la granulometría del agregado y el tamaño máximo del agregado grueso, para lo cual se apoyó con la siguiente Tabla 3 que se muestra a continuación:

Tabla 3  
*Gradación de las muestras de ensayo*

| Masa del tamiz |                | Masa de tamaño indicado (g) |          |          |          |
|----------------|----------------|-----------------------------|----------|----------|----------|
| Que pasa       | Retenido sobre | Gradación                   |          |          |          |
|                |                | A                           | B        | C        | D        |
| 37.5mm (1 ½")  | 25.0 mm (1")   | 1250 ±25                    | -        | -        | -        |
| 25.0mm (1")    | 19.0mm (¾")    | 1250 ±25                    | -        | -        | -        |
| 19.0mm (¾")    | 12.5mm (½")    | 1250 ±25                    | 2500±10  | -        | -        |
| 12.5mm (½")    | 9.5mm (¾")     | 1250 ±25                    | 2500±10  | -        | -        |
| 9.5mm (¾")     | 6.3mm (¼")     | -                           | -        | 2500±10  | -        |
| 6.3mm (¼")     | 4.75mm (N° 4)  | -                           | -        | 2500±10  | -        |
| 4.75mm (N° 4)  | 2.36mm (N° 8)  | -                           | -        | .        | 5000±10  |
| Total          |                | 5000 ±10                    | 5000 ±10 | 5000 ±10 | 5000 ±10 |

Fuente: Ajustado: Manual Ensayo de Materiales, MTC-2016

Para la elección de la masa de carga y número de esferas para el ensayo en la máquina de los ángeles se apoyó con la siguiente Tabla 4 que se muestra a continuación:

Tabla 4  
*Carga a usar según el tipo de gradación de la muestra*

| Gradación | Número de esferas | Masa de la carga (g) |
|-----------|-------------------|----------------------|
| A         | 12                | 5000 ±25             |
| B         | 11                | 4587±25              |
| C         | 8                 | 3330±20              |
| D         | 6                 | 2500±15              |

Fuente: Ajustado: Manual Ensayo de Materiales, MTC-2016

El porcentaje de desgaste de la muestra se determina con la siguiente ecuación:

$$D = \left( \frac{P_i - P_f}{P_i} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación 5.15}$$

Donde:

P<sub>i</sub>= Peso del material seco antes del ensayo, en gr.

P<sub>f</sub>= Peso del material después del ensayo, en gr.

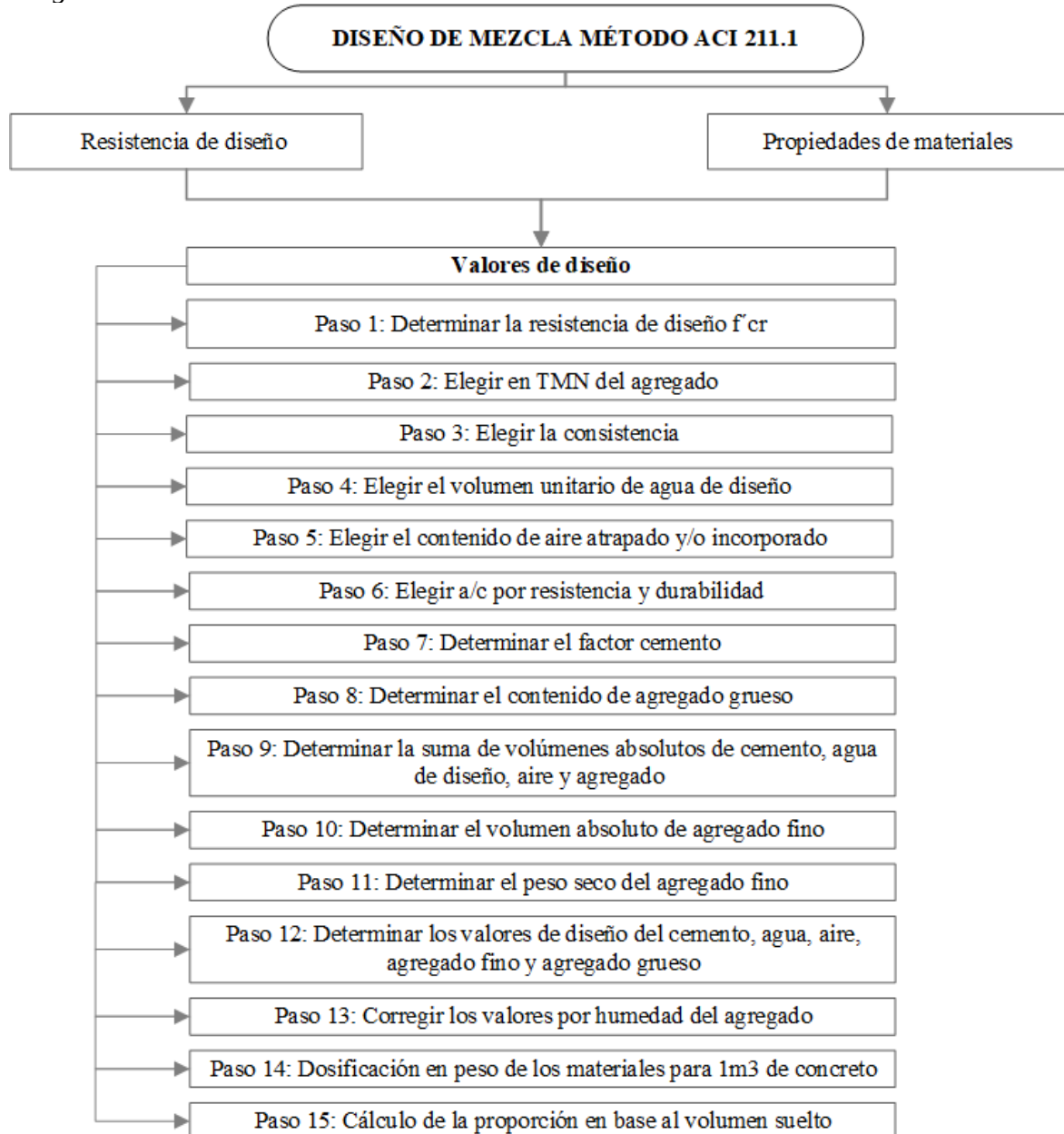
D= Porcentaje de desgaste, en %

#### 5.4. Elaboración del Diseño de Mezcla de Concreto (Método ACI 211.1)

Para el desarrollo del diseño de mezcla del concreto  $f'_c=210\text{kg/cm}^2$  con adición de relaves mineros se siguió los pasos de la Figura 9 que sugiere el ACI 211.1. el cual es muy comprensible y de fácil interpretación de los distintos materiales que componen la mezcla y estas deben estar referenciados a un metro cúbico de concreto.

Figura 9

*Diagrama de diseño de mezcla método ACI 211.1*



Fuente: Elaboración Propia

### Paso 1: Determinar la resistencia de diseño $f'_{cr}$

El paso 1 que dice el ACI 211.1 es que se debe determinar la resistencia de promedio de diseño, para ello se utilizó la siguiente Tabla 5 que sirvió de mucho apoyo para el desarrollo de esta investigación la cual está en función de la resistencia especificada y es utilizada cuando los registros de ensayos previos sean menores a 15.

Tabla 5

*Resistencia requerida de diseño cuando no hay datos que permiten determinar la desviación estándar*

| Resistencia especificada $f'_c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia de diseño de la mezcla $f'_{cr}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Menos de 210 kg/cm <sup>2</sup>                       | $f'_c + 70$ kg/cm <sup>2</sup>                                        |
| De 210 kg/cm <sup>2</sup> a 350 kg/cm <sup>2</sup>    | $f'_c + 84$ kg/cm <sup>2</sup>                                        |
| Más de 350 kg/cm <sup>2</sup>                         | $f'_c + 100$ kg/cm <sup>2</sup>                                       |

Fuente: Ajustado: Desarrollado por el comité de la Norma ACI 318 y NSR-98

### Paso 2: Elegir en TMN del agregado

El paso 2 que dice el ACI 211.1 es que se debe de seleccionar el tamaño máximo nominal, la cual este resultado se obtuvo del análisis granulométrico que se realizó en el laboratorio.

### Paso 3: Elegir la consistencia

El paso 3 que dice el ACI 211.1 es que se debe de seleccionar el asentamiento apropiado que se tiene de elegir puesto que está en función del tipo de construcción que se realizará, para ello se utilizó la siguiente Tabla 6 y Tabla 7.

Tabla 6

*Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción*

| Tipos de construcción                                    | Revenimiento, pulg |        |
|----------------------------------------------------------|--------------------|--------|
|                                                          | Máximo*            | Mínimo |
| Zapatas y muros de cimentación armados                   | 3"                 | 1"     |
| Cimentaciones simples, cajones y subestructuras de muros | 3"                 | 1"     |
| Vigas y muros armados                                    | 4"                 | 1"     |
| Columnas de edificios                                    | 4"                 | 1"     |
| Losas y pavimentos                                       | 3"                 | 1"     |
| Concreto ciclópeo                                        | 2"                 | 1"     |

Fuente: Ajustado. Desarrollado por el comité de la Norma ACI 211.1

Tabla 7

*Valores recomendados de asentamiento para diversas clases de construcción*

| <b>Asentamiento (pulgadas)</b> | <b>Consistencia</b> | <b>Grado de trabajabilidad</b> | <b>Tipo de estructura y condiciones de colocación</b>                                                                          |
|--------------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0" a 1"                        | Muy seca            | Muy bajo                       | Vigas o pilotes de alta resistencia con vibración de encofrado                                                                 |
| 1" a 1 ½"                      | Seca                | Bajo                           | Pavimentos vibrados con maquinaria mecánica                                                                                    |
| 1 ½" a 2"                      | Semi-seca           | Bajo                           | Construcciones masivas. Losas medianamente reforzadas con vibración. Fundaciones en concreto simple. Pavimentos con vibradores |
| 2" a 4"                        | Media               | Medio                          | Losas medianamente reforzadas y pavimentos compactados manualmente. Columnas, vigas, fundaciones y muros con vibración         |
| 4" a 6"                        | Húmeda              | Alto                           | Secciones con mucho refuerzo. Trabajos donde la colocación sea difícil. Revestimiento de túneles.                              |

Fuente: Ajustado. Desarrollado por el comité de la Norma ACI 211.1

#### **Paso 4: Elegir el volumen unitario de agua de diseño**

El paso 4 que dice el ACI 211.1 es que se debe de estimar el contenido de agua de mezclado para ello se apoyó en la Tabla 8 para obtener este valor, la cual está en función al TMN , asentamiento y la inclusión del aire y recoger la siguiente consideración del autor.

La cantidad de agua en esta Tabla 8, asume que los agregados son lisos y no absorbentes.

Tabla 8

*Volumen unitario de agua*

| <b>Asentamiento</b>                   | <b>Agua en l/m<sup>3</sup>. Para los TMN de agregado grueso y consistencia indicados</b> |      |      |     |        |     |     |     |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|-----|--------|-----|-----|-----|
|                                       | 3/8"                                                                                     | 1/2" | 3/4" | 1"  | 1 1/2" | 2"  | 3"  | 6"  |
| <b>Concretos sin aire incorporado</b> |                                                                                          |      |      |     |        |     |     |     |
| 1" a 2"                               | 207                                                                                      | 199  | 190  | 179 | 166    | 154 | 130 | 113 |
| 3" a 4"                               | 220                                                                                      | 216  | 203  | 193 | 181    | 169 | 143 | 124 |
| 6" a 7"                               | 243                                                                                      | 228  | 216  | 202 | 190    | 178 | 160 | ... |
| <b>Concreto con aire incorporado</b>  |                                                                                          |      |      |     |        |     |     |     |
| 1" a 2"                               | 181                                                                                      | 175  | 168  | 160 | 150    | 142 | 122 | 107 |
| 3" a 4"                               | 202                                                                                      | 193  | 184  | 175 | 165    | 157 | 133 | 119 |
| 6" a 7"                               | 216                                                                                      | 205  | 197  | 184 | 174    | 166 | 154 | ... |

Fuente: Ajustado. Desarrollado por el comité de la Norma ACI 211.1

#### **Paso 5: Elegir el contenido de aire atrapado y/o incorporado**

El paso 5 que dice el ACI 211.1 es que se debe de estimar el contenido de aire para ello se apoyó en la Tabla 9 para obtener este valor, la cual está en función al TMN.

Tabla 9

*Cantidad aproximada de aire esperado en concreto sin aire incluido y niveles de aire incluido para diferentes tamaños máximos de agregado*

| Tamaño máximo nominal del agregado |       | Contenido de aire en porcentaje (por volumen) |                   |                     |                   |
|------------------------------------|-------|-----------------------------------------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| mm                                 | pulg. | Naturalmente atrapado                         | Exposición ligera | Exposición moderada | Exposición severa |
| 9.51                               | 3/8   | 3.0                                           | 4.5               | 6.0                 | 7.5               |
| 12.7                               | 1/2   | 2.5                                           | 4.0               | 5.5                 | 7.0               |
| 19.0                               | ¾     | 2.0                                           | 3.5               | 5.0                 | 6.0               |
| 25.4                               | 1     | 1.5                                           | 3.0               | 4.5                 | 6.0               |
| 38.1                               | 1 1/2 | 1.0                                           | 2.5               | 4.5                 | 5.5               |
| 50.8                               | 2     | 0.5                                           | 2.0               | 4.0                 | 5.0               |
| 76.1                               | 3     | 0.3                                           | 1.5               | 3.5                 | 4.5               |
| 152.0                              | 6     | 0.2                                           | 1.0               | 3.0                 | 4.0               |

Fuente: Ajustado. Desarrollado por el comité de la Norma ACI 211.1 y del ACI 318.

### Paso 6: Elegir a/c por resistencia

El paso 6 que dice el ACI 211.1 es que se debe de seleccionar la relación agua-cemento para ello se apoyó en la Tabla 10 y Tabla 11 para obtener este valor, la cual está en función de la resistencia y la durabilidad del concreto. Es necesario determinar primero la a/c por resistencia de la Tabla 11 y luego por durabilidad de la Tabla 11 , para luego elegir el menor de estos.

Tabla 10

*Relación agua/cemento por resistencia.*

| Relación agua/cemento por Resistencia |                               |                               |
|---------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| f'c (kg/cm²)                          | Relación agua/cemento en peso |                               |
|                                       | Concreto sin aire incorporado | Concreto con aire incorporado |
| 150                                   | 0.80                          | 0.71                          |
| 200                                   | 0.70                          | 0.61                          |
| 250                                   | 0.62                          | 0.53                          |
| 300                                   | 0.55                          | 0.46                          |
| 350                                   | 0.48                          | 0.40                          |
| 400                                   | 0.43                          | ...                           |
| 450                                   | 0.38                          | ...                           |

Fuente: Ajustado. Desarrollado por el comité de la Norma ACI 211.1

Tabla 11

*Relación agua/cemento por durabilidad.*

| Exposición a sulfatos | Sulfato soluble en agua (SO <sub>4</sub> ), presente en el suelo, % en peso | Sulfato (SO <sub>4</sub> ) en agua ppm | Tipo de cemento                                  | Concreto con agregado de peso normal. Máxima a/c, en peso | Concreto con agregado de peso normal y ligero, Mínima a f'c (kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Despreciable          | 0.00<SO <sub>4</sub> <0.10                                                  | 0<SO <sub>4</sub> <150                 | -                                                | -                                                         | -                                                                                  |
| Moderado              | 0.10<SO <sub>4</sub> <0.20                                                  | 150<SO <sub>4</sub> <1500              | II, IP(MS), IS(MS), P(MS), I(PM)(MS), I(SM) (MS) | 0.5                                                       | 280                                                                                |
| Severo                | 0.20<SO <sub>4</sub> <2.00                                                  | 1500<SO <sub>4</sub> <10000            | V                                                | 0.45                                                      | 310                                                                                |
| Muy severo            | SO <sub>4</sub> >2.00                                                       | SO <sub>4</sub> >10000                 | V más puzolana                                   | 0.45                                                      | 310                                                                                |

Fuente: Ajustado. Desarrollado por el comité de la Norma ACI 211.1

### Paso 7: Determinar el factor cemento

El paso 7 que dice el ACI 211.1 es que se debe de calcular el contenido de cemento para ello se utilizó la siguiente ecuación que está en función del contenido de agua de mezclado y la relación agua-cemento para obtener este valor.

Se determina el contenido de cemento mediante la siguiente ecuación:

$$C = \frac{A}{(A/C)} \quad \text{Ecuación 5.16}$$

Donde:

C = Contenido de cemento, en kg.

A = Requerimiento de agua de mezclado, en kg.

A/C = Relación agua-cemento, por peso

### Paso 8: Determinar el contenido de agregado grueso

El paso 7 que dice el ACI 211.1 es que se debe de seleccionar el volumen de agregado grueso para ello se apoyó en la Tabla 12 para obtener este valor, lo cual está en base a su TMN y al módulo de fineza del agregado fino. No toma en cuenta la resistencia deseada ni tampoco el perfil de los agregados.

Para la determinación del peso del agregado grueso se debe de utilizar la siguiente ecuación que está en base al volumen de agregado grueso obtenido de la Tabla 13 y el peso unitario compactado obtenido en laboratorio.

Tabla 12

*Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto*

| Volumen de agregado grueso, seco y compactado con varilla (a), por volumen de concreto para diferentes módulos de finura de la arena (b) |       |                              |      |      |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------------------------|------|------|------|
| Tamaño máximo nominal del agregado                                                                                                       |       | Módulo de finura de la arena |      |      |      |
| mm                                                                                                                                       | pulg  | 2.40                         | 2.60 | 2.80 | 3.00 |
| 9.51                                                                                                                                     | 3/8   | 0.50                         | 0.48 | 0.46 | 0.44 |
| 12.7                                                                                                                                     | 1/2   | 0.59                         | 0.57 | 0.55 | 0.53 |
| 19.0                                                                                                                                     | 3/4   | 0.66                         | 0.64 | 0.62 | 0.60 |
| 25.4                                                                                                                                     | 1     | 0.71                         | 0.69 | 0.67 | 0.65 |
| 38.1                                                                                                                                     | 1 1/2 | 0.75                         | 0.73 | 0.71 | 0.69 |
| 50.8                                                                                                                                     | 2     | 0.78                         | 0.76 | 0.74 | 0.72 |
| 76.1                                                                                                                                     | 3     | 0.82                         | 0.80 | 0.78 | 0.76 |
| 152.0                                                                                                                                    | 6     | 0.87                         | 0.85 | 0.83 | 0.81 |

Fuente: Ajustado. Desarrollado por el comité de la Norma ACI 211.1

$$[\text{Peso Ag. Grueso}] = [\text{Vol. Ag. Grueso}] \times [\text{Peso unitario compacto}] \quad \text{Ecuación 5.17}$$

**Paso 9: Determinar la suma de volúmenes absolutos de cemento, agua de diseño, aire y agregado**

El paso 9 que dice el ACI 211.1 es que se debe de determinar la suma de los volúmenes absolutos de cemento, agua de diseño, aire y agregado, la cual está en base del peso por m<sup>3</sup> de concreto dividido por el valor del peso específico, en caso del aire este valor se divide entre 100 y así obtener este valor con la suma de todos estos componentes con la siguiente ecuación para formar 1 m<sup>3</sup> de concreto.

$$[\text{Vol. 1}] = [\text{Vol. Cemento}] + [\text{Vol. Agua}] + [\text{Vol. Aire}] + [\text{Vol. Ag. Grueso}] \quad \text{Ecuación 5.18}$$

**Paso 10: Determinar el volumen absoluto de agregado fino**

El paso 10 que dice el ACI 211.1 es que se debe de determinar el volumen absoluto del agregado fino en función de 1 m<sup>3</sup> de concreto para ello se utilizará la siguiente ecuación:

$$[\text{Vol. Ag. Fino}] = 1 - [\text{Vol. 1}] \quad \text{Ecuación 5.19}$$

**Paso 11: Determinar el peso seco del agregado fino**

El paso 11 que dice el ACI 211.1 es que se debe de determinar el peso seco del agregado fino que está en base al volumen del agregado fino obtenido en el paso 10 multiplicado por el peso específico del agregado fino obtenido en laboratorio para obtener este valor se utilizará la siguiente ecuación:

$$[\text{Peso Ag. Fino}] = [\text{Vol. Ag. Fino}] \times [\text{P. Esp. Ag. Fino}] \quad \text{Ecuación 5.20}$$

**Paso 12: Determinar los valores de diseño del cemento, agua, aire, agregado fino y agregado grueso**

El paso 12 que dice el ACI 211.1 es que se debe determinar los valores de diseño de todos los componentes en peso para 1 m<sup>3</sup> de concreto las cuales estos valores se obtuvieron con anterioridad.

Cemento (kg/m<sup>3</sup> C°) valor obtenido en el Paso 7

Agua (l/m<sup>3</sup> C°) valor obtenido en el Paso 4

Agregado fino seco (kg/m<sup>3</sup> C°) valor obtenido en el Paso 11

Agregado grueso seco (kg/m<sup>3</sup> C°) valor obtenido en el Paso 8

**Paso 13: Corregir los valores por humedad del agregado**

El paso 13 del ACI 211.1 es que se ajustó por humedad el agregado grueso y agregado fino, para obtener este valor se debe utilizar las siguientes ecuaciones:

$$[\text{Ag. Fino Húmedo}] (\text{kg/m}^3 \text{ C}^\circ) = [\text{Ag. Fino Seco}] \times \left(1 + \frac{[\text{Contenido de humedad}]}{100}\right) \quad \text{Ecuación 5.21}$$

$$[\text{Ag. Grueso Húmedo}] (\text{kg/m}^3 \text{ C}^\circ) = [\text{Ag. Grueso Seco}] \times \left(1 + \frac{[\text{Contenido de humedad}]}{100}\right) \quad \text{Ecuación 5.22}$$

Para el cálculo de la humedad superficial de los agregados se determinó con las siguientes ecuaciones:

$$[\text{Humedad superficial Ag. Fino}] (\%) = [\text{Cont. de Humedad}] - [\text{Absorción}] \quad \text{Ecuación 5.23}$$

$$[\text{Humedad superficial Ag. Grueso}] (\%) = [\text{Cont. de Humedad}] - [\text{Absorción}] \quad \text{Ecuación 5.24}$$

Asimismo, para el cálculo de aporte de humedad por el agregado se determinó con las siguientes ecuaciones:

$$[\text{Agua Ag. Fino}] (\text{l/m}^3 \text{ C}^\circ) = [\text{Ag. Fino Seco}] \times [\text{Humedad superficial}] \quad \text{Ecuación 5.25}$$

$$[\text{Agua Ag. Grueso}] (\text{l/m}^3 \text{ C}^\circ) = [\text{Ag. Grueso Seco}] \times [\text{Humedad superficial}] \quad \text{Ecuación 5.26}$$

Por consiguiente, se procede a calcular el Agua efectiva con la siguiente ecuación:

$$[\text{Agua efectiva}] (\text{l/m}^3 \text{ C}^\circ) = [\text{Agua diseño}] - ([\text{Agua (Ag. Fino)}] + [\text{Agua (Ag. Grueso)}]) \quad \text{Ecuación 5.27}$$

Finalmente se obtiene los componentes del concreto para 1 m<sup>3</sup>, corregidos por humedad las cuales se muestran a continuación:

Cemento (kg/m<sup>3</sup> C°)

Agua efectiva (l/m<sup>3</sup> C°)

Agregado fino húmedo (kg/m<sup>3</sup> C°)

Agregado grueso húmedo (kg/m<sup>3</sup> C°)

#### Paso 14: Dosificación en peso de los materiales para 1m<sup>3</sup> de concreto

Cemento: Agregado Fino: Agregado Grueso

$$\frac{\text{Cemento } (\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ C}^\circ)}{\text{Cemento } (\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ C}^\circ)} : \frac{\text{Agregado fino húmedo } (\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ C}^\circ)}{\text{Cemento } (\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ C}^\circ)} : \frac{\text{Agregado grueso } (\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ C}^\circ)}{\text{Cemento } (\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ C}^\circ)} \quad \text{Ecuación 5.28}$$

#### Paso 15: Cálculo de la proporción en base al volumen suelto

$$V_{\text{cimento}} (m^3) = \frac{\text{Peso cemento (kg)}}{[\text{P.U.cemento}] (\frac{\text{kg}}{\text{m}^3})} \quad \text{Ecuación 5.29}$$

$$V_{\text{Ag.Fino}} (m^3) = \frac{\text{Peso Ag.Fino (kg)}}{[\text{P.U.Ag.Fino}] (\frac{\text{kg}}{\text{m}^3})} \quad \text{Ecuación 5.30}$$

$$V_{\text{Ag.Grueso}} (m^3) = \frac{\text{Peso Ag.Grueso (kg)}}{[\text{P.U.Ag.Grueso}] (\frac{\text{kg}}{\text{m}^3})} \quad \text{Ecuación 5.31}$$

Proporciones en volumen:

Cemento: Agregado Fino: Agregado Grueso / Agua ( $\frac{1}{\text{bls}}$ )

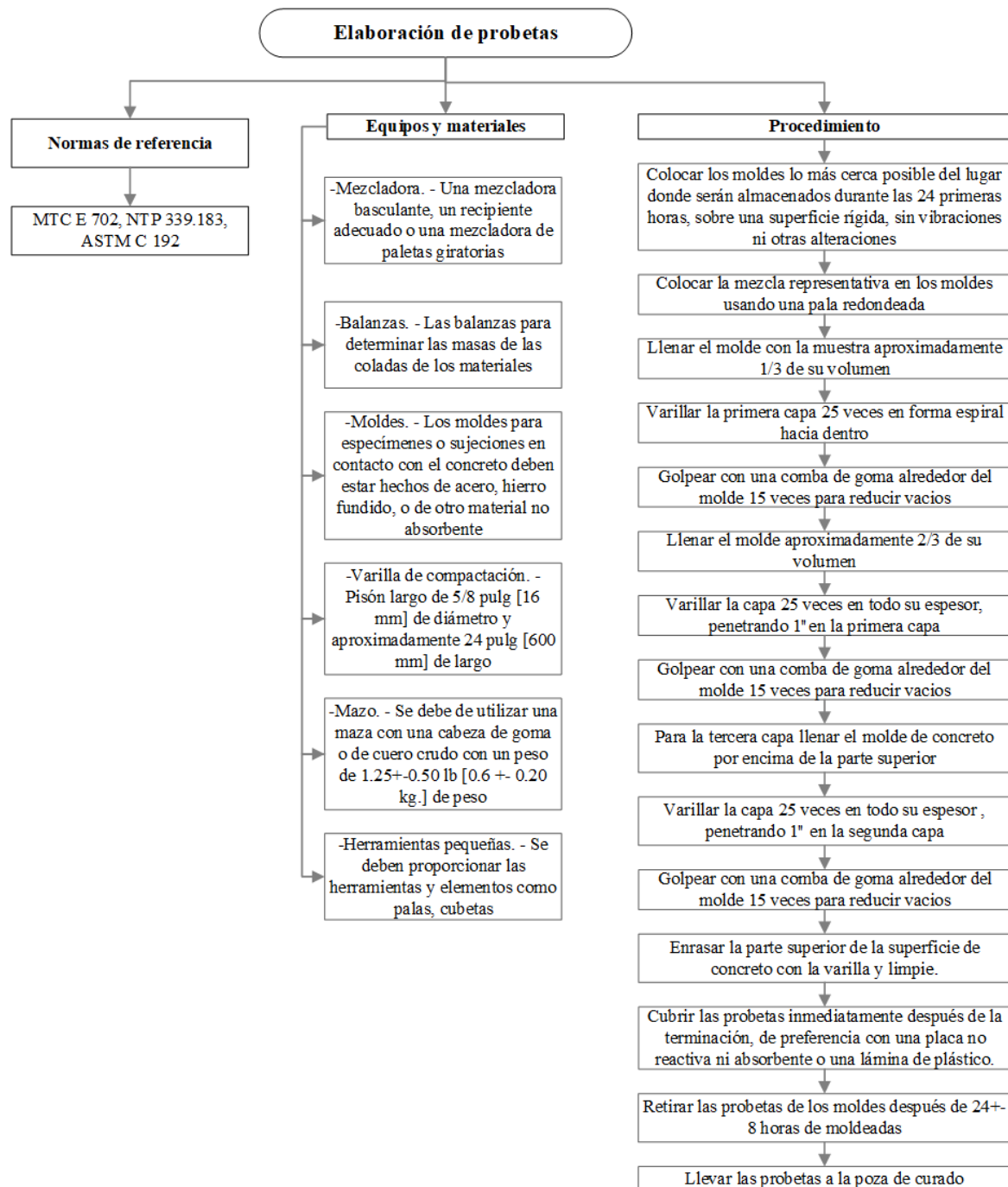
$$\frac{V_{\text{cimento}} (m^3)}{V_{\text{cimento}} (m^3)} : \frac{V_{\text{Ag.Fino}} (m^3)}{V_{\text{cimento}} (m^3)} : \frac{V_{\text{Ag.Grueso}} (m^3)}{V_{\text{cimento}} (m^3)} : \frac{\text{Agua efectiva (l/m}^3 \text{ C}^\circ)}{\text{Cemento } (\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ C}^\circ)} \quad \text{Ecuación 5.32}$$

42.5

## 5.5. Elaboración y Curado en el Laboratorio de Especímenes de Concreto para Ensayos (Método ASTM C192)

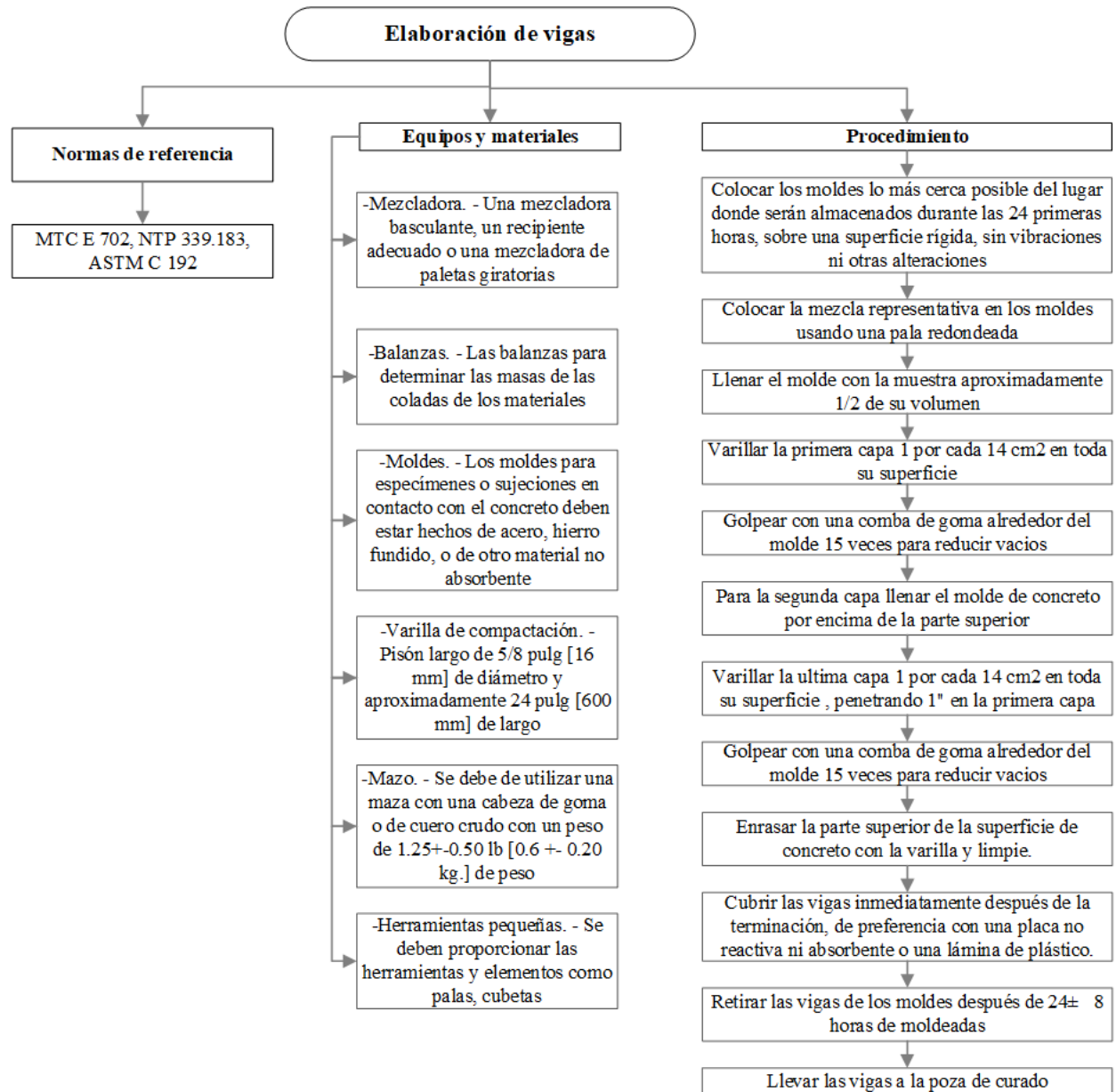
Figura 10

Diagrama de elaboración de probetas



Fuente: Elaboración Propia

Figura 11  
Diagrama de elaboración de vigas



Fuente: Elaboración Propia

Para el modo de compactación y número de capas utilizar la Tabla 13.

Tabla 13

*Número de capas necesarias para las probetas*

| <b>Tipo y tamaño de la probeta</b>                                      | <b>Modo de compactación</b> | <b>N° de capas de aprox. Igual altura</b> |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------|
| <b>Cilindros: Diám. Pulg [mm]</b>                                       |                             |                                           |
| 3 ó 4 [75 a 100]                                                        | Apisonado                   | 2                                         |
| 6 [150]                                                                 | Apisonado                   | 3                                         |
| 9 [250]                                                                 | Apisonado                   | 4                                         |
| Sobre 9 [225]                                                           | Vibración                   | 2                                         |
| <b>Prisma y cilindros horizontales para fluencia: Altura, pulg [mm]</b> |                             |                                           |
| Hasta 8 [200]                                                           | Apisonado                   | 2                                         |
| Sobre 8 [200]                                                           | Apisonado                   | 3 o más                                   |
| Hasta 8 [200]                                                           | Vibración                   | 1                                         |
| Sobre 8 [200]                                                           | Vibración                   | 2 ó más                                   |

Fuente: Ajustado. Desarrollado por el comité de la Norma ASTM C 192/ C 192M

Para el número de golpes y el tamaño del pisón especificados utilizar la Tabla 14.

Tabla 14

*Diámetro del pisón y número de golpes que se usan para moldear las probetas de ensayo*

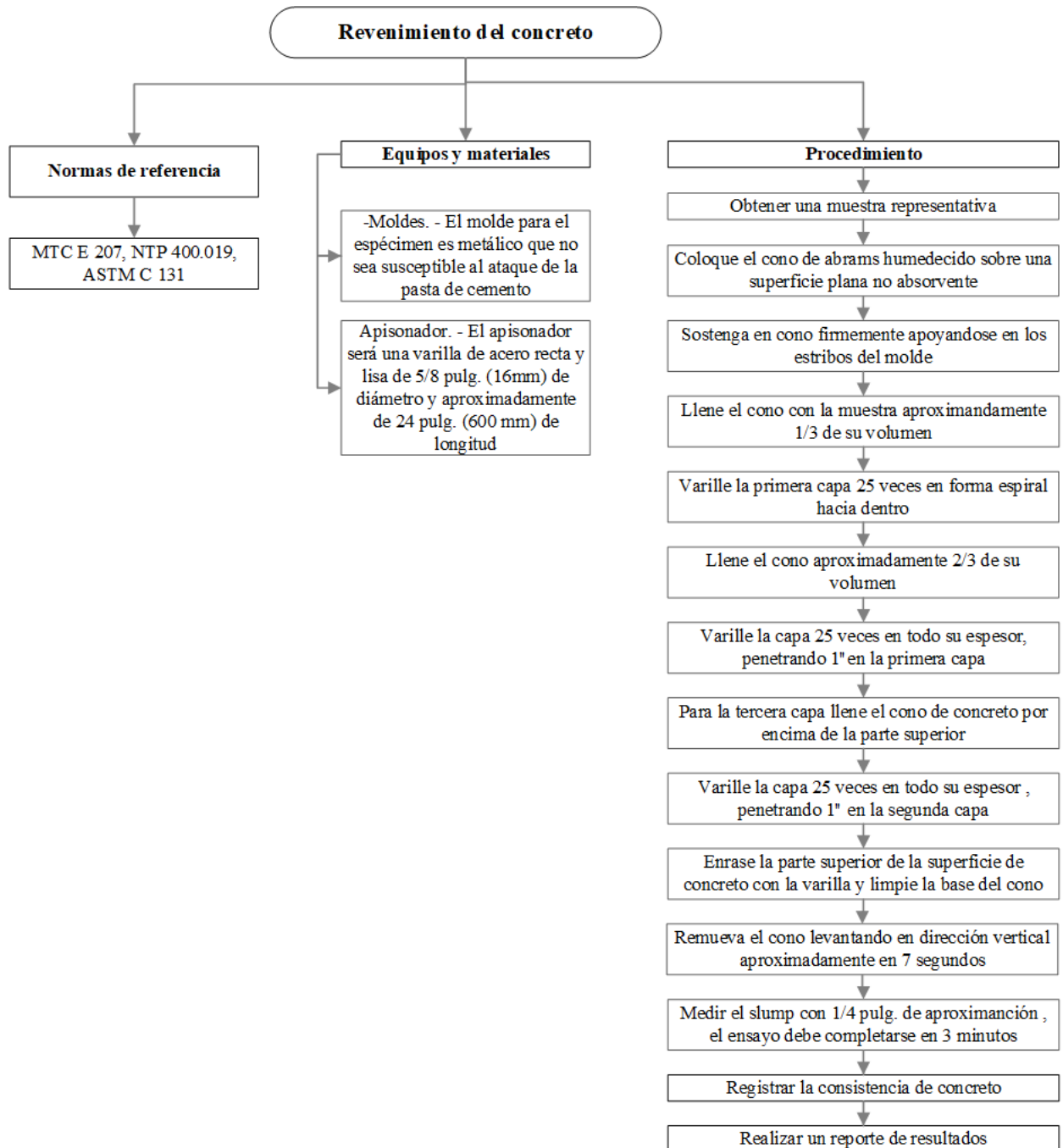
| <b>Cilindros</b>                                                        |                                      |                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| <b>Diámetro del cilindro, pulg (mm)</b>                                 | <b>Diámetro del pisón, pulg (mm)</b> | <b>N° de golpes/capa</b>                                          |
| 2 (50) a < 6 (150)                                                      | 3/8 (10)                             | 25                                                                |
| 6 (150)                                                                 | 5/8 (16)                             | 25                                                                |
| 8 (200)                                                                 | 5/8 (16)                             | 50                                                                |
| 10 (250)                                                                | 5/8 (16)                             | 75                                                                |
| <b>Vigas y prismas</b>                                                  |                                      |                                                                   |
| <b>Área superficial de la probeta pulg<sup>2</sup> (cm<sup>2</sup>)</b> | <b>Diámetro del pisón, pulg (mm)</b> | <b>N° de golpes/capa</b>                                          |
| 25 (160) o menos                                                        | 3/8 (10)                             | 259                                                               |
| 26 a 49 (165 a 310)                                                     | 3/8 (10)                             | 1 por cada 1 pulg <sup>2</sup> (7cm <sup>2</sup> ) de superficie  |
| 50 (320) o más                                                          | 5/8 (16)                             | 1 por cada 2 pulg <sup>2</sup> (14cm <sup>2</sup> ) de superficie |
| <b>Cilindros horizontales para fluencia</b>                             |                                      |                                                                   |
| <b>Diámetro del cilindro, pulg (mm)</b>                                 | <b>Diámetro del pisón, pulg (mm)</b> | <b>N° de golpes/capa</b>                                          |
| 6 (150)                                                                 | 5/8 (16)                             | 50 en total, 25 en ambos lados del eje.                           |

Fuente: Ajustado. Desarrollado por el comité de la Norma ASTM C 192/ C 192M

## 5.6. Revenimiento del Concreto de Cemento Hidráulico (Método ASTM C143)

Figura 12

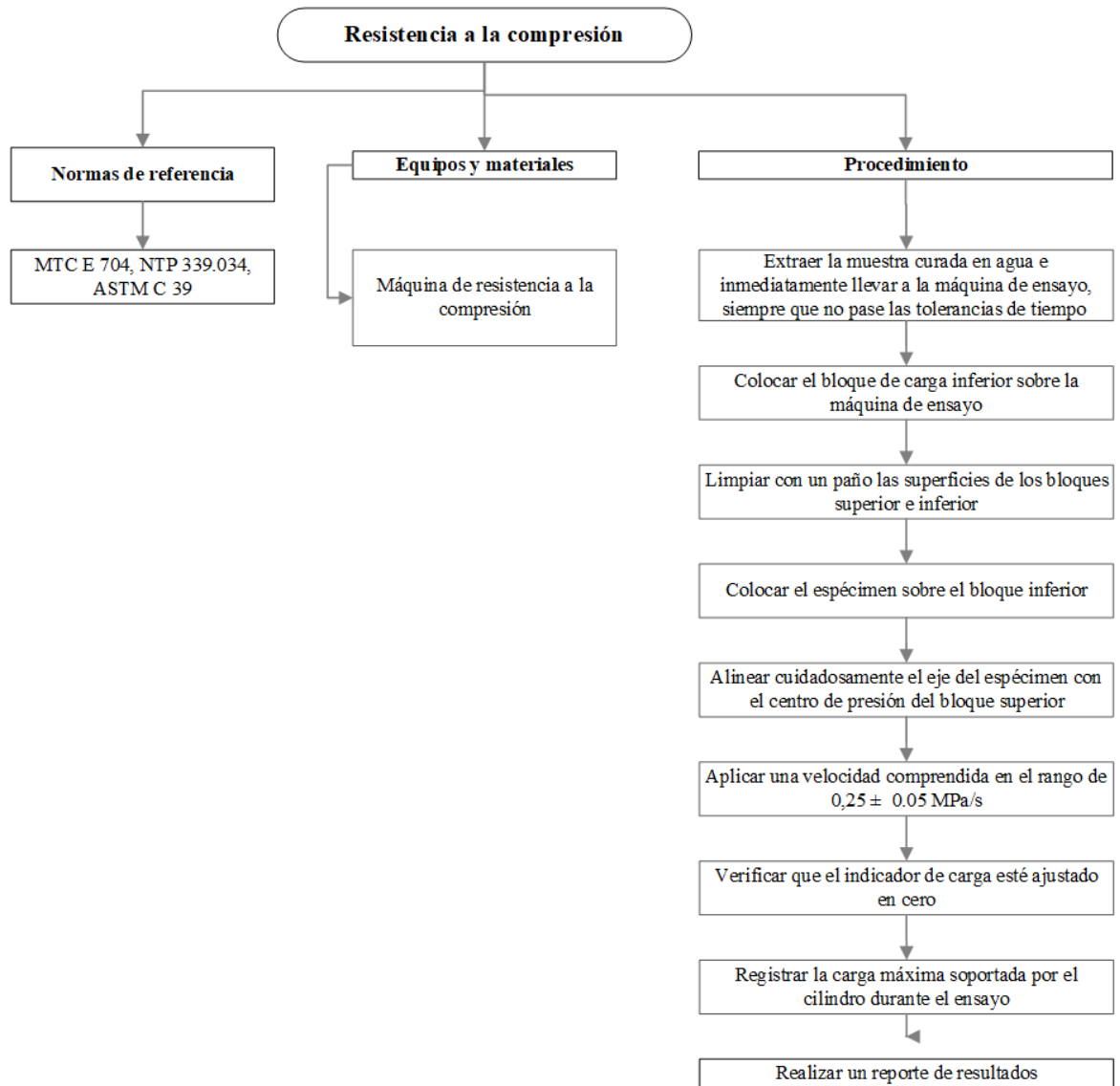
Diagrama de revenimiento del concreto



Fuente: Elaboración Propia

## 5.7. Método de Ensayo Estándar para Esfuerzo de Compresión en Especímenes Cilíndricos de Concreto (Método ASTM C39)

Figura 13  
*Diagrama de resistencia a la compresión*

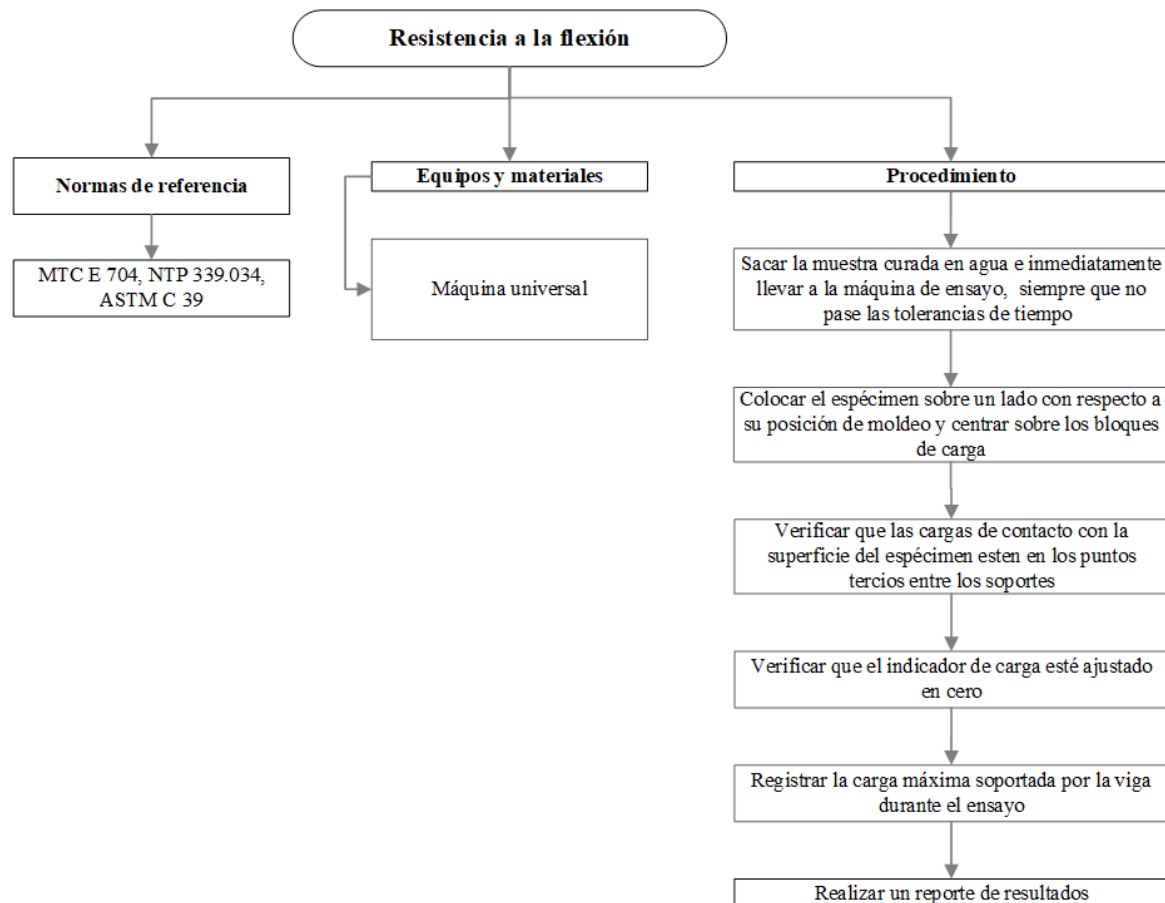


Fuente: Elaboración Propia

## 5.8. Resistencia a la Flexión del Concreto (Usando Viga Simple con Carga a los Tercios del Claro) (Método ASTM C78)

Figura 14

Diagrama de resistencia a la flexión



Fuente: Elaboración Propia

Si la fractura inicial en la superficie de tensión, dentro del tercio medio de la longitud entre apoyos, calcule el módulo de ruptura como sigue:

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

**Ecuación 5.33**

Donde:

R = Módulo de Ruptura (psi o Mpa)

P = Carga máxima aplicada, indicada por la máquina (lbf o N)

L = Longitud entre apoyos (pulg. O mm)

b = Ancho promedio del espécimen (pulg o mm)

d = Altura promedio del espécimen (pulg. o mm)

## **6. HIPOTESIS DE INVESTIGACIÓN**

### **6.1. Hipótesis**

#### **6.1.1. Hipótesis general**

**HG:** Se espera con la adición de relaves mineros a 5%, 10% y 15% en peso del material cementante en el diseño de concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  mejorará la resistencia mecánica en un 5% respecto al del concreto patrón (concreto tradicional sin adición de relaves mineros) en estudio de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023.

#### **6.1.2. Hipótesis específicas**

**HE1:** La composición química en laboratorio de relaves mineros de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023 contenga cobre, plata, plomo, hierro, cloruros y sulfatos.

**HE2:** Se presume con la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  en las proporciones propuestas de 5%,10% y 15% en peso del material cementante de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023, aumente en un 5% la consistencia del concreto

**HE3:** Se estima con la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  en las proporciones propuestas de 5%, 10% y 15% en peso del material cementante de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023, aumente en un 10% la resistencia a la flexión.

**HE4:** Se espera que el costo de producción del diseño del concreto con adición de relaves mineros en las proporciones propuestas de 5%,10% y 15% en peso del material cementante de las unidades mineras de Espinar -Cusco 2023 sean menor en un rango de 5% a 10% el costo de producción de concreto patrón (concreto estándar).

### **6.2. Identificación de Variables e Indicadores**

#### **6.2.1. Variable independiente**

En el caso de la presente investigación, la variable independiente es:

**-X1:** Adición de relaves mineros

### 6.2.2. Variable dependiente

En el caso de la presente investigación, la variable dependiente es:

-Y1: Diseño de concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

### 6.3. Operacionalización de Variables

Tabla 15

*Operacionalización de variables*

| Variables                                                          | Factores                              | Sub-factores                                    | Indicadores        |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------|
| <b>Variable independiente</b>                                      |                                       |                                                 |                    |
| <b>X1: Adición de relaves mineros</b>                              | Porcentaje de relave minero           | Porcentaje de adición                           | %                  |
|                                                                    | Composición química de relave minero  | Cobre, plata, plomo, hierro, cloruros, sulfatos | %                  |
| <b>Variable dependiente</b>                                        |                                       |                                                 |                    |
| <b>Y1: Diseño de concreto <math>f'c=210 \text{ kg/cm}^2</math></b> | Resistencia a la compresión ( $f'c$ ) |                                                 | $\text{kg/cm}^2$   |
|                                                                    | Resistencia a la flexión ( $M_r$ )    |                                                 | MPa                |
|                                                                    | Consistencia                          |                                                 | pulg.              |
|                                                                    | Costo de producción unitaria          |                                                 | S/. / $\text{m}^3$ |

Fuente: Elaboración propia

### 6.4. Alcance, Limitación y Viabilidad

#### 6.4.1. Alcance de la investigación

Se planteó que el concreto patrón de resistencia  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  será parámetro a comparación de concretos de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con adición de relaves mineros de las unidades mineras de Espinar. El concreto patrón estuvo compuesto por agregados pétreos de la provincia de Espinar (Cantera del río Apurímac), cemento portland Yura tipo IP y agua (Red pública de Cusco).

Se ha planteado que el material de relave minero que actuó como adición en diseño de concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  en proporciones comprendidas por un 5, 10 y 15 % en peso del material cementante fue extraída del relave de mina (Ccamacmayo) de la unidad minera de Tintaya-Antapaccay que está ubicado en el sector de Alto Huancané, distrito y provincia de Espinar, departamento Cusco.

Asimismo, la cantera de agregados a efectos del diseño de concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

con adición de relave minero, proviene de la cantera Rio Apurímac (arena gruesa y piedra chancada de media pulgada), ambos agregados fueron seleccionados por zarandeo antes de su uso para cumplir con las características granulométricas y geométricas.

Para conocer la propiedad mecánica del concreto, se efectuó el ensayo de compresión utilizando el dispositivo de compresión Accutek y el ensayo de flexión con la máquina universal del “Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco”, la rotura de briquetas se hizo a los 1,3,7, 14,21 y 28 días con un total de 96 briquetas elaboradas, también se realizó el ensayo a la flexión a la edad de 28 días con un total de 12 vigas elaboradas.

#### **6.4.2. Limitaciones**

La presente investigación se limitó con el uso de los relaves mineros de las unidades mineras de Espinar para el proceso de diseño de concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , debido a que la intención de la presente investigación es obtener el diseño de concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con adición de 5%, 10% y 15% de relaves mineros pueda ser aplicada en las zonas aledañas de la zona de explotación, debido a la cantidad de relaves existentes de las diferentes unidades mineras.

La presente investigación se delimitó con el uso del método ACI 211.1 para el diseño de concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  con adición de relaves mineros en las proporciones propuestas de 5%, 10% y 15% en peso de material cementante de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023.

Asimismo, dentro de otra limitación la presente investigación se limitó con el uso de la norma ASTM C192 para el procedimiento de preparación de probetas y vigas.

#### **6.4.3. Viabilidad**

##### **6.4.3.1. Viabilidad Técnica**

El desarrollo de cada ensayo para el agregado se realizó en el área de Laboratorios de Mecánica de Materiales y Suelos de la “Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la UNSAAC”. El desarrollo del contenido de sulfatos solubles en suelos,

contenido de cloruros solubles en suelos del relave minero de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023 se elaboró en el Laboratorio de Análisis Químico de la “Escuela Profesional de Ingeniería Química”, de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. El desarrollo de la composición química (absorción atómica) del relave minero de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023 se efectuó en el Laboratorio de Cromatografía y Espectrometría del Pabellón de Control de Calidad de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

#### **6.4.3.2. Viabilidad económica**

La presente investigación fue financiada íntegramente por el actor de la tesis.

#### **6.4.3.3. Viabilidad operativa**

Los ensayos han sido estandarizados según normas nacionales e internacionales.

## **7. METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN**

### **7.1. Tipo de investigación**

Este trabajo de investigación se considera de tipo cuantitativa porque se basó en la recopilación de datos bajo una escala numérica, tal es el caso en la obtención de la resistencia a compresión y flexión de concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con adición de relaves mineros de las unidades mineras del Espinar, asimismo tuvo la finalidad de contestar las preguntas y probar las hipótesis previamente formuladas en la matriz de consistencia.

### **7.2. Nivel de investigación**

Este trabajo se considera con un nivel correlacional, ya que permitió medir el grado de relación existente entre cada variable, es decir, la asociación que presenta la variable independiente (X1: Adición de relaves mineros) con respecto a la variable dependiente (Y1: Diseño de concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ), y así establecer la relación causa-efecto.

### **7.3. Diseño de investigación**

Este trabajo es de diseño experimental, porque tuvo como finalidad realizar el control y manipulación de la variable independiente (X1: Adición de relaves mineros) durante el experimento, para generar los efectos que se producen en la variable dependiente (Y1: Diseño de concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ).

#### 7.4. Población de Estudio

La población de investigación, fue contemplada por la norma (ASTM C192) afirma: “El número de especímenes de prueba y de amasadas de prueba se basan en la práctica determinada y la índole del programa de ensayo. En general, se menciona en los métodos de ensayo o especificaciones para los que se preparan muestras. Usualmente, se moldean tres o más probetas para cada edad” (p.4). Por ende, en la presente investigación se realizaron 96 especímenes de ruptura, a edad de: 1,3,7,14,21 y 28 días , que fueron realizadas a efectos de concreto patrón de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  que estuvo compuesta por (agua, cemento, agregados finos y gruesos) tomado como parámetro de comparación y de referencia frente al concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con adiciones de relave minero de 5%,10% y 15% en peso del material cementante de las unidades mineras de Espinar, las cuales fueron sometidas a los respectivos ensayos para conocer cada posesión mecánica, de modo específico resistencia a compresión y flexión.

También es importante mencionar que en esta presente investigación se realizaron 12 vigas de ruptura a edad de 28 días, que fueron realizadas a efectos de concreto patrón de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  que estuvo compuesta por (agua, cemento, agregados finos y gruesos) tomado como parámetro de comparación y de referencia frente al concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con adiciones de relave minero de 5%,10% y 15% en peso del material cementante de las unidades mineras de Espinar.

Para ello es relevante mencionar que los materiales para el diseño de concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con adiciones de relaves mineros de las unidades mineras de Espinar fueron los siguientes:

- Agregados pétreos de la provincia de Espinar (Cantera del rio Apurímac)
- Material de relave minero, obtenido de la unidad minera de Espinar. (Relave Ccamacmayo)
- Cemento Portland Yura tipo IP.
- Agua (Red pública de Cusco)

También es de suma importancia mencionar que los materiales para el diseño de concreto patrón de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  fueron los siguientes:

- Agregados pétreos de la provincia de Espinar (Cantera del rio Apurímac)
- Cemento Portland Yura tipo IP.
- Agua (Red pública de Cusco)

## 7.5. Muestra

El tipo de muestreo en esta investigación se considera por conveniencia o no probalística es decir por qué se eligió a criterio. Para la muestra se han tomado 24 briquetas y 3 vigas de concreto patrón de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , 24 briquetas y 3 vigas a efectos de un concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con la adición de material de relaves mineros en proporciones propuestas de 5%, 10% y 15% en peso del material cementante para cada una.

## 7.6. Tamaño de la Muestra

El tamaño de la muestra fue representado por 96 briquetas y 12 vigas, la cual se muestra detalladamente en la Tabla 16 y Tabla 17.

Tabla 16

*Número de muestras para prueba de resistencia a la compresión  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$*

| Número de muestras para prueba de resistencia a la compresión f'c=210 kg/cm² |                                |        |        |         |         |         | Número total de muestras por diseño de mezcla |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|-----------------------------------------------|
| Diseño de mezcla                                                             | Edad de prueba                 |        |        |         |         |         |                                               |
|                                                                              | 1 día                          | 3 días | 7 días | 14 días | 21 días | 28 días |                                               |
|                                                                              | Número de muestras (briquetas) |        |        |         |         |         |                                               |
| DCP                                                                          | 04                             | 04     | 04     | 04      | 04      | 04      | 24                                            |
| DCP+5%ARM                                                                    | 04                             | 04     | 04     | 04      | 04      | 04      | 24                                            |
| DCP+10%ARM                                                                   | 04                             | 04     | 04     | 04      | 04      | 04      | 24                                            |
| DCP+15%ARM                                                                   | 04                             | 04     | 04     | 04      | 04      | 04      | 24                                            |
| Número total de muestras por edad de prueba                                  | 16                             | 16     | 16     | 16      | 16      | 16      | 96 briquetas                                  |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17

*Número de muestras para prueba de resistencia a la flexión*

| Número de muestras para prueba de resistencia a la flexión Mr= 28 Mpa |                            |                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|
| Diseño de mezcla                                                      | Edad de prueba             | Número total de<br>muestras por<br>diseño de mezcla |
|                                                                       | 28 días                    |                                                     |
|                                                                       | Número de muestras (vigas) |                                                     |
| DCP                                                                   | 03                         | 03                                                  |
| DCP+5%ARM                                                             | 03                         | 03                                                  |
| DCP+10%ARM                                                            | 03                         | 03                                                  |
| DCP+15%ARM                                                            | 03                         | 03                                                  |
| Número total de muestras por edad de<br>prueba                        | 12                         | 12 vigas                                            |

Fuente: Elaboración propia

El esquema general de tipos de grupos es el siguiente:

-DCP, Diseño de concreto patrón (concreto tradicional sin adición de relave minero) de  $f'c=210\text{kg/cm}^2$ .

-ARM, Adición de relave minero.

-DCP+5%ARM, Diseño de concreto patrón de  $f'c=210\text{kg/cm}^2 + 5\%$  de Adición de relave minero.

-DCP+10%ARM, Diseño de concreto patrón de  $f'c=210\text{kg/cm}^2 + 10\%$  de Adición de relave minero.

-DCP+15%ARM, Diseño de concreto patrón de  $f'c=210\text{kg/cm}^2 + 15\%$  de Adición de relave minero.

## 7.7. Técnicas de Recolección de Información

Para recoger datos del diseño de concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con adiciones de relaves mineros de las unidades mineras de Espinar, se inició con la exploración y reconocimiento como técnica, la cual permitió recopilar los datos a través de los ensayos de laboratorio como se muestra en detalle en la Tabla 18.

Tabla 18

*Técnicas de recolección de información*

| <b>Técnicas de recolección de información</b>                 |                                                                                       |                                                     |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| <b>Ensayos de laboratorio para recolección de información</b> |                                                                                       |                                                     |
| <b>Relave minero</b>                                          | <b>Agregados pétreos</b>                                                              | <b>Concreto</b>                                     |
| 1.Absorción atómica llama                                     | 1.Muestreo para agregados                                                             | 1. Ensayo de consistencia del concreto              |
| 3.Contenido de sulfatos solubles en suelos                    | 2.Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos                                | 2.Ensayo a la resistencia a compresión del concreto |
| 3.Contenido de cloruros solubles en suelos                    | 3.Peso unitario y vacíos de los agregados                                             | 3. Ensayo a la resistencia a flexión del concreto   |
|                                                               | 4.Peso específico y absorción de agregados gruesos                                    |                                                     |
|                                                               | 5.Gravedad específica y absorción de agregados finos                                  |                                                     |
|                                                               | 6.Determinación del contenido de humedad del agregado grueso                          |                                                     |
|                                                               | 7.Cantidad de material fino que pasa el tamiz de $75 \mu\text{m}$ (N° 200) por lavado |                                                     |

Fuente: Elaboración propia

Es relevante mencionar que el desarrollo de ensayos a fin de establecer cada propiedad física y mecánicas de los agregados se realizó en el área de “Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la UNSAAC”.

Asimismo, el análisis de la composición química (absorción atómica) del relave minero de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023 se realizó en el Laboratorio de Cromatografía y Espectrometría del Pabellón de Control de Calidad de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Asimismo, el análisis del contenido de sulfatos y contenido de cloruros del relave minero de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023 se realizó en el Laboratorio de Análisis Químico de la “Escuela Profesional de Ingeniería Química” de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

#### **7.8. Instrumentos de Técnicas de Recolección de Información**

Como instrumento de técnica de recolección de información de los resultados de los ensayos en laboratorio se utilizó el Anexo C1. Ficha de observación N° 01 y el Anexo C2. Ficha de observación N° 02

#### **7.9. Técnicas de Análisis e Interpretación de la Información**

Las técnicas para analizar e interpretar datos de esta investigación fueron de acuerdo al diseño de mezcla del concreto patrón, composición química en laboratorio del relave minero y ensayos en laboratorio, tanto el asentamiento del concreto, resistencia a compresión de concreto, resistencia a flexión de concreto y costo de producción por unidad de diseño de concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con adición de 5%, 10% y 15% de relaves mineros de las unidades mineras de Espinar como se puede mostrar en la Tabla 19. El procesamiento y la presentación de datos fueron realizado a través de tablas y gráficos preparados en el software Excel. Asimismo, para el costo de producción se utilizó el software Delphin Express BIM 360 P2022, finalmente con toda la información recolectada se procedió a la interpretación de los resultados.

Tabla 19

*Esquema de técnicas de análisis e interpretación de la información*

| <b>Técnicas de análisis e interpretación de la información</b>                   |
|----------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Análisis de información recolectada</b>                                       |
| 1.Diseño de mezcla del concreto (Método ACI 211.1)                               |
| 2.Composición química en laboratorio del relave minero (Absorción atómica llama) |
| 3.Consistencia del concreto (Método ASTM C143)                                   |
| 4.Resistencia a la compresión del concreto (Método ASTM C39)                     |
| 5.Resistencia a la flexión del concreto (Método ASTM C78)                        |
| 6.Costo de producción del concreto                                               |
| <b>Interpretación de resultados</b>                                              |

Fuente: Elaboración propia

#### **7.10. Instrumentos de Técnicas de Análisis e Interpretación de la Información**

Como instrumento de técnica de análisis e interpretación de la información se utilizó el Anexo C3. Ficha de observación N° 03 y el Anexo C4. Ficha de observación N° 04

## 8. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 8.1. Resultados de Ensayos para los Agregados Pétreos

#### 8.1.1. Agregado grueso (cantera rio Apurímac)

##### 8.1.1.1. Resultados del análisis granulométrico del agregado grueso

Se obtuvo el resultado para el análisis granulométrico del agregado grueso obtenido en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil la cual estuvo dentro del Huso 6 la cual se puede apreciar en la siguiente Tabla 20.

Tabla 20

*Análisis granulométrico del agregado grueso*

| ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO |               |                    |                    |                      |                        |         |         |
|---------------------------------------------|---------------|--------------------|--------------------|----------------------|------------------------|---------|---------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 204/ ASTM C136          |               |                    |                    |                      |                        |         |         |
| Peso inicial seco                           | 2000.00       | gr                 |                    |                      | Tamaño Máximo Absoluto | 3/4"    |         |
| Huso                                        | 6             |                    |                    |                      | Tamaño Máximo Nominal  | 1/2"    |         |
| Tamices ASTM                                | Abertura (mm) | Peso retenido (gr) | % Retenido parcial | % Retenido acumulado | % Acumulado que pasa   | HUSO 6  |         |
| 4"                                          | 100           | 0.00               | 0.00%              | 0.00%                | 100.00%                | -       | -       |
| 3 1/2"                                      | 90            | 0.00               | 0.00%              | 0.00%                | 100.00%                | -       | -       |
| 3"                                          | 75            | 0.00               | 0.00%              | 0.00%                | 100.00%                | -       | -       |
| 2 1/2"                                      | 63            | 0.00               | 0.00%              | 0.00%                | 100.00%                | -       | -       |
| 2"                                          | 50            | 0.00               | 0.00%              | 0.00%                | 100.00%                | -       | -       |
| 1 1/2"                                      | 37.5          | 0.00               | 0.00%              | 0.00%                | 100.00%                | -       | -       |
| 1"                                          | 25            | 0.00               | 0.00%              | 0.00%                | 100.00%                | 100.00% | 100.00% |
| 3/4"                                        | 19            | 0.00               | 0.00%              | 0.00%                | 100.00%                | 90.00%  | 100.00% |
| 1/2"                                        | 12.5          | 1308.46            | 65.42%             | 65.42%               | 34.58%                 | 20.00%  | 55.00%  |
| 3/8"                                        | 9.5           | 485.62             | 24.28%             | 89.70%               | 10.30%                 | 0.00%   | 15.00%  |
| No. 4                                       | 4.75          | 195.86             | 9.79%              | 99.50%               | 0.50%                  | 0.00%   | 5.00%   |
| No. 8                                       | 2.36          | 0.00               | 0.00%              | 99.50%               | 0.50%                  | -       | -       |
| No. 16                                      | 1.18          | 0.00               | 0.00%              | 99.50%               | 0.50%                  | -       | -       |
| No. 50                                      | 0.30          | 0.00               | 0.00%              | 99.50%               | 0.50%                  | -       | -       |
| Fondo                                       | 0.00          | 10.06              | 0.50%              | 100.00%              | 0.00%                  |         |         |
| TOTAL                                       | Σ (suma)      | 2000.00            | 100.00%            |                      |                        |         |         |

Fuente: Elaboración Propia

Para la obtención del módulo de fineza del agregado grueso se utilizó la siguiente ecuación:

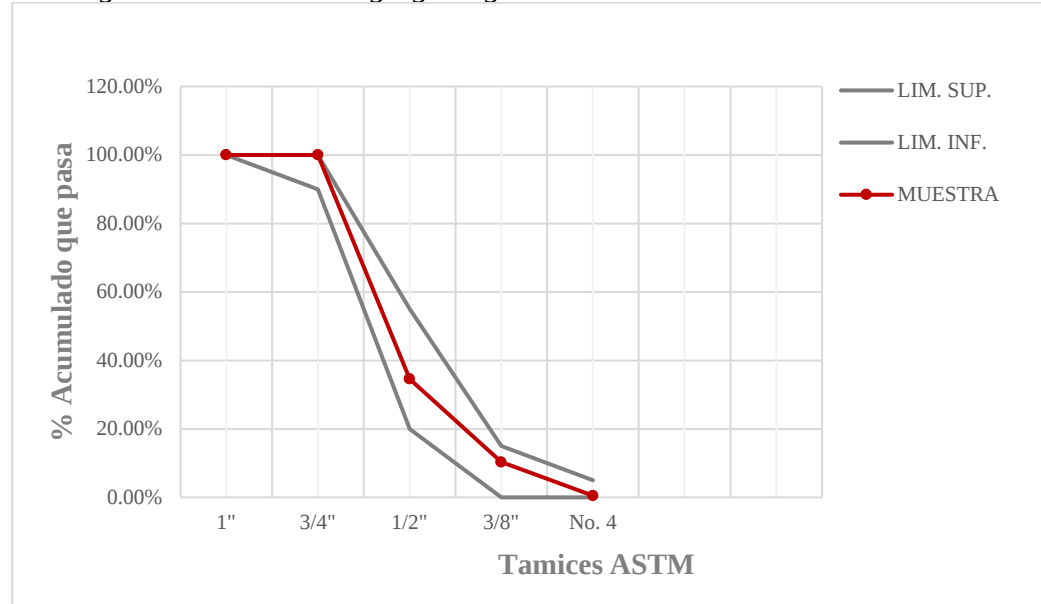
$$MF = \frac{\sum \% \text{ retenido acumulado } (6" + 3" + 1\frac{1}{2}" + 3/4" + 3/8" + N^{\circ} 4 + N^{\circ} 8 + N^{\circ} 16 + N^{\circ} 30 + N^{\circ} 50 + N^{\circ} 100)}{100}$$

$$MF = \frac{(0.00\% + 89.70\% + 99.50\% + 99.50\% + 99.50\% + 99.50\% + 99.50\% + 99.50\%) \times 100}{100}$$

$$MF = 6.87$$

El resultado de módulo de fineza para el agregado grueso fue de 6.87.

Figura 15  
Curva granulométrica del agregado grueso



Fuente: Elaboración Propia - Presenta la Curva Granulométrica obtenida

#### 8.1.1.2. Resultados del peso unitario y vacíos del agregado grueso

En la siguiente Tabla 21 se puede apreciar los resultados que se han obtenido en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil para el peso unitario suelto del agregado grueso, con la cual se obtuvo el valor promedio de 1.320 gr/cm<sup>3</sup> la cual equivale a 1320 kg/m<sup>3</sup>.

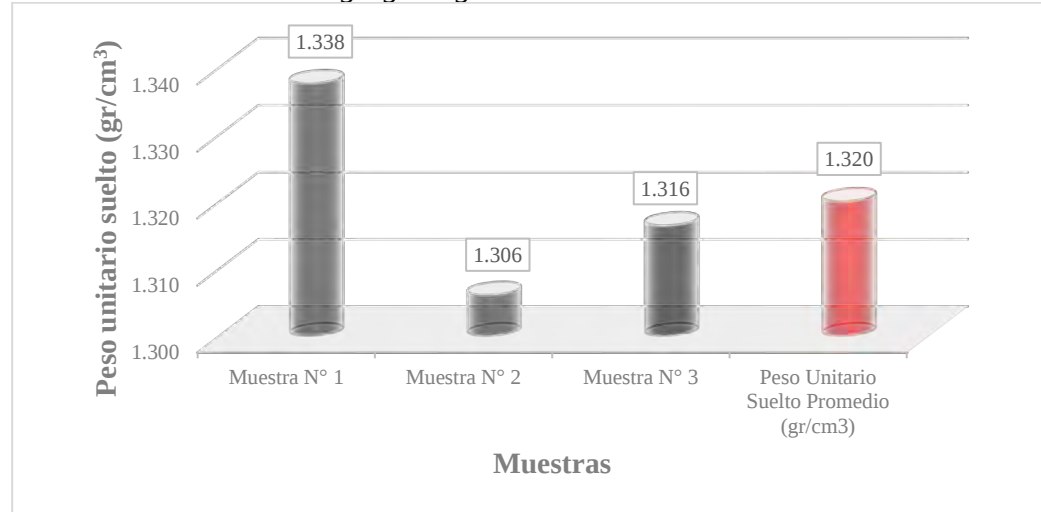
Tabla 21  
Peso unitario suelto del agregado grueso

| PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO                 |              |              |              |
|----------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 203/ASTM C 29                        |              |              |              |
| Descripción                                              | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |
| (1) Peso del material + peso del molde (gr)              | 9357.00      | 9290.00      | 9312.00      |
| (2) Peso del molde (gr)                                  | 6517.00      | 6517.00      | 6517.00      |
| (3) Peso del material (gr)                               | (1)-(2)      | 2840.00      | 2773.00      |
| (4) Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )                 | 2123.06      | 2123.06      | 2123.06      |
| (5) Peso unitario suelto (gr/cm <sup>3</sup> )           | (3) / (4)    | 1.338        | 1.306        |
| <b>Peso Unitario Suelto Promedio (gr/cm<sup>3</sup>)</b> |              | <b>1.320</b> |              |

Fuente: Elaboración Propia

Figura 16

*Peso unitario suelto del agregado grueso*



Fuente: Elaboración Propia – Muestra los valores de Peso Unitario Suelto de las tres muestras

En la siguiente Tabla 22 se puede apreciar los resultados que se han obtenido en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil para el peso unitario compactado del agregado grueso, con la cual se obtuvo el valor promedio de 1.475 gr/cm<sup>3</sup> la cual equivale a 1475 kg/m<sup>3</sup>.

Tabla 22

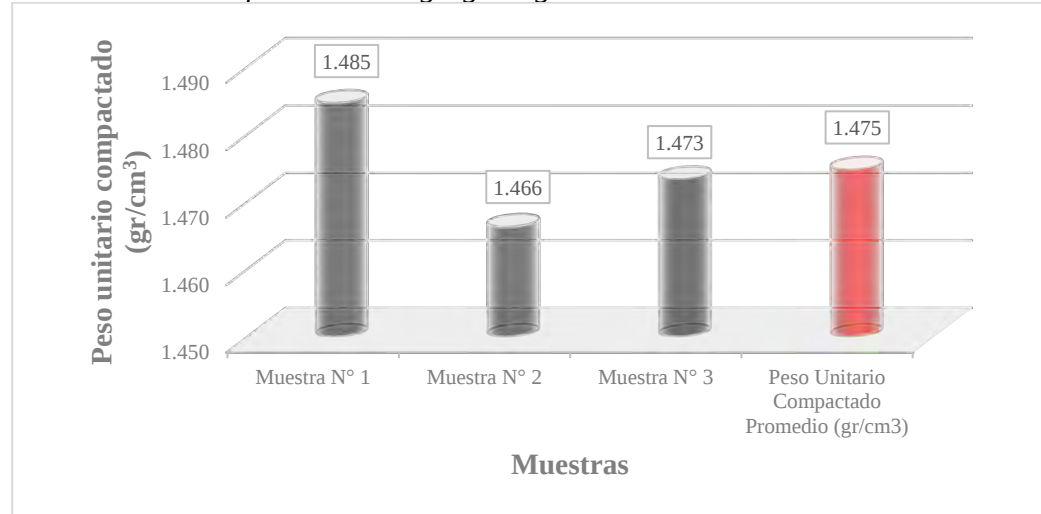
*Peso unitario compactado del agregado grueso*

| <b>PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO</b>    |              |              |              |
|--------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 203/ASTM C 29                      |              |              |              |
| Descripción                                            | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |
| Número de capas                                        | 3            | 3            | 3            |
| Número de golpes                                       | 25           | 25           | 25           |
| (1) Peso del material + Peso del molde (gr)            | 9669.00      | 9630.00      | 9645.00      |
| (2) Peso del molde (gr)                                | 6517.00      | 6517.00      | 6517.00      |
| (3) Peso del material (gr) (1)-(2)                     | 3152.00      | 3113.00      | 3128.00      |
| (4) Volumen del molde (cm³)                            | 2123.06      | 2123.06      | 2123.06      |
| <b>(5) Peso unitario compactado (gr/cm³) (3) / (4)</b> | <b>1.485</b> | <b>1.466</b> | <b>1.473</b> |
| <b>Peso Unitario Compactado Promedio (gr/cm³)</b>      | <b>1.475</b> |              |              |

Fuente: Elaboración Propia

Figura 17

*Peso unitario compactado del agregado grueso*



Fuente: Elaboración Propia – Muestra los valores de Peso Unitario Compactado de las tres muestras

#### 8.1.1.3. Resultados del peso específico y absorción del agregado grueso

En la siguiente Tabla 23 se puede apreciar los resultados que se han obtenido en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil para el peso específico del agregado grueso, con la cual se obtuvo el valor promedio de  $2.55 \text{ gr/cm}^3$ .

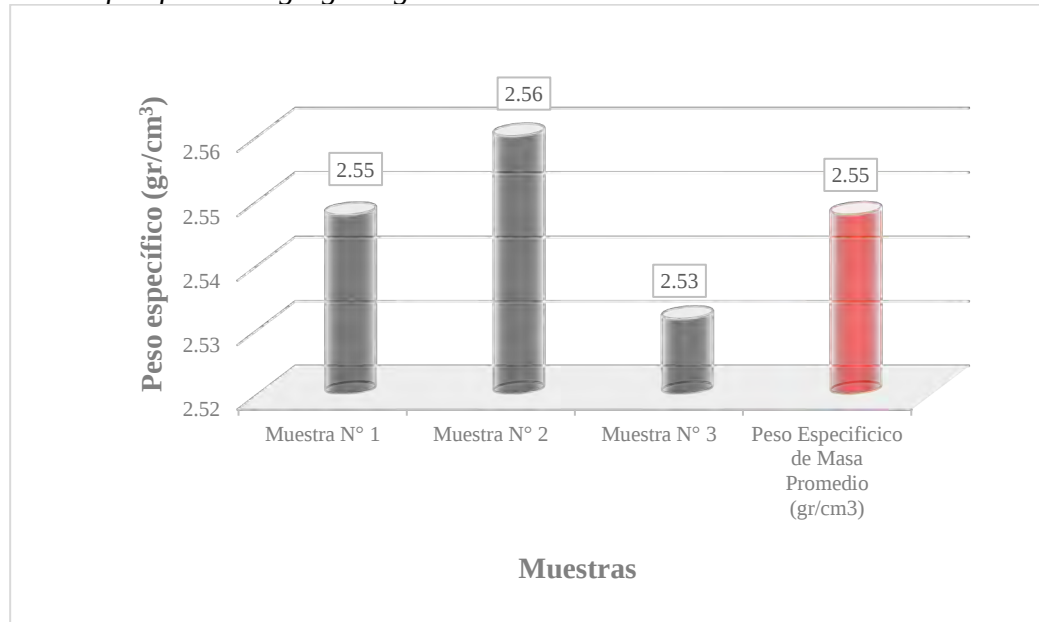
Tabla 23

*Peso específico del agregado grueso*

| PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO                          |  |                 |                 |                 |
|--------------------------------------------------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E206/ASTM C 127                            |  |                 |                 |                 |
| Descripción                                                  |  | Muestras        |                 |                 |
| Tamaño máximo de la muestra                                  |  | 1/2"            |                 |                 |
| Tipo de frasco utilizado                                     |  | Probeta         |                 |                 |
|                                                              |  | Muestra<br>N° 1 | Muestra<br>N° 2 | Muestra<br>N° 3 |
| (1) Volumen inicial de probeta (ml)                          |  | 500.00          | 500.00          | 500.00          |
| (2) Volumen final de probeta (ml)                            |  | 657.00          | 658.00          | 655.00          |
| (3) Volumen del agua desplazado (ml) (2)-(1)                 |  | 157.00          | 158.00          | 155.00          |
| (4) Peso del material superficialmente seca en aire (gr)     |  | 400.00          | 400.00          | 400.00          |
| (5) Peso del material secado en horno + Peso Recipiente (gr) |  | 468.08          | 457.76          | 464.12          |
| (6) Peso Recipiente (gr)                                     |  | 77.66           | 66.86           | 70.32           |
| (7) Peso del material secado en horno (gr) (5)-(6)           |  | 390.42          | 390.90          | 393.80          |
| (8) Peso específico de masa promedio (gr/cm³) (4) / (3)      |  | 2.55            | 2.56            | 2.53            |
| Peso Específico de Masa Promedio (gr/cm³)                    |  |                 | 2.55            |                 |

Fuente: Elaboración Propia

Figura 18  
Peso específico del agregado grueso



Fuente: Elaboración Propia - Muestra los valores de Peso Específico de las tres muestras

En la siguiente Tabla 24 se puede apreciar los resultados que se han obtenido en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil para el porcentaje de absorción del agregado grueso, con la cual se obtuvo el valor promedio de 2.12%.

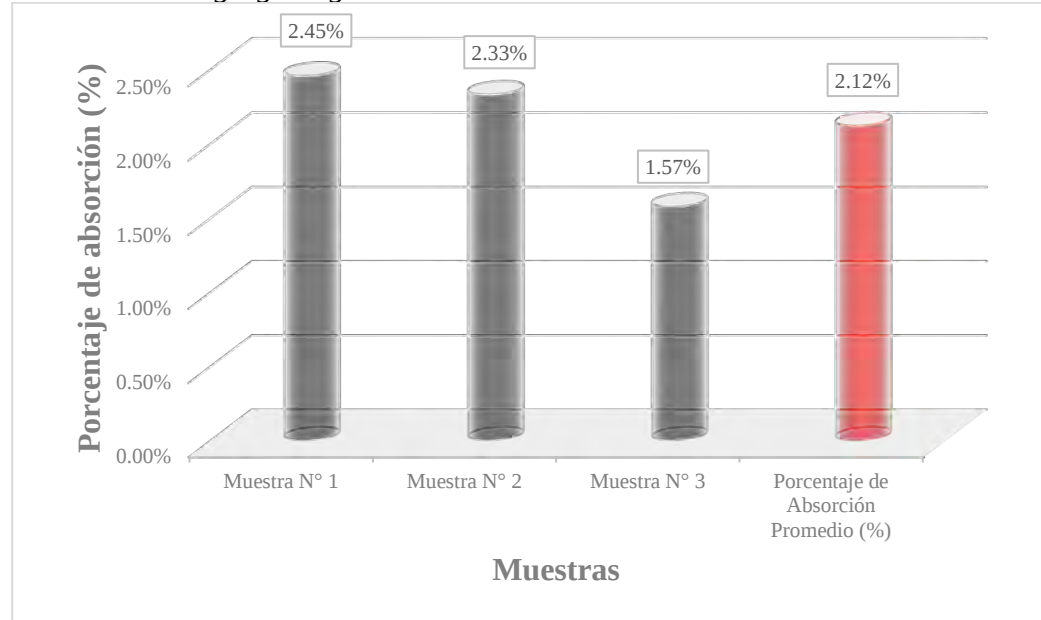
Tabla 24  
Absorción del agregado grueso

| ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO                            |               |              |              |
|----------------------------------------------------------|---------------|--------------|--------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 206/ASTM C 127                       |               |              |              |
| Descripción                                              | Muestra N° 1  | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |
| (1) Peso del material superficialmente seca en aire (gr) | 400.00        | 400.00       | 400.00       |
| (2) Peso del material secado en horno (gr)               | 390.42        | 390.90       | 393.80       |
| (3) Peso del agua absorbida (gr)                         | (1)-(2)       | 9.58         | 9.10         |
| Porcentaje de Absorción (%)                              | (3)x100 / (5) | 2.45%        | 2.33%        |
| Porcentaje de Absorción Promedio (%)                     |               | 2.12%        |              |

Fuente: Elaboración Propia

Figura 19

*Absorción del agregado grueso*



Fuente: Elaboración Propia - Muestra los valores de Absorción de las tres muestras

**8.1.1.4. Resultados del contenido de humedad del agregado grueso**

En la siguiente Tabla 25 se puede apreciar los resultados que se han obtenido en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil para el contenido de humedad del agregado grueso, con la cual se obtuvo el valor promedio de 1.22%.

Tabla 25

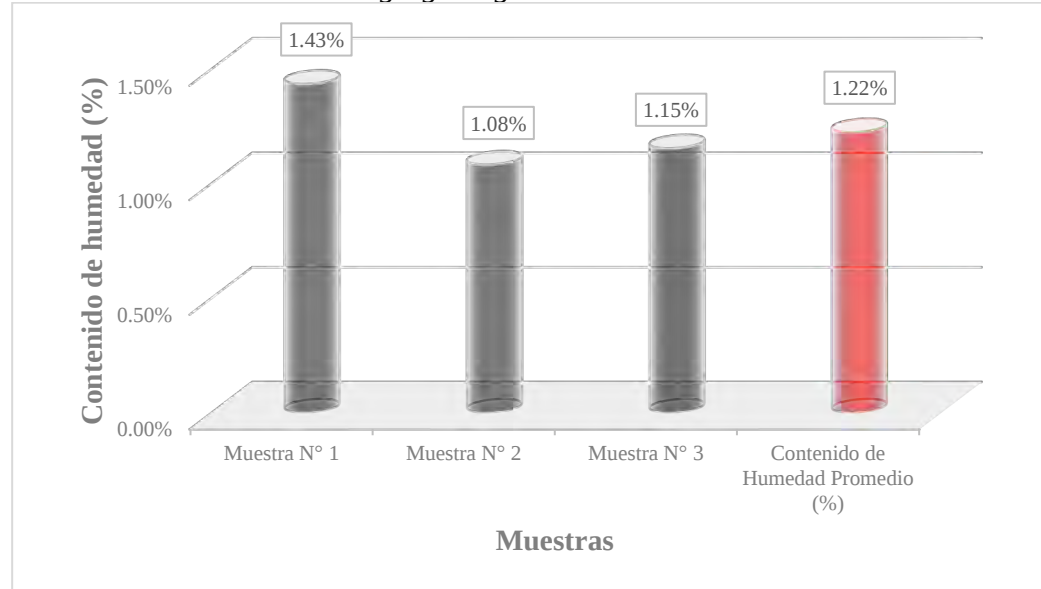
*Contenido de humedad del agregado grueso*

| CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO         |              |              |              |
|--------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E108/ASTM D 2216               |              |              |              |
| Descripción                                      | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |
| (1) Peso del frasco + Peso del suelo húmedo (gr) | 89.95        | 89.76        | 92.73        |
| (2) Peso del frasco + Peso del suelo seco (gr)   | 88.98        | 89.03        | 91.92        |
| (3) Peso del agua (gr) (1)-(2)                   | 0.97         | 0.73         | 0.81         |
| (4) Peso del frasco (gr)                         | 21.35        | 21.54        | 21.64        |
| (5) Peso del suelo seco(gr) (2)-(4)              | 67.63        | 67.49        | 70.28        |
| (6) Contenido de humedad (%) (3) / (5)           | 1.43%        | 1.08%        | 1.15%        |
| <b>Contenido de Humedad Promedio (%)</b>         | <b>1.22%</b> |              |              |

Fuente: Elaboración Propia

Figura 20

*Contenido de humedad del agregado grueso*



Fuente: Elaboración Propia - Muestra los valores de Contenido de Humedad de las tres muestras

#### 8.1.1.5. Resultados de abrasión de los ángeles del agregado grueso

En la siguiente Tabla 26 se puede apreciar los resultados que se han obtenido en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil para el ensayo de abrasión de los ángeles del agregado grueso, con la cual se obtuvo el valor promedio de 26.13%.

Tabla 26

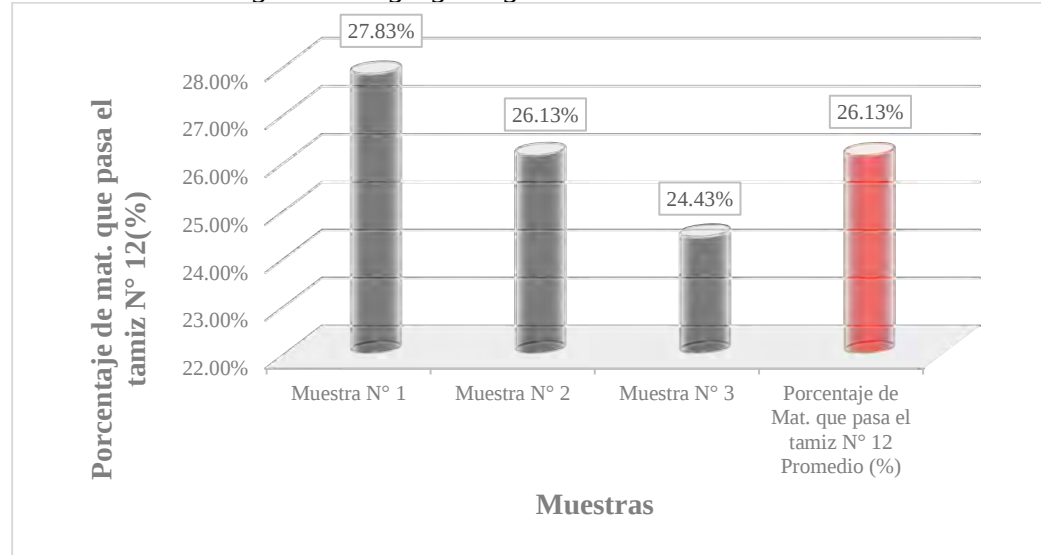
*Abrasión de los ángeles del agregado grueso*

| ABRASIÓN DE LOS ANGELES DEL AGREGADO GRUESO                              |               |               |               |
|--------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E207/ASTM C 117                                        |               |               |               |
| Descripción                                                              | Muestra N° 1  | Muestra N° 2  | Muestra N° 3  |
| (Pi) Peso del material seco antes del ensayo(gr)                         | 5000.00       | 5000.00       | 5000.00       |
| (A) Peso del material seco después del ensayo + Peso del recipiente (gr) | 4011.06       | 4095.77       | 4180.91       |
| (B) Peso del recipiente (gr)                                             | 402.47        | 402.47        | 402.47        |
| (Pf) Peso del material después del ensayo(gr) (A)-(B)                    | 3608.59       | 3693.30       | 3778.44       |
| (Pr) Peso del residuo filtrado seco (gr) (Pi)-(Pf)                       | 1391.41       | 1306.70       | 1221.56       |
| <b>(D) Porcentaje de Desgaste (%) (3) / (1)</b>                          | <b>27.83%</b> | <b>26.13%</b> | <b>24.43%</b> |
| <b>Porcentaje de Desgaste Promedio (%)</b>                               | <b>26.13%</b> |               |               |

Fuente: Elaboración Propia

Figura 21

*Abrasión de los ángeles del agregado grueso*



Fuente: Elaboración Propia - Muestra los valores de Abrasión de los Ángeles de las tres muestras

#### 8.1.1.6. Resultados de cantidad de material fino que pasa el tamiz N° 200 del agregado grueso

En la siguiente Tabla 27 se puede apreciar los resultados que se han obtenido en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil para la cantidad de material fino que pasa el tamiz N° 200 del agregado grueso, con la cual se obtuvo el valor promedio de 0.86%.

Tabla 27

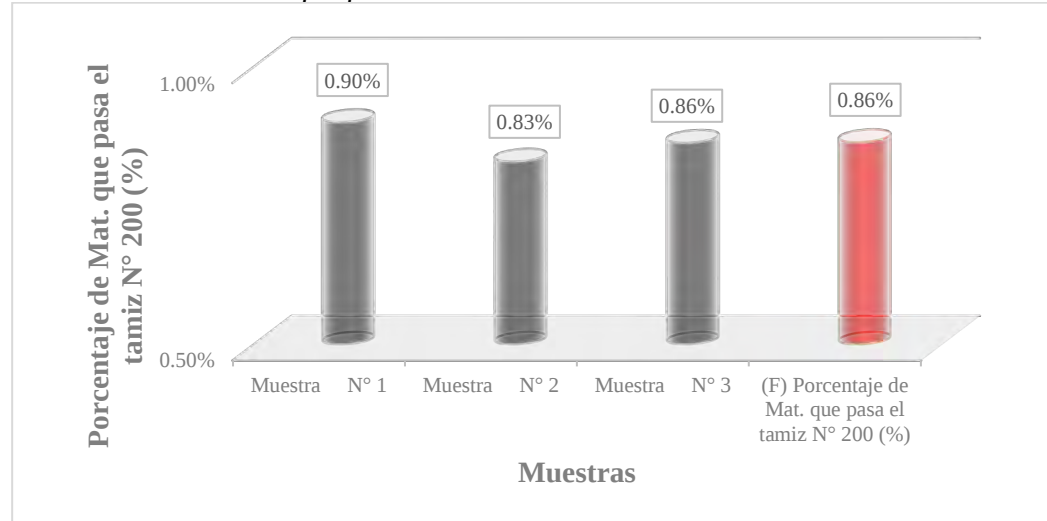
*Cantidad de material fino que pasa el tamiz N° 200*

| CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ N° 200                     |               |              |              |  |
|------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------|--------------|--|
| CLASIFICACIÓN MTC E 202/ASTM C 117                                     |               |              |              |  |
| Descripción                                                            | Muestra N° 1  | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |  |
| (A) Peso del material seco antes del lavado(gr)                        | 500.76        | 500.14       | 500.25       |  |
| (B) Peso de recipiente(gr)                                             | 49.34         | 69.36        | 66.46        |  |
| (C) Peso del material seco después del lavado+ Peso de recipiente (gr) | 545.59        | 565.35       | 562.39       |  |
| (D) Peso del material seco después del lavado (gr)                     | 496.25        | 495.99       | 495.93       |  |
| (E) Peso del residuo filtrado seco (gr)                                | (A)-(D) 4.51  | 4.15         | 4.32         |  |
| (F) Porcentaje de Mat. que pasa el tamiz N° 200 (%)                    | (E)/(A) 0.90% | 0.83%        | 0.86%        |  |
| Porcentaje de Mat. que pasa el tamiz N° 200 Promedio (%)               |               | 0.86%        |              |  |

Fuente: Elaboración propia

Figura 22

*Cantidad de material que pasa el tamiz N° 200*



Fuente: Elaboración propia - Muestra los valores de Cantidad de Material que pasa el Tamiz N° 200 de las tres muestras

#### 8.1.1.7. Resultados del análisis fisicoquímico del agregado grueso

En la siguiente Tabla 28 se muestra el resultado que se ha obtenido en laboratorio de contenido de cloruros y contenido de sulfatos del agregado, con la cual se obtuvo el valor de 10.80 ppm y 36.60 ppm respectivamente.

Tabla 28

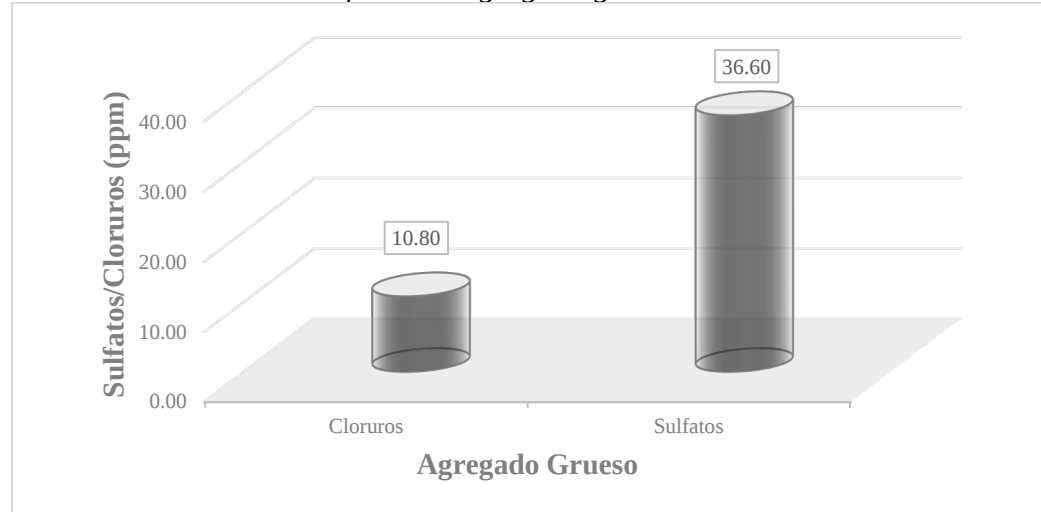
*Contenido de cloruros y sulfatos del agregado grueso*

| CONTENIDO DE CLORUROS /SULFATOS DEL AGREGADO GRUESO |                |                 |
|-----------------------------------------------------|----------------|-----------------|
| CLASIFICACIÓN ASTM D512/ASTM C516                   |                |                 |
|                                                     |                | Agregado grueso |
| Contenido de cloruros                               | ppm            | 10.80           |
|                                                     | porcentaje (%) | 0.0011          |
| Contenido de sulfatos                               | ppm            | 36.60           |
|                                                     | porcentaje (%) | 0.0037          |

Fuente: Elaboración propia

Figura 23

Contenido de cloruros/sulfatos del agregado grueso



Fuente: Elaboración propia - Muestra el valor de Contenido de Cloruros/Sulfatos

## 8.1.2. Agregado fino (cantera rio Apurímac)

### 8.1.2.1. Resultados del análisis granulométrico del agregado fino

En la siguiente Tabla 29 se puede apreciar el resultado para el análisis granulométrico del agregado fino que se ha obtenido en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, la cual se encuentra dentro del límite inferior y superior.

Tabla 29

Análisis granulométrico del agregado fino

| ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO |               |                    |                    |                      |                      |                 |                 |
|-------------------------------------------|---------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|-----------------|-----------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E204/ASTM C 136         |               |                    |                    |                      |                      |                 |                 |
| Tipo de material                          |               | Agregado fino      |                    |                      |                      |                 |                 |
| Peso inicial seco (gr)                    |               | 2000.00            | gr                 |                      |                      |                 |                 |
| Tamices ASTM                              | Abertura (mm) | Peso Retenido (gr) | % Retenido Parcial | % Retenido Acumulado | % Acumulado Que Pasa | Límite inferior | Límite Superior |
| 3/8"                                      | 9.5           | 0.00               | 0.00%              | 0.00%                | 100%                 | 100%            | 100%            |
| No. 4                                     | 4.75          | 1.38               | 0.07%              | 0.07%                | 100%                 | 95%             | 100%            |
| No. 8                                     | 2.36          | 366.49             | 18.32%             | 18.39%               | 82%                  | 80%             | 100%            |
| No. 16                                    | 1.18          | 438.10             | 21.91%             | 40.30%               | 60%                  | 50%             | 85%             |
| No. 30                                    | 0.600         | 575.19             | 28.76%             | 69.06%               | 31%                  | 25%             | 60%             |
| No. 50                                    | 0.300         | 390.42             | 19.52%             | 88.58%               | 11%                  | 5%              | 30%             |
| No. 100                                   | 0.150         | 188.02             | 9.40%              | 97.98%               | 2%                   | 0%              | 10%             |
| No. 200                                   | 0.075         | 29.84              | 1.49%              | 99.47%               | 1%                   | 0%              | 5%              |
| > No. 200                                 |               | 10.56              | 0.53%              | 100.00%              | 0%                   |                 |                 |
| TOTAL                                     |               | 2000.00            | 100.00%            |                      |                      |                 |                 |

Fuente: Elaboración propia

Para la obtención del módulo de fineza del agregado fino se utilizó la siguiente ecuación, este valor debe estar dentro del rango 2.35 y 3.15.

$$MF = \frac{\sum \% \text{ retenido acumulado } (6'' + 3'' + 1\frac{1}{2}'' + 3/4'' + 3/8'' + N^{\circ} 4 + N^{\circ} 8 + N^{\circ} 16 + N^{\circ} 30 + N^{\circ} 50 + N^{\circ} 100)}{100}$$

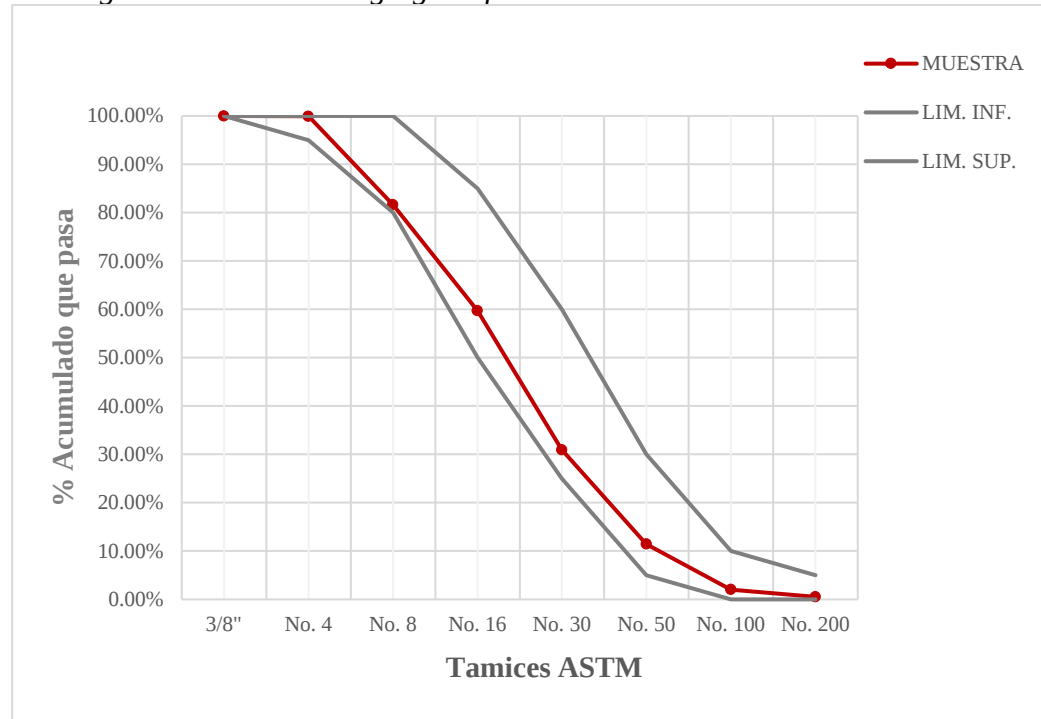
$$MF = \frac{(0.00\% + 0.07\% + 18.39\% + 40.30\% + 69.06\% + 88.58\% + 97.98\%) \times 100}{100}$$

$$MF = 3.14$$

El resultado de módulo de fineza para el agregado fino fue de 3.14 la cual está dentro de los límites.

Figura 24

*Curva granulométrica del agregado fino*



Fuente: Elaboración propia - Muestra la Curva Granulométrica obtenida

#### 8.1.2.2. Resultados del peso unitario y vacíos del agregado fino

En la siguiente Tabla 30 se puede apreciar los resultados que se han obtenido en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil para el peso unitario suelto del agregado fino, con la cual se obtuvo el valor promedio de 1.645 gr/cm<sup>3</sup> que equivale a 1645 kg/m<sup>3</sup>.

Tabla 30

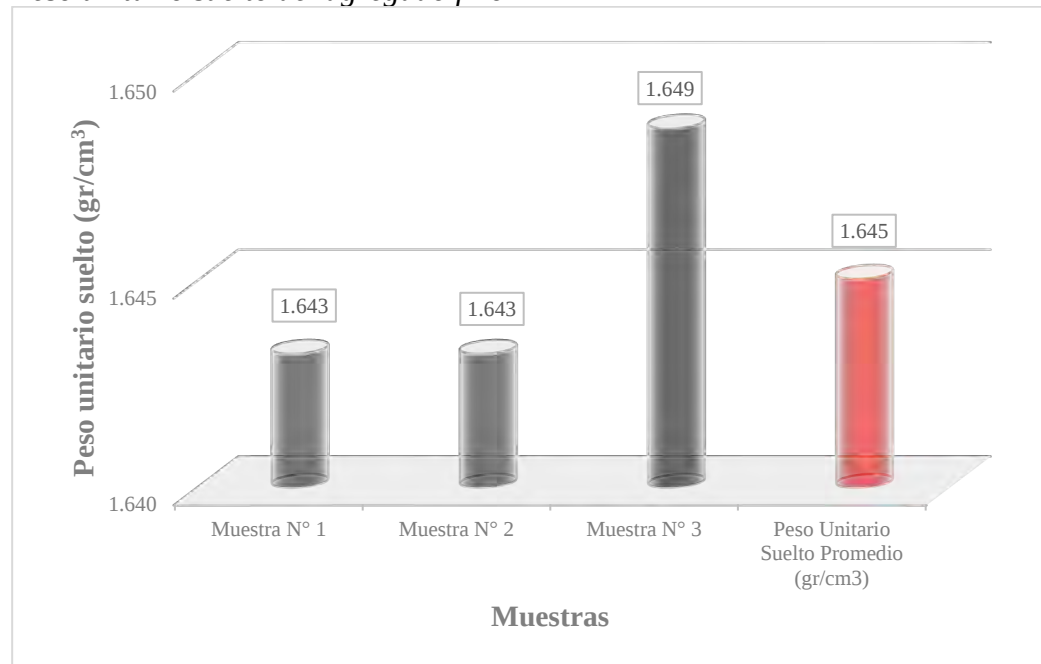
*Peso unitario suelto del agregado fino*

| <b>PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO</b>                 |                     |                     |                     |
|---------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E203/ASTM C 29                              |                     |                     |                     |
| <b>Descripción</b>                                            | <b>Muestra N° 1</b> | <b>Muestra N° 2</b> | <b>Muestra N° 3</b> |
| (A) Peso del material + Peso del molde (gr)                   | 5760.00             | 5760.00             | 5765.00             |
| (B) Peso del molde (gr)                                       | 4250.00             | 4250.00             | 4250.00             |
| (C) Peso del material (gr) (A)-(B)                            | 1510.00             | 1510.00             | 1515.00             |
| (D) Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )                      | 918.92              | 918.92              | 918.92              |
| <b>(E) Peso unitario suelto (gr/cm<sup>3</sup>) (C) / (D)</b> | <b>1.643</b>        | <b>1.643</b>        | <b>1.649</b>        |
| <b>Peso Unitario Suelto Promedio (gr/cm<sup>3</sup>)</b>      | <b>1.645</b>        |                     |                     |

Fuente: Elaboración propia

Figura 25

*Peso unitario suelto del agregado fino*



Fuente: Elaboración propia - Muestra los valores de Peso Unitario Suelto de las tres muestras

En la siguiente Tabla 31 se puede apreciar los resultados que se han obtenido en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil para el peso unitario compactado del agregado fino, con la cual se obtuvo el valor promedio de 1.742 gr/cm<sup>3</sup> que equivale al valor de 1742 kg/m<sup>3</sup>.

Tabla 31

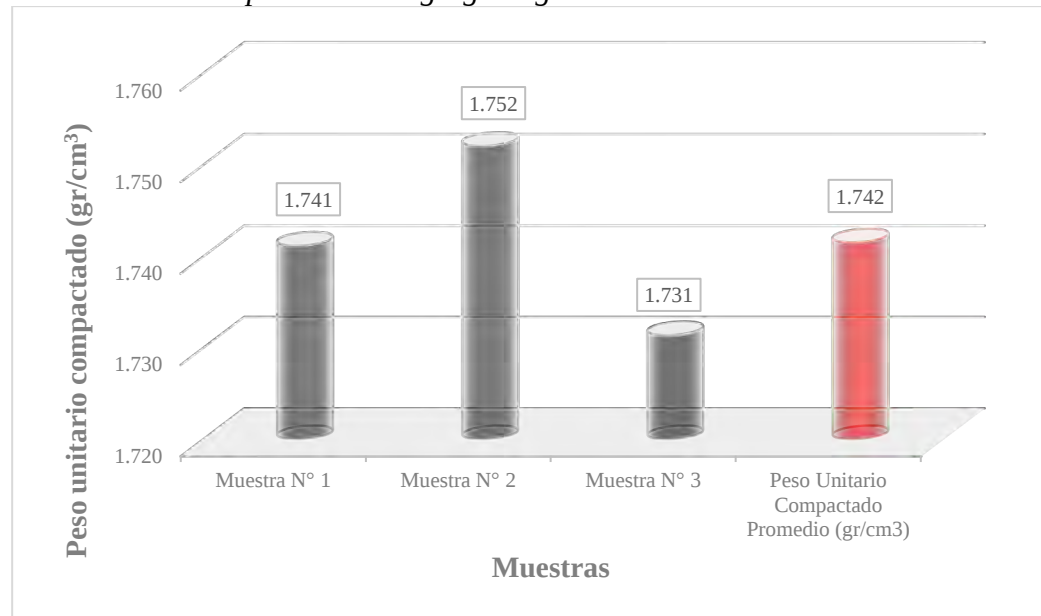
*Peso unitario compactado del agregado fino*

| <b>PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO</b>                 |                     |                     |                     |
|-------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 203/ASTM C 29                                 |                     |                     |                     |
| <b>Descripción</b>                                                | <b>Muestra N° 1</b> | <b>Muestra N° 2</b> | <b>Muestra N° 3</b> |
| Número de capas                                                   | 3                   | 3                   | 3                   |
| Número de golpes                                                  | 25                  | 25                  | 25                  |
| (A) Peso del material + Peso del molde (gr)                       | 5850.00             | 5860.00             | 5841.00             |
| (B) Peso del molde (gr)                                           | 4250.00             | 4250.00             | 4250.00             |
| (C) Peso del material (gr) <b>(A)-(B)</b>                         | 1600.00             | 1610.00             | 1591.00             |
| (D) Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )                          | 918.92              | 918.92              | 918.92              |
| <b>(E) Peso unitario compactado (gr/cm<sup>3</sup>) (C) / (D)</b> | <b>1.741</b>        | <b>1.752</b>        | <b>1.731</b>        |
| <b>Peso Unitario Compactado Promedio (gr/cm<sup>3</sup>)</b>      | <b>1.742</b>        |                     |                     |

Fuente: Elaboración propia

Figura 26

*Peso unitario compactado del agregado grueso*



Fuente: Elaboración propia - Muestra los valores de Peso Unitario Compactado de las tres muestras

### 8.1.2.3. Resultados de gravedad específica y absorción del agregado fino

En la siguiente Tabla 32 se puede apreciar los resultados que se han obtenido en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil para la gravedad específica del agregado fino, con la cual se obtuvo el valor promedio de 2.57 gr/cm<sup>3</sup>.

Tabla 32

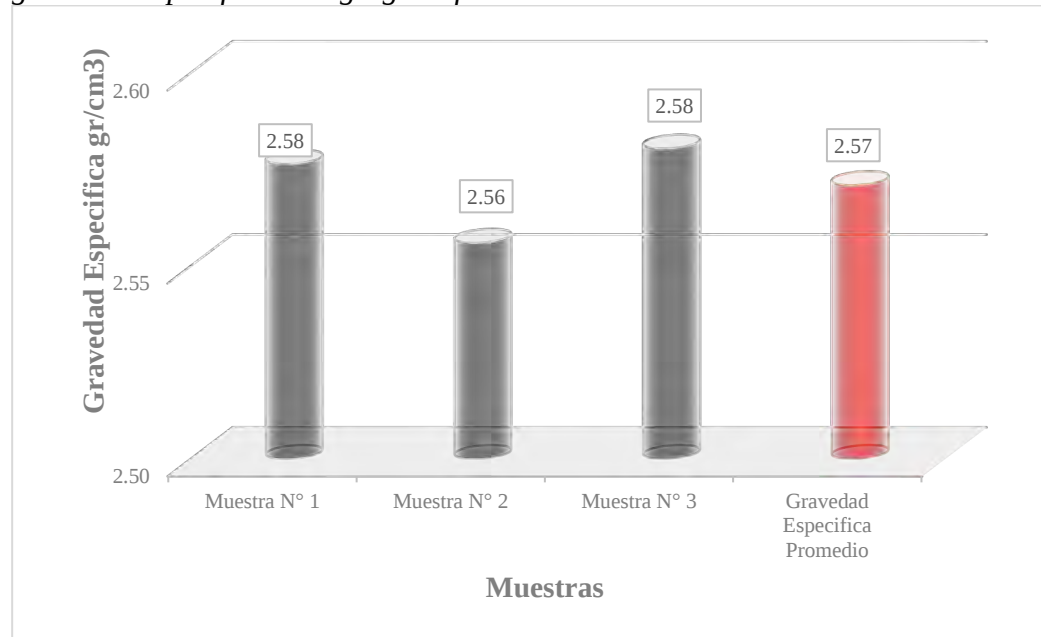
*Gravedad específica del agregado fino*

| GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO FINO                                                  |                 |                 |                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 205/ASTM C 128                                                     |                 |                 |                 |
| Descripción                                                                            | Muestra<br>N° 1 | Muestra<br>N° 2 | Muestra<br>N° 3 |
| (A) Vol. Picnómetro (ml)                                                               | 500.00          | 500.00          | 500.00          |
| (B) Peso de la muestra seca en el horno + Peso recipiente (gr)                         | 566.48          | 559.04          | 556.38          |
| (C) Peso recipiente (gr)                                                               | 74.69           | 69.36           | 66.46           |
| (D) Peso de la muestra seca en el horno (gr) (B)-(C)                                   | 491.79          | 489.68          | 489.92          |
| (E) Peso del picnómetro + agua hasta la marca (gr)                                     | 638.57          | 639.34          | 638.58          |
| (F) Peso del picnómetro con agua +Peso de la muestra saturada con superficie seca (gr) | 944.50          | 943.72          | 944.81          |
| (G) Peso de la muestra saturada con superficie seca (gr)                               | 500.00          | 500.00          | 500.00          |
| (H) Gravedad específica aparente (gr/cm <sup>3</sup> ) (D) / (E+G-F)                   | 2.53            | 2.50            | 2.53            |
| (I) Gravedad específica aparente saturado (gr/cm <sup>3</sup> ) (G) / (E+G-F)          | 2.58            | 2.56            | 2.58            |
| (J) Gravedad específica nominal (gr/cm <sup>3</sup> ) (D) / (E+D-F)                    | 2.65            | 2.64            | 2.67            |
| Gravedad Específica Promedio (gr/cm <sup>3</sup> )                                     | 2.57            |                 |                 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 27

*gravedad específica del agregado fino*



Fuente: Elaboración propia - Muestra los valores de Gravedad Específica de las tres muestras

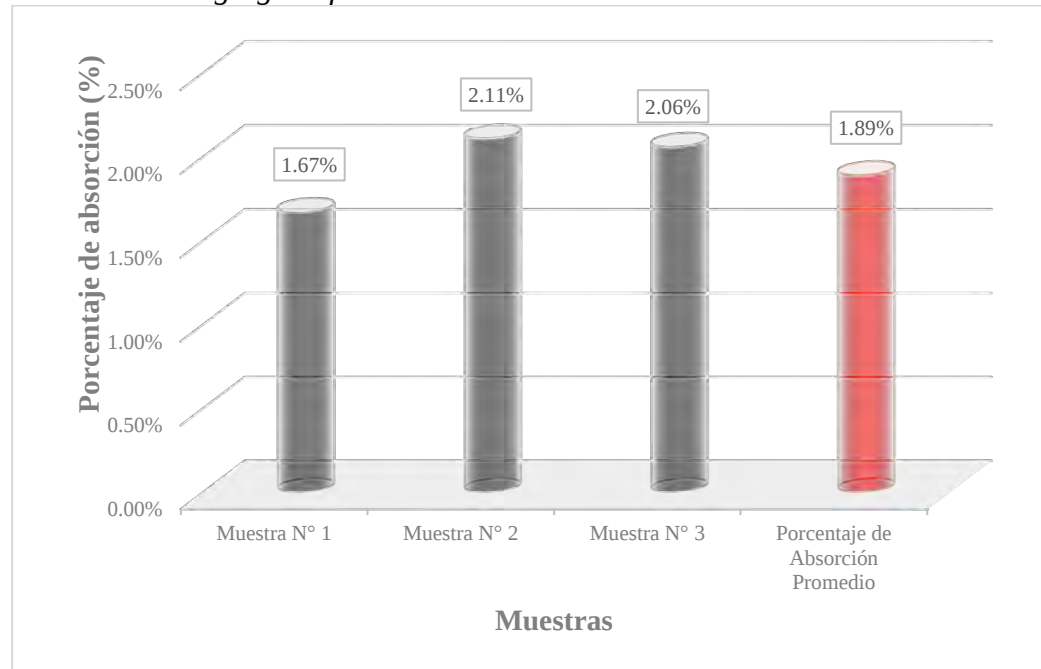
En la siguiente Tabla 33 se puede apreciar los resultados que se han obtenido en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil para el porcentaje de absorción del agregado fino, con la cual se obtuvo el valor de 1.89%.

Tabla 33  
Absorción del agregado fino

| ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO                              |              |              |              |
|----------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E205/ASTM C 128                        |              |              |              |
| Descripción                                              | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |
| (D) Peso de la muestra seca en el horno (gr)             | 491.79       | 489.68       | 489.92       |
| (G) Peso de la muestra saturada con superficie seca (gr) | 500.00       | 500.00       | 500.00       |
| (K) Peso del agua absorbida (gr) (G)-(D)                 | 8.21         | 10.32        | 10.08        |
| <b>(Ab) Porcentaje de Absorción (%)</b> (K)x100 / (D)    | <b>1.67%</b> | <b>2.11%</b> | <b>2.06%</b> |
| <b>Porcentaje de Absorción Promedio</b>                  | <b>1.89%</b> |              |              |

Fuente: Elaboración propia

Figura 28  
Absorción del agregado fino



Fuente: Elaboración propia - Muestra los valores de Absorción de las tres muestras

#### 8.1.2.4. Resultados del contenido de humedad del agregado fino

En la siguiente Tabla 34 se puede apreciar los resultados que se han obtenido en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil para el contenido de humedad del agregado fino, con la cual se obtuvo el valor promedio de 1.22%.

Tabla 34

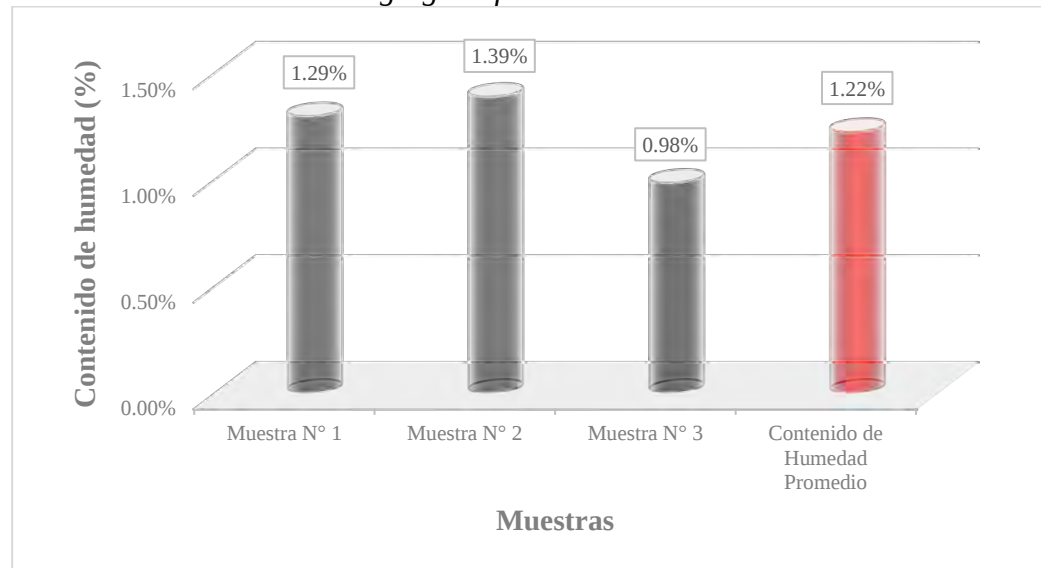
*Contenido de humedad del agregado fino*

| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO</b>        |              |              |              |
|------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E108/ASTM D 2216                   |              |              |              |
| Descripción                                          | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |
| (A) Peso del frasco + Peso de la muestra húmeda (gr) | 90.49        | 90.32        | 90.3         |
| (B) Peso del frasco + Peso de la muestra seca (gr)   | 89.61        | 89.38        | 89.63        |
| (Pa) Peso del agua (gr) (A)-(B)                      | 0.88         | 0.94         | 0.67         |
| (Pf) Peso del frasco (gr)                            | 21.65        | 21.56        | 21.47        |
| (Pms) Peso de la muestra seca (gr) (B)-(Pf)          | 67.96        | 67.82        | 68.16        |
| <b>(W) Contenido de Humedad (%)</b> (Pa) / (Pms)     | <b>1.29%</b> | <b>1.39%</b> | <b>0.98%</b> |
| <b>Contenido de Humedad Promedio</b>                 | <b>1.22%</b> |              |              |

Fuente: Elaboración propia

Figura 29

*Contenido de humedad del agregado fino*



Fuente: Elaboración propia - Muestra los valores de Contenido de Humedad de las tres muestras

#### 8.1.2.5. Resultados de cantidad de material fino que pasa el tamiz N° 200 del agregado fino

En la siguiente Tabla 35 se puede apreciar los resultados que se han obtenido en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil para la cantidad de material fino que pasa el tamiz N° 200 del agregado fino, con la cual se obtuvo el valor promedio de 0.53%.

Tabla 35

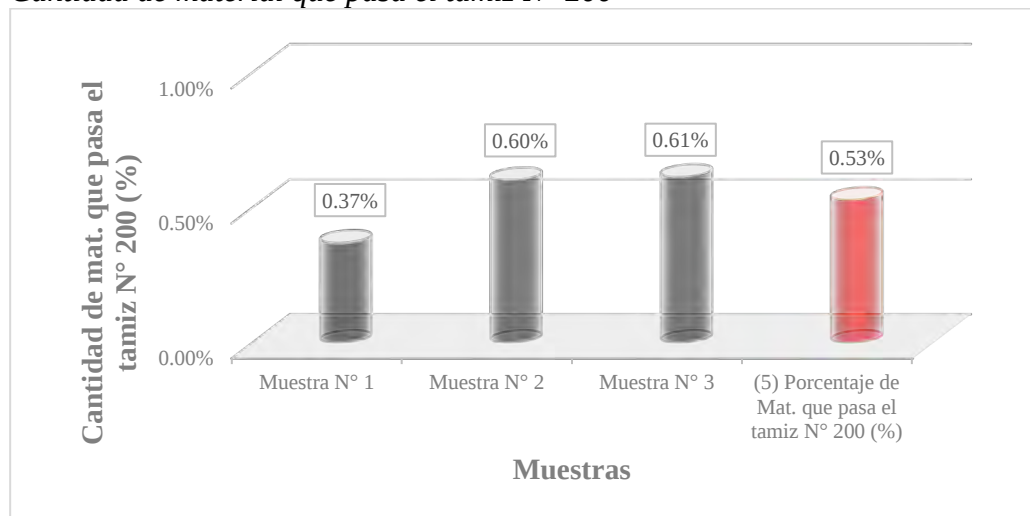
*Cantidad de material fino que pasa el tamiz N° 200*

| <b>CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ N° 200</b>              |              |              |              |  |
|------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--|
| CLASIFICACIÓN MTC E 202/ASTM C 117                                     |              |              |              |  |
| Descripción                                                            | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |  |
| (A) Peso del material seco antes del lavado(gr)                        | 500.00       | 500.00       | 500.00       |  |
| (B) Peso de recipiente(gr)                                             | 74.59        | 69.36        | 66.46        |  |
| (C) Peso del material seco después del lavado+ Peso de recipiente (gr) | 572.74       | 566.35       | 563.39       |  |
| (D) Peso del material seco después del lavado (gr)                     | 498.15       | 496.99       | 496.93       |  |
| (E) Peso del residuo filtrado seco (gr) (A)-(D)                        | 1.85         | 3.01         | 3.07         |  |
| (F) Porcentaje de Mat. que pasa el tamiz N° 200 (%) (E)/(A)            | 0.37%        | 0.60%        | 0.61%        |  |
| <b>Porcentaje de Mat. que pasa el tamiz N° 200 Promedio (%)</b>        |              | <b>0.53%</b> |              |  |

Fuente: Elaboración propia

Figura 30

*Cantidad de material que pasa el tamiz N° 200*



Fuente: Elaboración propia - Muestra los valores de Cantidad de Material que pasa el Tamiz N° 200 de las tres muestras

#### 8.1.2.6. Resultados del análisis fisicoquímico del agregado fino

En la siguiente Tabla 36 se muestra el resultado se han obtenido en laboratorio de contenido de cloruros y contenido de sulfatos del agregado fino obtenido del Río Apurímac de la provincia de Espinar, con la cual se obtuvo el valor de 6.60 y 24.30ppm respectivamente.

Tabla 36

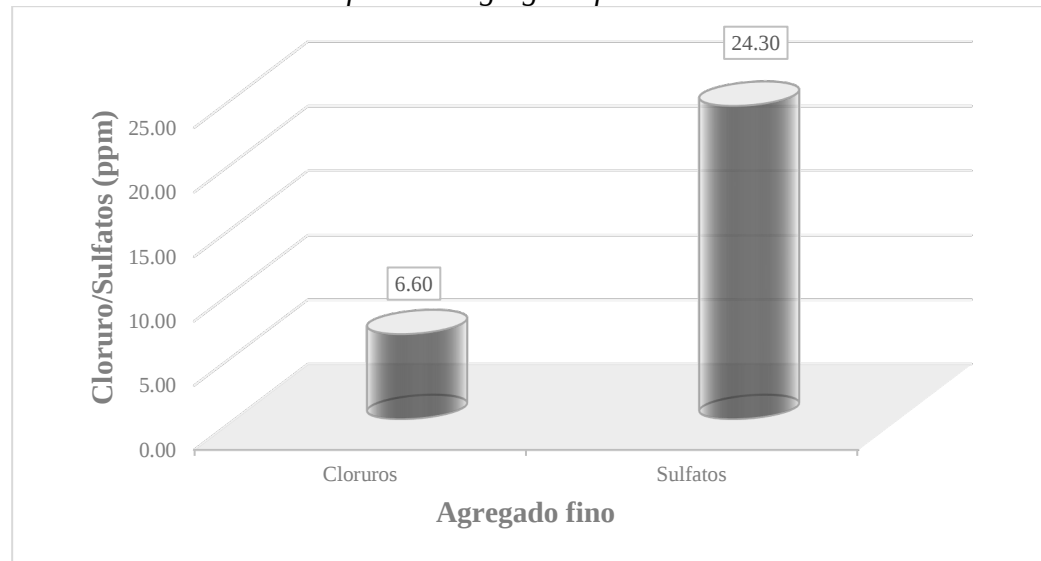
*Contenido de cloruros y sulfatos del agregado fino*

| CONTENIDO DE CLORUROS /SULFATOS DEL AGREGADO FINO |                |              |
|---------------------------------------------------|----------------|--------------|
| CLASIFICACIÓN ASTM D512/ASTM C516                 |                |              |
|                                                   |                | Arena gruesa |
| Contenido de cloruros                             | ppm            | 6.60         |
|                                                   | porcentaje (%) | 0.0007       |
| Contenido de sulfatos                             | ppm            | 24.30        |
|                                                   | porcentaje (%) | 0.0024       |

Fuente: Elaboración propia

Figura 31

*Contenido de cloruros/sulfatos del agregado fino*



Fuente: Elaboración propia - Muestra el valor contenido de cloruros/ sulfatos de la muestra

### 8.1.3. Relave minero (Ccamacmayo)

#### 8.1.3.1. Resultados del análisis granulométrico del relave minero

En la siguiente Tabla 37 se puede apreciar los datos obtenidos en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil para el análisis granulométrico del relave minero.

Tabla 37

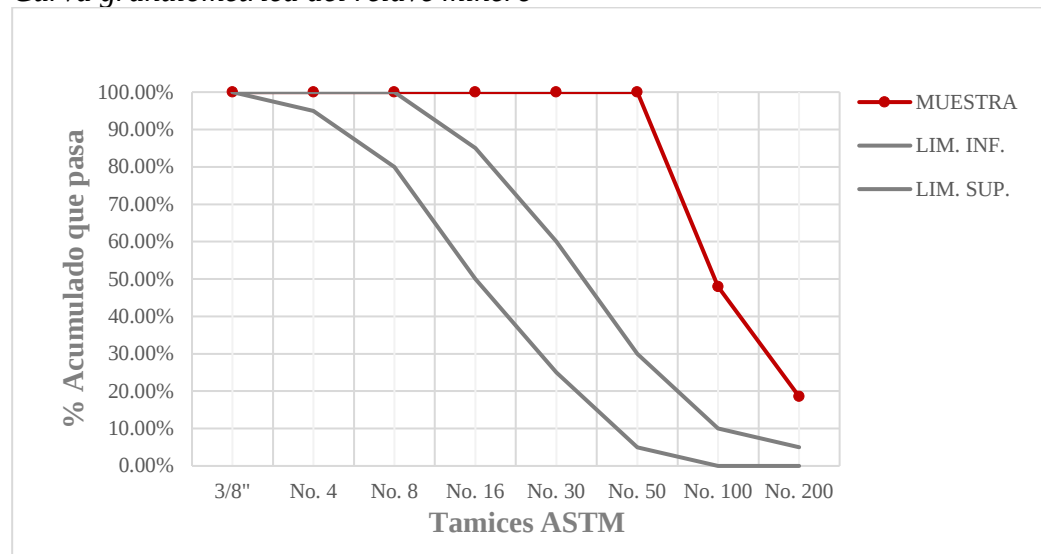
*Análisis granulométrico de relave minero*

| ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL RELAVE MINERO |               |                    |                    |                      |                      |                 |                 |
|-------------------------------------------|---------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|-----------------|-----------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E204/ASTM C 136         |               |                    |                    |                      |                      |                 |                 |
| <b>Tipo de material</b>                   |               | Relave minero      |                    |                      |                      |                 |                 |
| <b>Peso inicial seco (gr)</b>             |               | 1000.00            | gr                 |                      |                      |                 |                 |
| Tamices ASTM                              | Abertura (mm) | Peso Retenido (gr) | % Retenido Parcial | % Retenido Acumulado | % Acumulado Que Pasa | Límite inferior | Límite Superior |
| 3/8"                                      | 9.5           | 0.00               | 0.00%              | 0.00%                | 100%                 | 100%            | 100%            |
| No. 4                                     | 4.75          | 0.00               | 0.00%              | 0.00%                | 100%                 | 95%             | 100%            |
| No. 8                                     | 2.36          | 0.00               | 0.00%              | 0.00%                | 100%                 | 80%             | 100%            |
| No. 16                                    | 1.18          | 0.00               | 0.00%              | 0.00%                | 100%                 | 50%             | 85%             |
| No. 30                                    | 0.600         | 0.00               | 0.00%              | 0.00%                | 100%                 | 25%             | 60%             |
| No. 50                                    | 0.300         | 0.00               | 0.00%              | 0.00%                | 100%                 | 5%              | 30%             |
| No. 100                                   | 0.150         | 520.81             | 52.08%             | 52.08%               | 48%                  | 0%              | 10%             |
| No. 200                                   | 0.075         | 293.70             | 29.37%             | 81.45%               | 19%                  | 0%              | 5%              |
| > No. 200                                 |               | 185.49             | 18.55%             | 100.00%              | 0%                   |                 |                 |
| TOTAL                                     |               | 1000.00            | 100.00%            |                      |                      |                 |                 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 32

*Curva granulométrica del relave minero*



Fuente: Elaboración propia - Muestra la Curva Granulométrica obtenida

Para la obtención del módulo de fineza del relave minero se utilizará la siguiente ecuación.

$$MF = \frac{\sum \% \text{ retenido acumulado } (6'' + 3'' + 1\frac{1}{2}'' + 3/4'' + 3/8'' + N^{\circ} 4 + N^{\circ} 8 + N^{\circ} 16 + N^{\circ} 30 + N^{\circ} 50 + N^{\circ} 100)}{100}$$

$$MF = \frac{(0.00\% + 0.00\% + 0.00\% + 0.00\% + 0.00\% + 0.00\% + 52.08\%) \times 100}{100}$$

$$MF = 0.52$$

El valor obtenido según la ecuación anterior para el cálculo de módulo de fineza para el relave minero es de 0.52

**8.1.3.2. Resultados del peso unitario y vacíos del relave minero**

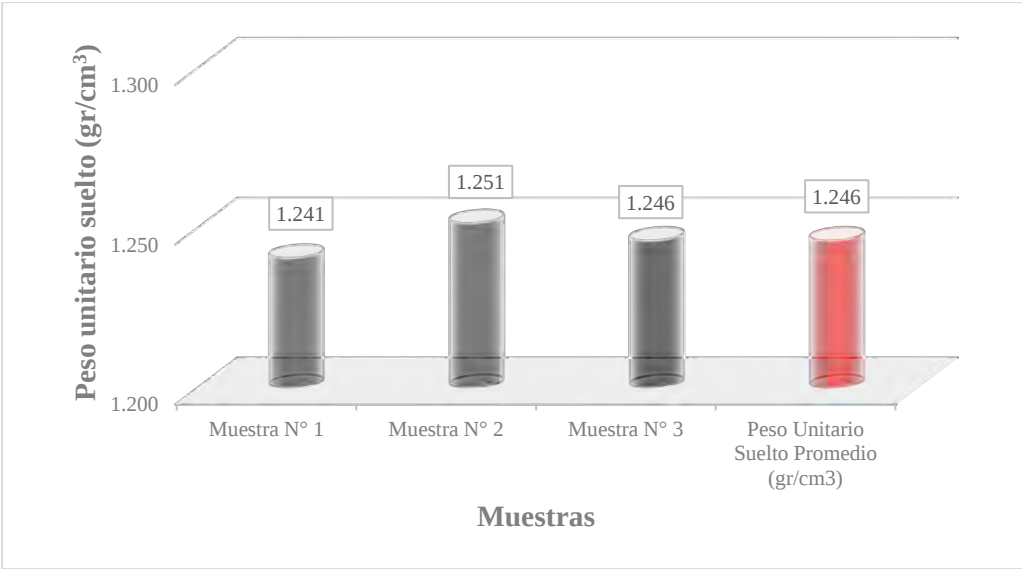
En la siguiente Tabla 38 se puede apreciar los datos obtenidos en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil para el peso unitario suelto del relave minero.

Tabla 38  
*Peso unitario suelto del agregado fino*

| PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO             |              |              |              |
|----------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E203/ASTM C 29                   |              |              |              |
| Descripción                                        | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |
| (1) Peso del material + Peso del molde (gr)        | 5390.00      | 5400.00      | 5395.00      |
| (2) Peso del molde (gr)                            | 4250.00      | 4250.00      | 4250.00      |
| (3) Peso del material (gr) (1)-(2)                 | 1140.00      | 1150.00      | 1145.00      |
| (4) Volumen del molde (cm³)                        | 918.92       | 918.92       | 918.92       |
| (5) <b>Peso unitario suelto (gr/cm³)</b> (3) / (4) | <b>1.241</b> | <b>1.251</b> | <b>1.246</b> |
| <b>Peso Unitario Suelto Promedio (gr/cm³)</b>      | <b>1.246</b> |              |              |

Fuente: Elaboración propia

Figura 33  
*Peso unitario suelto del relave minero*



Fuente: Elaboración propia- Muestra los valores de Peso Unitario Suelto de las tres muestras

### 8.1.3.1. Resultados de gravedad específica y absorción del relave minero

En la siguiente Tabla 39 se puede apreciar los datos obtenidos en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil para la gravedad específica del relave minero, con la cual se obtuvo el valor de 2.21 gr/cm<sup>3</sup>.

Tabla 39

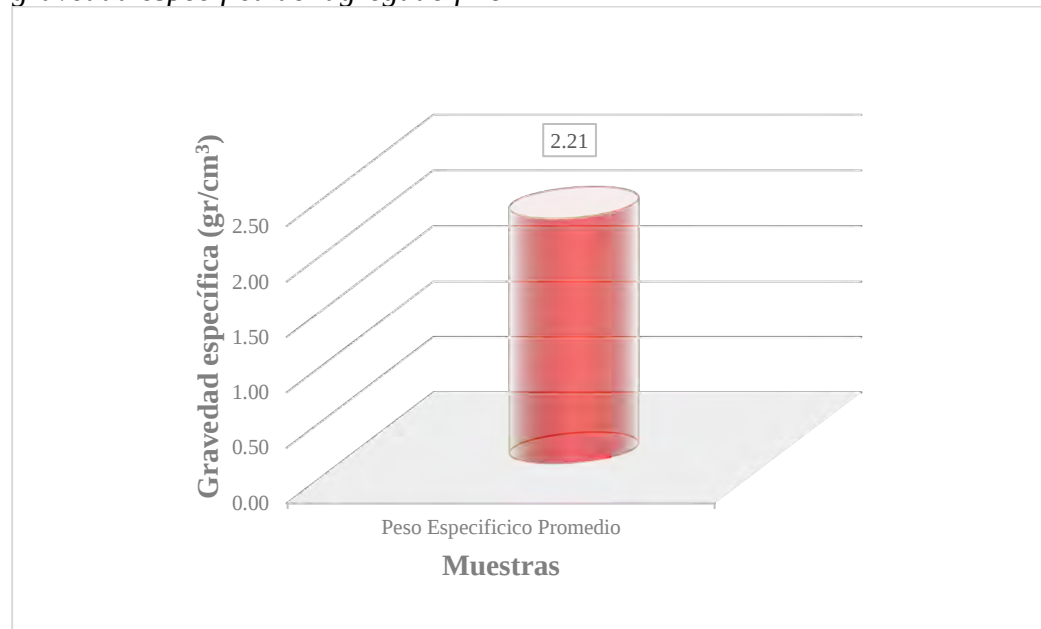
*Gravedad específica del agregado fino*

| GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL RELAVE MINERO                                                  |                      |              |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 205/ASTM C 128                                                     |                      |              |
| Descripción                                                                            |                      | Muestra N° 1 |
| Tipo de frasco utilizado                                                               |                      | Picnómetro   |
| (1) Vol. Picnómetro (ml)                                                               |                      | 500.00       |
| (A) Peso de la muestra seca en el horno (gr)                                           |                      | 200.00       |
| (B) Peso del picnómetro + agua hasta la marca (gr)                                     |                      | 641.43       |
| (C) Peso del picnómetro con agua +Peso de la muestra saturada con superficie seca (gr) |                      | 750.93       |
| <b>(10) Densidad relativa aparente (Gravedad específica)</b>                           | <b>(A) / (B+A-C)</b> | <b>2.21</b>  |
| <b>Gravedad Específica Promedio</b>                                                    |                      | <b>2.21</b>  |

Fuente: Elaboración propia

Figura 34

*gravedad específica del agregado fino*



Fuente: Elaboración propia - Muestra el valor de Gravedad Específica de la muestra

## 8.2. Resultados para el Diseño de Mezcla (Método ACI 211.1)

### 8.2.1. Resultado de diseño de concreto patrón de $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ (DCP)

Paso 1: Determinar la resistencia de diseño  $f'_{cr}$

Debido a que no se tiene registros de los resultados de ensayo a compresión se utilizó la Tabla 5 para obtener la resistencia de diseño.

$$f_{cr} = f_c + 84 = 210 + 84 = 294 \text{ kg/cm}^2$$

Paso 2: Elegir TMN del agregado

Según el agregado grueso que se utilizó tiene un TMN=1/2"

Paso 3: Elegir la consistencia

Según la tabla 6 y 7 se utilizó para el diseño un asentamiento de 3"-4"

Paso 4: Elegir el volumen unitario de agua de diseño

Según la tabla 8 el contenido de agua de mezclado para el diseño será de  $216 \text{ l/m}^3$

Paso 5: Elegir el contenido de aire atrapado y/ incorporado

Según la tabla 9 el contenido de aire atrapado será de 2.50%.

Paso 6: Elegir a/c por resistencia

Según la tabla 10 la relación de agua/cemento en peso será de 0.56

Paso 7: Determinar el factor cemento (C)

$$C = \frac{A}{(A/C)} = \frac{216}{0.56} = 387.79 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 9.12 \text{ bol/m}^3$$

Paso 8: Determinar el contenido de agregado grueso

De acuerdo a la tabla 12 el volumen de agregado grueso es 0.53.

El peso del agregado grueso será:

Peso Ag. Grueso = Vol. Ag. Grueso x Peso unitario compacto

$$\text{Peso Ag. Grueso} = 0.53 \times 1474.76 = 781.62 \text{ kg/m}^3$$

Paso 9: Suma de volúmenes absolutos

$$\text{Vol. 1} = \text{Vol. Cemento} + \text{Vol. Agua} + \text{Vol. Aire} + \text{Vol. Ag. Grueso}$$

$$\text{Vol. 1} = 0.136\text{m}^3 + 0.216\text{m}^3 + 0.025\text{m}^3 + 0.307\text{m}^3$$

$$\text{Vol. 1} = 0.684\text{m}^3$$

Paso 10: Volumen absoluto del agregado fino

$$\text{Vol. Ag. Fino} = 1 - \text{Vol. 1}$$

$$\text{Vol. Ag. Fino} = 1\text{m}^3 - 0.684\text{m}^3$$

$$\text{Vol. Ag. Fino} = 0.316\text{m}^3$$

Paso 11: Peso seco del agregado fino

$$\text{Peso Ag. Fino} = \text{Vol. Ag. Fino} \times \text{P. Esp. Ag. Fino}$$

$$\text{Peso Ag. Fino} = 0.316\text{m}^3 \times 2.57 \times 1000$$

$$\text{Peso Ag. Fino} = 812.81 \text{ kg/m}^3$$

Paso 12: valores de diseño del cemento, agua, aire, agregado fino y agregado grueso

Cemento = 387.79 (kg/m<sup>3</sup> C°) valor obtenido en el Paso 7

Agua = 216 (l/m<sup>3</sup> C°) valor obtenido en el Paso 4

Agregado fino seco = 812.81 (kg/m<sup>3</sup> C°) valor obtenido en el Paso 11

Agregado grueso seco = 781.62 (kg/m<sup>3</sup> C°) valor obtenido en el Paso 8

Paso 13: Ajustes por humedad de los agregados

Ajuste por humedad el agregado grueso y agregado fino

$$\text{Ag. Fino Húmedo (kg/m}^3 \text{ C}^\circ) = \text{Ag. Fino Seco} \times \left(1 + \frac{\text{Contenido de humedad}}{100}\right)$$

$$\text{Ag. Fino Húmedo (kg/m}^3 \text{ C}^\circ) = 812.81 \times \left(1 + \frac{1.22}{100}\right)$$

$$\text{Ag. Fino Húmedo (kg/m}^3 \text{ C}^\circ) = 822.73 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Ag. Grueso Húmedo (kg/m}^3 \text{ C}^\circ) = \text{Ag. Grueso Seco} \times \left(1 + \frac{\text{Contenido de humedad}}{100}\right)$$

$$\text{Ag. Grueso Húmedo (kg/m}^3 \text{ C}^\circ) = 781.62 \times \left(1 + \frac{1.22}{100}\right)$$

$$\text{Ag. Grueso Húmedo (kg/m}^3 \text{ C}^\circ) = 791.18 \text{ kg/m}^3$$

Cálculo de la humedad superficial de los agregados

$$\text{Humedad superficial (Ag. Fino)(\%)} = \text{Cont. de Humedad} - \text{Absorción}$$

$$\text{Humedad superficial (Ag. Fino)(\%)} = 1.22 - 2.12$$

$$\text{Humedad superficial (Ag. Fino)(\%)} = -0.67$$

$$\text{Humedad superficial (Ag. Grueso)(\%)} = \text{Cont. de Humedad} - \text{Absorción}$$

$$\text{Humedad superficial (Ag. Grueso)(\%)} = 1.22 - 1.89$$

$$\text{Humedad superficial (Ag. Grueso)(\%)} = -0.90$$

Cálculo de aporte de humedad por el agregado

$$\text{Agua(Ag. Fino)(l/m}^3 \text{ C}^\circ) = \text{Ag. Fino Seco} \times \text{Humedad superficial}$$

$$\text{Agua(Ag. Fino)(l/m}^3 \text{ C}^\circ) = \frac{812.81 \times (-0.67)}{100}$$

$$\text{Agua(Ag. Fino)(l/m}^3 \text{ C}^\circ) = -5 \text{ l/m}^3$$

$$\text{Agua(Ag. Grueso)(l/m}^3 \text{ C}^\circ) = \text{Ag. Grueso Seco} \times \text{Humedad superficial}$$

$$\text{Agua(Ag. Grueso)(l/m}^3 \text{ C}^\circ) = \frac{791 - 18 \times (-0.90)}{100}$$

$$\text{Agua(Ag. Grueso)(l/m}^3 \text{ C}^\circ) = -7 \text{ l/m}^3$$

Calculo el Agua efectiva

$$\text{Agua efectiva (l/m}^3 \text{ C}^\circ) = \text{Agua diseño} - (\text{Agua (Ag. Fino)} + \text{Agua (Ag. Grueso)})$$

$$\text{Agua efectiva (l/m}^3 \text{ C}^\circ) = 216 - (-5 - 7)$$

$$\text{Agua efectiva (l/m}^3 \text{ C}^\circ) = 228$$

Finalmente se obtiene los componentes del concreto para 1 m<sup>3</sup>, corregidos por humedad las cuales se muestran a continuación:

$$\text{Cemento} = 387.79 \text{ (kg/m}^3 \text{ C}^\circ)$$

$$\text{Agua efectiva} = 228 \text{ (l/m}^3 \text{ C}^\circ)$$

$$\text{Agregado fino húmedo} = 822.73 \text{ (kg/m}^3 \text{ C}^\circ)$$

$$\text{Agregado grueso húmedo} = 791.18 \text{ (kg/m}^3 \text{ C}^\circ)$$

**8.2.2. Diseño de mezcla Resultado de diseño de concreto patrón de  $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$  + (5%, 10% y 15%) adición de relave minero**

Paso 1: Determinar la resistencia de diseño  $f'_{cr}$

Debido a que no se tiene registros de los resultados de ensayo a compresión se utilizó la Tabla 5 para obtener la resistencia de diseño.

$$f_{cr} = f_c + 84 = 210 + 84 = 294 \text{ kg/cm}^2$$

Paso 2: Elegir TMN del agregado

Según el agregado grueso que se utilizó tiene un TMN=1/2"

Paso 3: Elegir la consistencia

Según la tabla 6 y 7 se utilizó para el diseño un asentamiento de 3"- 4"

Paso 4: Elegir el volumen unitario de agua de diseño

Según la tabla 8 el contenido de agua de mezclado para el diseño será de  $216 \text{ l/m}^3$

Paso 5: Elegir el contenido de aire atrapado y/ incorporado

Según la tabla 9 el contenido de aire atrapado será de 2.50%.

Paso 6: Elegir a/c por resistencia

Según la tabla 10 la relación de agua/cemento en peso será de 0.56

Paso 7: Determinar el factor cemento (C)

$$C = \frac{A}{(A/C)} = \frac{216}{0.56} = 387.79 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 9.12 \text{ bol/m}^3$$

$$\text{Adición de relave (5\%)} = 387.79 * (5\%) = 19.39 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Adición de relave (10\%)} = 387.79 * (10\%) = 38.78 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Adición de relave (5\%)} = 387.79 * (5\%) = 58.17 \text{ kg/m}^3$$

Paso 8: Determinar el contenido de agregado grueso

De acuerdo a la tabla 12 el volumen de agregado grueso es 0.53.

El peso del agregado grueso será:

$$\text{Peso Ag. Grueso} = \text{Vol. Ag. Grueso} \times \text{Peso unitario compacto}$$

$$\text{Peso Ag. Grueso} = 0.53 \times 1474.76 = 781.62 \text{ kg/m}^3$$

Paso 9: Suma de volúmenes absolutos

$$\text{Vol. 1} = \text{Vol. Cemento} + \text{Vol. Agua} + \text{Vol. Aire} + \text{Vol. Ag. Grueso} + \text{Vol. Relave}$$

$$\text{Vol. 1} = 0.136\text{m}^3 + 0.216\text{m}^3 + 0.025\text{m}^3 + 0.307\text{m}^3 + (\text{Vol. Relave})$$

$$\text{Vol. 1 (5\%)} = 0.693\text{m}^3, \text{Vol. 1 (10\%)} = 0.701\text{m}^3, \text{Vol. 2 (15\%)} = 0.710\text{m}^3$$

Paso 10: Volumen absoluto del agregado fino

$$\text{Vol. Ag. Fino} = 1 - \text{Vol. 1 (5\%, 10\%, 15\%)}$$

$$\text{Vol. Ag. Fino (5\%)} = 0.307\text{m}^3, \text{Vol. Ag. Fino (10\%)} = 0.299\text{m}^3, \text{Vol. Ag. Fino (15\%)} = 0.290\text{m}^3$$

Paso 11: Peso seco del agregado fino

$$\text{Peso Ag. Fino} = \text{Vol. Ag. Fino} \times \text{P. Esp. Ag. Fino}$$

$$\text{Peso Ag. Fino (5\%)} = 790.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \text{Peso Ag. Fino (10\%)} = 767.69 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \text{Peso Ag. Fino (15\%)} = 745.14 \text{ kg/m}^3$$

Paso 12: valores de diseño del cemento, agua, aire, agregado fino y agregado grueso

$$\text{Cemento} = 387.79 \text{ (kg/m}^3 \text{ C}^\circ) \text{ valor obtenido en el Paso 7}$$

$$\text{Agua} = 216 \text{ (l/m}^3 \text{ C}^\circ) \text{ valor obtenido en el Paso 4}$$

$$\text{Agregado fino seco} = 812.81 \text{ (kg/m}^3 \text{ C}^\circ) \text{ valor obtenido en el Paso 11}$$

$$\text{Relave minero} = 19.39, 38.78, 58.17 \text{ (kg/m}^3 \text{ C}^\circ) \text{ valor obtenido en el Paso 7}$$

$$\text{Agregado grueso seco} = 781.62 \text{ (kg/m}^3 \text{ C}^\circ) \text{ valor obtenido en el Paso 8}$$

Paso 13: Ajustes por humedad de los agregados

Ajuste por humedad el agregado grueso y agregado fino

$$\text{Ag. Fino Húmedo (kg/m}^3 \text{ C}^\circ) = \text{Ag. Fino Seco} \times \left(1 + \frac{\text{Contenido de humedad}}{100}\right)$$

$$\text{Ag. Fino Húmedo (5\%, 10\%, 15\%)(kg/m}^3 \text{ C}^\circ) = 799.90, 777.07, 754.24 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Ag. Grueso Húmedo (kg/m}^3 \text{ C}^\circ) = \text{Ag. Grueso Seco} \times \left(1 + \frac{\text{Contenido de humedad}}{100}\right)$$

$$\text{Ag. Grueso Húmedo (kg/m}^3 \text{ C}^\circ) = 781.62 \times \left(1 + \frac{1.22}{100}\right)$$

$$\text{Ag. Grueso Húmedo (kg/m}^3 \text{ C}^\circ) = 791.18 \text{ kg/m}^3$$

Cálculo de la humedad superficial de los agregados

$$\text{Humedad superficial (Ag. Fino)(\%)} = \text{Cont. de Humedad} - \text{Absorción}$$

$$\text{Humedad superficial (Ag. Fino)(\%)} = 1.22 - 2.12$$

$$\text{Humedad superficial (Ag. Fino)(\%)} = -0.67$$

$$\text{Humedad superficial (Ag. Grueso)(\%)} = \text{Cont. de Humedad} - \text{Absorción}$$

$$\text{Humedad superficial (Ag. Grueso)(\%)} = 1.22 - 1.89$$

$$\text{Humedad superficial (Ag. Grueso)(\%)} = -0.90$$

Cálculo de aporte de humedad por el agregado

$$\text{Agua(Ag. Fino)(l/m}^3 \text{ C}^\circ) = \text{Ag. Fino Seco} \times \text{Humedad superficial}$$

$$\text{Agua(Ag. Fino)(l/m}^3 \text{ C}^\circ) = \frac{812.81 \times (-0.67)}{100}$$

$$\text{Agua(Ag. Fino)(l/m}^3 \text{ C}^\circ) = -5 \text{ l/m}^3$$

$$\text{Agua(Ag. Grueso)(l/m}^3 \text{ C}^\circ) = \text{Ag. Grueso Seco} \times \text{Humedad superficial}$$

$$\text{Agua(Ag. Grueso)(l/m}^3 \text{ C}^\circ) = \frac{791.18 \times (-0.90)}{100}$$

$$\text{Agua(Ag. Grueso)(l/m}^3 \text{ C}^\circ) = -7 \text{ l/m}^3$$

Calculo el Agua efectiva

$$\text{Agua efectiva (l/m}^3 \text{ C}^\circ) = \text{Agua diseño} - (\text{Agua (Ag. Fino)} + \text{Agua (Ag. Grueso)})$$

$$\text{Agua efectiva (l/m}^3 \text{ C}^\circ) = 216 - (-5 - 7)$$

$$\text{Agua efectiva (l/m}^3 \text{ C}^\circ) = 228$$

Finalmente se obtiene los componentes del concreto para 1 m<sup>3</sup>, corregidos por humedad las cuales se muestran a continuación:

$$\text{Cemento} = 387.79 \text{ (kg/m}^3 \text{ C}^\circ)$$

$$\text{Agua efectiva} = 228 \text{ (l/m}^3 \text{ C}^\circ)$$

$$\text{Agregado fino húmedo} = 822.73 \text{ (kg/m}^3 \text{ C}^\circ)$$

$$\text{Relave minero (5\%, 10\%, 15\%)} = 19.39, 38.78, 58.17 \text{ (kg/m}^3 \text{ C}^\circ)$$

$$\text{Agregado grueso húmedo} = 791.18 \text{ (kg/m}^3 \text{ C}^\circ)$$

### 8.2.3. Resultado de diseño de concreto patrón de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ (DCP)

Tabla 40

*Diseño de concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  (DCP)*

| DATOS GENERALES                                                                     |                        |                                   |                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------|----------------------|
| Agregado grueso                                                                     |                        | Agregado fino                     |                      |
| Tamaño máximo del agregado (pulg.)                                                  | 1/2                    | Módulo de fineza                  | 3.14                 |
| Peso unitario compactado (kg/m³)                                                    | 1474.76                | Peso específico (g/cm³)           | 2.57                 |
| Peso unitario suelto (kg/m³)                                                        | 1320.11                | Porcentaje de absorción (%)       | 1.89                 |
| Peso específico (g/cm³)                                                             | 2.55                   | Contenido de humedad (%)          | 1.22                 |
| Porcentaje de absorción (%)                                                         | 2.12                   | Peso unitario suelto (kg/m³)      | 1645.05              |
| Contenido de humedad (%)                                                            | 1.22                   | Relave minero                     |                      |
| Agua                                                                                |                        | Peso específico (g/cm³)           |                      |
| Peso específico (g/cm³)                                                             | 1.00                   | Peso unitario suelto (kg/m³)      | 1246.00              |
| Cemento                                                                             |                        |                                   |                      |
| Tipo de cemento                                                                     | Portland Puzolánico IP | Peso específico (g/cm³)           | 2.85                 |
| Peso unitario suelto (kg/m³)                                                        | 1500                   |                                   |                      |
| DATOS DE DISEÑO                                                                     |                        |                                   |                      |
| Resistencia                                                                         |                        | Aire en la mezcla                 |                      |
| f'c (kg/cm²)                                                                        | 210                    | Sin aire incorporado              |                      |
| RESULTADOS                                                                          |                        |                                   |                      |
| Paso 1: Resistencia de diseño (f'cr) Utilizar la Tabla 5                            |                        |                                   | 294 kg/cm²           |
| Paso 2: Elegir el TMN del agregado Utilizar la Tabla 6                              |                        |                                   | 1/2 Pulg.            |
| Paso 3: Consistencia del concreto Utilizar la Tabla 7 y 8                           |                        |                                   | 3-4 Pulg.            |
| Paso 4: Volumen unitario de agua de diseño Utilizar la Tabla 9                      |                        |                                   | 216 l/m³             |
| Paso 5: Contenido de aire atrapado y/o incorporado Utilizar la Tabla 10             |                        |                                   | 2.50 %               |
| Paso 6: a/c por resistencia y durabilidad Utilizar la Tabla 11 y 12                 |                        |                                   | 0.56                 |
| Paso 7: Factor cemento (C) Utilizar la Ecuación 5.16                                |                        |                                   | 387.79 kg/m³         |
| Paso 8: Paso Contenido de agregado grueso Utilizar la Tabla 13                      |                        |                                   | 0.53                 |
| Peso seco del agregado grueso Utilizar la Ecuación 5.17                             |                        |                                   | 781.62 kg/m³         |
| Paso 9: Suma de volúmenes absolutos Utilizar la Ecuación 5.18                       |                        |                                   | 0.684 m³             |
| Paso 10: Volumen absoluto del agregado fino Utilizar la Ecuación 5.19               |                        |                                   | 0.316 m³             |
| Paso 11: Peso seco del agregado fino Utilizar la Ecuación 5.20                      |                        |                                   | 812.81 m³            |
| Paso 12: Valores de diseño del cemento, agua, aire, agregado fino y agregado grueso |                        |                                   |                      |
| Cemento (kg/m³ C°)                                                                  | 387.79                 | Agua (l/m³ C°)                    | 216.00               |
| Valor obtenido en el Paso 7                                                         |                        | Valor obtenido en el Paso 4       |                      |
| Agregado fino seco (kg/m³ C°)                                                       | 812.81                 | Agregado grueso seco (kg/m³ C°)   | 781.62               |
| Valor obtenido en el Paso 11                                                        |                        | Valor obtenido en el Paso 8       |                      |
| Paso 13: Ajustes por humedad de los agregados                                       |                        |                                   |                      |
| Peso del agregado fino húmedo Utilizar la Ecuación 5.21                             |                        |                                   | 822.73 kg/m³         |
| Peso del agregado grueso húmedo Utilizar la Ecuación 5.22                           |                        |                                   | 791.18 kg/m³         |
| Cálculo de humedad superficial de los agregados                                     |                        |                                   |                      |
| Humedad superficial del agregado fino (%) Utilizar la Ecuación 5.23                 |                        |                                   | -0.67                |
| Humedad superficial del agregado grueso (%) Utilizar la Ecuación 5.24               |                        |                                   | -0.90                |
| Cálculo de aporte de humedad por el agregado                                        |                        |                                   |                      |
| Agua por el agregado fino (l/m³ C°) Utilizar la Ecuación 5.25                       |                        |                                   | -5                   |
| Agua por el agregado grueso (l/m³ C°) Utilizar la Ecuación 5.26                     |                        |                                   | -7                   |
| Cálculo de agua efectiva                                                            |                        |                                   |                      |
| Agua efectiva (l/m³ C°) Utilizar la Ecuación 5.27                                   |                        |                                   | 228                  |
| Valores de diseño del cemento, agua, aire, agregado fino y agregado grueso          |                        |                                   |                      |
| Cemento (kg/m³ C°)                                                                  | 387.79                 | Agua efectiva (l/m³ C°)           | 228                  |
| Valor obtenido en el Paso 7                                                         |                        | Valor obtenido en el Paso 13      |                      |
| Agregado fino húmedo (kg/m³ C°)                                                     | 822.73                 | Agregado grueso húmedo (kg/m³ C°) | 791.18               |
| Valor obtenido en el Paso 13                                                        |                        | Valor obtenido en el Paso 13      |                      |
| Paso 14: Dosificación en peso de los materiales para 1m³ de concreto                |                        |                                   |                      |
| Dosificación peso (Cemento, Agregado fino, Agregado grueso) Ecuación 5.28           |                        |                                   | 1 2.12 2.04          |
| Paso 15: Cálculo de la proporción en base al volumen suelto                         |                        |                                   |                      |
| Volumen (Cemento, Agregado fino, Agregado grueso)                                   |                        |                                   | 0.26 0.50 0.60       |
| Dosificación volumen (Cemento, Agregado fino, Agregado grueso, Agua)                |                        |                                   | 1.00 1.93 2.32 25.00 |
| Ecuación 5.32                                                                       |                        |                                   |                      |

Fuente: Elaboración propia

## 8.2.4. Resultado de diseño de concreto patrón de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2 + 5 \%$ de adición de relave minero (DCP + 5% ARM)

Tabla 41

*Diseño de concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2 + 5\%$  de adición de relave minero (DCP + 5% ARM)*

| DATOS OBTENIDOS EN LABORATORIO                                                                    |                        |                                                                    |      |                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------|------|------------------------|
| Agregado grueso                                                                                   |                        | Agregado fino                                                      |      |                        |
| Tamaño máximo del agregado (pulg.)                                                                | 1/2                    | Módulo de fineza                                                   |      | 3.14                   |
| Peso unitario compactado ( $\text{kg/m}^3$ )                                                      | 1474.76                | Peso específico ( $\text{g/cm}^3$ )                                |      | 2.57                   |
| Peso unitario suelto ( $\text{kg/m}^3$ )                                                          | 1320.11                | Porcentaje de absorción (%)                                        |      | 1.89                   |
| Peso específico ( $\text{g/cm}^3$ )                                                               | 2.55                   | Contenido de humedad (%)                                           |      | 1.22                   |
| Porcentaje de absorción (%)                                                                       | 2.12                   | Peso unitario suelto ( $\text{kg/m}^3$ )                           |      | 1645.05                |
| Contenido de humedad (%)                                                                          | 1.22                   | Relave minero                                                      |      |                        |
| Agua                                                                                              |                        | Peso específico ( $\text{g/cm}^3$ )                                |      | 2.21                   |
| Peso específico ( $\text{g/cm}^3$ )                                                               | 1.00                   | Peso unitario suelto ( $\text{kg/m}^3$ )                           |      | 1246.00                |
| Cemento                                                                                           |                        |                                                                    |      |                        |
| Tipo de cemento                                                                                   | Portland Puzolánico IP | Peso específico ( $\text{g/cm}^3$ )                                |      | 2.85                   |
| Peso unitario suelto ( $\text{kg/m}^3$ )                                                          | 1500                   |                                                                    |      |                        |
| DATOS DE DISEÑO                                                                                   |                        |                                                                    |      |                        |
| Resistencia                                                                                       |                        | Aire en la mezcla                                                  |      |                        |
| $f'c$ ( $\text{kg/cm}^2$ )                                                                        | 210                    |                                                                    |      | Sin aire incorporado   |
| CALCULOS Y RESULTADOS                                                                             |                        |                                                                    |      |                        |
| Paso 1: Resistencia de diseño ( $f'cr$ ) Utilizar la Tabla 5                                      |                        |                                                                    |      | 294 $\text{kg/cm}^2$   |
| Paso 2: Elegir el TMN del agregado Utilizar la Tabla 6                                            |                        |                                                                    |      | 1/2 Pulg.              |
| Paso 3: Consistencia del concreto Utilizar la Tabla 7 y 8                                         |                        |                                                                    |      | 3-4 Pulg.              |
| Paso 4: Volumen unitario de agua de diseño Utilizar la Tabla 9                                    |                        |                                                                    |      | 216 $\text{l/m}^3$     |
| Paso 5: Contenido de aire atrapado y/o incorporado Utilizar la Tabla 10                           |                        |                                                                    |      | 2.50 %                 |
| Paso 6: a/c por resistencia y durabilidad Utilizar la Tabla 11 y 12                               |                        |                                                                    |      | 0.56                   |
| Paso 7: Factor cemento (C) Utilizar la Ecuación 5.16                                              |                        |                                                                    |      | 387.79 $\text{kg/m}^3$ |
| Adición de relave minero en (5% en peso del material cementante)                                  |                        |                                                                    |      | 19.39 $\text{kg/m}^3$  |
| Paso 8: Paso Contenido de agregado grueso Utilizar la Tabla 13                                    |                        |                                                                    |      | 0.53                   |
| Peso seco del agregado grueso Utilizar la Ecuación 5.17                                           |                        |                                                                    |      | 781.62 $\text{kg/m}^3$ |
| Paso 9: Suma de volúmenes absolutos Utilizar la Ecuación 5.18                                     |                        |                                                                    |      | 0.693 $\text{m}^3$     |
| Paso 10: Volumen absoluto del agregado fino Utilizar la Ecuación 5.19                             |                        |                                                                    |      | 0.307 $\text{m}^3$     |
| Paso 11: Peso seco del agregado fino Utilizar la Ecuación 5.20                                    |                        |                                                                    |      | 790.25 $\text{m}^3$    |
| Paso 12: Valores de diseño del cemento, agua, aire, agregado fino y agregado grueso               |                        |                                                                    |      |                        |
| Cemento ( $\text{kg/m}^3 \text{ C}^\circ$ ) Valor obt. del Paso 7                                 | 387.79                 | Agua ( $\text{l/m}^3 \text{ C}^\circ$ ) Valor obt. del Paso 4      |      | 216.00                 |
| Relave minero ( $\text{kg/m}^3 \text{ C}^\circ$ )                                                 | 19.39                  | Agregado grueso seco ( $\text{kg/m}^3 \text{ C}^\circ$ )           |      | 781.62                 |
| Agregado fino seco ( $\text{kg/m}^3 \text{ C}^\circ$ ) Valor obtenido en el Paso 11               | 790.25                 |                                                                    |      |                        |
| Paso 13: Ajustes por humedad de los agregados                                                     |                        |                                                                    |      |                        |
| Peso del agregado fino húmedo Utilizar la Ecuación 5.21                                           |                        |                                                                    |      | 799.90 $\text{kg/m}^3$ |
| Peso del agregado grueso húmedo Utilizar la Ecuación 5.22                                         |                        |                                                                    |      | 791.18 $\text{kg/m}^3$ |
| Cálculo de humedad superficial de los agregados                                                   |                        |                                                                    |      |                        |
| Humedad superficial del agregado fino (%) Utilizar la Ecuación 5.23                               |                        |                                                                    |      | -0.67                  |
| Humedad superficial del agregado grueso (%) Utilizar la Ecuación 5.24                             |                        |                                                                    |      | -0.90                  |
| Cálculo de aporte de humedad por el agregado                                                      |                        |                                                                    |      |                        |
| Agua por el agregado fino ( $\text{l/m}^3 \text{ C}^\circ$ ) Utilizar la Ecuación 5.25            |                        |                                                                    |      | -5                     |
| Agua por el agregado grueso ( $\text{l/m}^3 \text{ C}^\circ$ ) Utilizar la Ecuación 5.26          |                        |                                                                    |      | -7                     |
| Cálculo de agua efectiva                                                                          |                        |                                                                    |      |                        |
| Agua efectiva ( $\text{l/m}^3 \text{ C}^\circ$ ) Utilizar la Ecuación 5.27                        |                        |                                                                    |      | 228                    |
| Valores de diseño del cemento, agua, aire, agregado fino y agregado grueso                        |                        |                                                                    |      |                        |
| Cemento ( $\text{kg/m}^3 \text{ C}^\circ$ ) Valor obt. en el Paso 7                               | 387.79                 | Agua efectiva ( $\text{l/m}^3 \text{ C}^\circ$ ) Valor del Paso 13 |      | 228                    |
| Agregado fino húmedo ( $\text{kg/m}^3 \text{ C}^\circ$ )                                          | 19.39                  | Agregado grueso húmedo ( $\text{kg/m}^3 \text{ C}^\circ$ )         |      | 791.18                 |
| Agregado fino húmedo ( $\text{kg/m}^3 \text{ C}^\circ$ ) Valor obtenido en el Paso 13             | 799.90                 |                                                                    |      |                        |
| Paso 14: Dosificación en peso de los materiales para $1\text{m}^3$ de concreto                    |                        |                                                                    |      |                        |
| Dosificación peso (Cemento, Relave, Agregado fino, Agregado grueso) Ecuación 5.28                 | 1                      | 0.05                                                               | 2.06 | 2.04                   |
| Paso 15: Cálculo de la proporción en base al volumen suelto                                       |                        |                                                                    |      |                        |
| Volumen (Cemento, Relave, Agregado fino, Agregado grueso)                                         | 0.26                   | 0.02                                                               | 0.49 | 0.60                   |
| Dosificación volumen (Cemento, Relave minero, Agregado fino, Agregado grueso, Agua) Ecuación 5.32 | 1.00                   | 0.06                                                               | 1.88 | 2.32 25.00             |

Fuente: Elaboración propia

## 8.2.5. Resultado de diseño de concreto patrón de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2 + 10 \%$ de adición de relave minero (DCP + 10% ARM)

Tabla 42

*Diseño de concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2 + 10\%$  de adición de relave minero (DCP + 10% ARM)*

| DATOS OBTENIDOS EN LABORATORIO                                                                    |          |                                           |                         |              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------------------------------------|-------------------------|--------------|
| Agregado grueso                                                                                   |          | Agregado fino                             |                         |              |
| Tamaño máximo del agregado (pulg.)                                                                | 1/2      | Módulo de fineza                          |                         | 3.14         |
| Peso unitario compactado (kg/m³)                                                                  | 1474.76  | Peso específico (g/cm³)                   |                         | 2.57         |
| Peso unitario suelto (kg/m³)                                                                      | 1320.11  | Porcentaje de absorción (%)               |                         | 1.89         |
| Peso específico (g/cm³)                                                                           | 2.55     | Contenido de humedad (%)                  |                         | 1.22         |
| Porcentaje de absorción (%)                                                                       | 2.12     | Peso unitario suelto (kg/m³)              |                         | 1645.05      |
| Contenido de humedad (%)                                                                          | 1.22     | Relave minero                             |                         |              |
| Agua                                                                                              |          | Peso específico (g/cm³)                   |                         | 2.21         |
| Peso específico (g/cm³)                                                                           | 1.00     | Peso unitario suelto (kg/m³)              |                         | 1246.00      |
| Cemento                                                                                           |          |                                           |                         |              |
| Tipo de cemento                                                                                   | Portland | Puzolánico IP                             | Peso específico (g/cm³) | 2.85         |
| Peso unitario suelto (kg/m³)                                                                      | 1500     |                                           |                         |              |
| DATOS DE DISEÑO                                                                                   |          |                                           |                         |              |
| Resistencia                                                                                       |          | Aire en la mezcla                         |                         |              |
| f'c (kg/cm²)                                                                                      | 210      | Sin aire incorporado                      |                         |              |
| CALCULOS Y RESULTADOS                                                                             |          |                                           |                         |              |
| Paso 1: Resistencia de diseño (f'cr) Utilizar la Tabla 5                                          |          |                                           |                         | 294 kg/cm²   |
| Paso 2: Elegir el TMN del agregado Utilizar la Tabla 6                                            |          |                                           |                         | 1/2 Pulg.    |
| Paso 3: Consistencia del concreto Utilizar la Tabla 7 y 8                                         |          |                                           |                         | 3-4 Pulg.    |
| Paso 4: Volumen unitario de agua de diseño Utilizar la Tabla 9                                    |          |                                           |                         | 216 l/m³     |
| Paso 5: Contenido de aire atrapado y/o incorporado Utilizar la Tabla 10                           |          |                                           |                         | 2.50 %       |
| Paso 6: a/c por resistencia y durabilidad Utilizar la Tabla 11 y 12                               |          |                                           |                         | 0.56         |
| Paso 7: Factor cemento (C) Utilizar la Ecuación 5.16                                              |          |                                           |                         | 387.79 kg/m³ |
| Adición de relave minero en (10% en peso del material cementante)                                 |          |                                           |                         | 38.78 kg/m³  |
| Paso 8: Paso Contenido de agregado grueso Utilizar la Tabla 13                                    |          |                                           |                         | 0.53         |
| Peso seco del agregado grueso Utilizar la Ecuación 5.17                                           |          |                                           |                         | 781.62 kg/m³ |
| Paso 9: Suma de volúmenes absolutos Utilizar la Ecuación 5.18                                     |          |                                           |                         | 0.701 m³     |
| Paso 10: Volumen absoluto del agregado fino Utilizar la Ecuación 5.19                             |          |                                           |                         | 0.299 m³     |
| Paso 11: Peso seco del agregado fino Utilizar la Ecuación 5.20                                    |          |                                           |                         | 767.69 m³    |
| Paso 12: Valores de diseño del cemento, agua, aire, agregado fino y agregado grueso               |          |                                           |                         |              |
| Cemento (kg/m³ C°) Valor obt. del Paso 7                                                          | 387.79   | Agua (l/m³ C°) Valor obt. del Paso 4      |                         | 216.00       |
| Relave minero (kg/m³ C°)                                                                          | 38.78    | Agregado grueso seco (kg/m³ C°)           |                         | 781.62       |
| Agregado fino seco (kg/m³ C°) Valor obtenido en el Paso 11                                        | 767.69   |                                           |                         |              |
| Paso 13: Ajustes por humedad de los agregados                                                     |          |                                           |                         |              |
| Peso del agregado fino húmedo Utilizar la Ecuación 5.21                                           |          |                                           |                         | 777.07 kg/m³ |
| Peso del agregado grueso húmedo Utilizar la Ecuación 5.22                                         |          |                                           |                         | 791.18 kg/m³ |
| Cálculo de humedad superficial de los agregados                                                   |          |                                           |                         |              |
| Humedad superficial del agregado fino (%) Utilizar la Ecuación 5.23                               |          |                                           |                         | -0.67        |
| Humedad superficial del agregado grueso (%) Utilizar la Ecuación 5.24                             |          |                                           |                         | -0.90        |
| Cálculo de aporte de humedad por el agregado                                                      |          |                                           |                         |              |
| Agua por el agregado fino (l/m³ C°) Utilizar la Ecuación 5.25                                     |          |                                           |                         | -5           |
| Agua por el agregado grueso (l/m³ C°) Utilizar la Ecuación 5.26                                   |          |                                           |                         | -7           |
| Cálculo de agua efectiva                                                                          |          |                                           |                         |              |
| Agua efectiva (l/m³ C°) Utilizar la Ecuación 5.27                                                 |          |                                           |                         | 228          |
| Valores de diseño del cemento, agua, aire, agregado fino y agregado grueso                        |          |                                           |                         |              |
| Cemento (kg/m³ C°) Valor obt. en el Paso 7                                                        | 387.79   | Agua efectiva (l/m³ C°) Valor del Paso 13 |                         | 228          |
| Agregado fino húmedo (kg/m³ C°)                                                                   | 38.78    | Agregado grueso húmedo (kg/m³ C°)         |                         | 791.18       |
| Agregado fino húmedo (kg/m³ C°) Valor obtenido en el Paso 13                                      | 777.07   |                                           |                         |              |
| Paso 14: Dosificación en peso de los materiales para 1m³ de concreto                              |          |                                           |                         |              |
| Dosificación peso (Cemento, Relave, Agregado fino, Agregado grueso) Ecuación 5.28                 | 1        | 0.10                                      | 2.00                    | 2.04         |
| Paso 15: Cálculo de la proporción en base al volumen suelto                                       |          |                                           |                         |              |
| Volumen (Cemento, Relave, Agregado fino, Agregado grueso)                                         | 0.26     | 0.03                                      | 0.47                    | 0.60         |
| Dosificación volumen (Cemento, Relave minero, Agregado fino, Agregado grueso, Agua) Ecuación 5.32 | 1.00     | 0.12                                      | 1.83                    | 2.32 25.00   |

Fuente: Elaboración propia

## 8.2.6. Resultado de diseño de concreto patrón de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2 + 15 \%$ de adición de relave minero (DCP + 15% ARM)

Tabla 43

*Diseño de concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2 + 15\%$  de adición de relave minero (DCP + 15% ARM)*

| DATOS OBTENIDOS EN LABORATORIO                                                                    |                        |                                           |      |                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------|------|-----------------|
| Agregado grueso                                                                                   |                        | Agregado fino                             |      |                 |
| Tamaño máximo del agregado (pulg.)                                                                | 1/2                    | Módulo de fineza                          |      | 3.14            |
| Peso unitario compactado (kg/m³)                                                                  | 1474.76                | Peso específico (g/cm³)                   |      | 2.57            |
| Peso unitario suelto (kg/m³)                                                                      | 1320.11                | Porcentaje de absorción (%)               |      | 1.89            |
| Peso específico (g/cm³)                                                                           | 2.55                   | Contenido de humedad (%)                  |      | 1.22            |
| Porcentaje de absorción (%)                                                                       | 2.12                   | Peso unitario suelto (kg/m³)              |      | 1645.05         |
| Contenido de humedad (%)                                                                          | 1.22                   | Relave minero                             |      |                 |
| Agua                                                                                              |                        | Peso específico (g/cm³)                   |      | 2.21            |
| Peso específico (g/cm³)                                                                           | 1.00                   | Peso unitario suelto (kg/m³)              |      | 1246.00         |
| Cemento                                                                                           |                        |                                           |      |                 |
| Tipo de cemento                                                                                   | Portland Pozolánico IP | Peso específico (g/cm³)                   |      | 2.85            |
| Peso unitario suelto (kg/m³)                                                                      | 1500                   |                                           |      |                 |
| DATOS DE DISEÑO                                                                                   |                        |                                           |      |                 |
| Resistencia                                                                                       |                        | Aire en la mezcla                         |      |                 |
| f'c (kg/cm²)                                                                                      | 210                    | Sin aire incorporado                      |      |                 |
| CALCULOS Y RESULTADOS                                                                             |                        |                                           |      |                 |
| Paso 1: Resistencia de diseño (f'cr) Utilizar la Tabla 5                                          |                        |                                           |      | 294 kg/cm²      |
| Paso 2: Elegir el TMN del agregado Utilizar la Tabla 6                                            |                        |                                           |      | 1/2 Pulg.       |
| Paso 3: Consistencia del concreto Utilizar la Tabla 7 y 8                                         |                        |                                           |      | 3-4 Pulg.       |
| Paso 4: Volumen unitario de agua de diseño Utilizar la Tabla 9                                    |                        |                                           |      | 216 l/m³        |
| Paso 5: Contenido de aire atrapado y/o incorporado Utilizar la Tabla 10                           |                        |                                           |      | 2.50 %          |
| Paso 6: a/c por resistencia y durabilidad Utilizar la Tabla 11 y 12                               |                        |                                           |      | 0.56            |
| Paso 7: Factor cemento (C) Utilizar la Ecuación 5.16                                              |                        |                                           |      | 387.79 kg/m³    |
| Adición de relave minero en (15% en peso del material cementante)                                 |                        |                                           |      | 58.17 kg/m³     |
| Paso 8: Paso Contenido de agregado grueso Utilizar la Tabla 13                                    |                        |                                           |      | 0.53            |
| Peso seco del agregado grueso Utilizar la Ecuación 5.17                                           |                        |                                           |      | 781.62 kg/m³    |
| Paso 9: Suma de volúmenes absolutos Utilizar la Ecuación 5.18                                     |                        |                                           |      | 0.710 m³        |
| Paso 10: Volumen absoluto del agregado fino Utilizar la Ecuación 5.19                             |                        |                                           |      | 0.290 m³        |
| Paso 11: Peso seco del agregado fino Utilizar la Ecuación 5.20                                    |                        |                                           |      | 745.14 m³       |
| Paso 12: Valores de diseño del cemento, agua, aire, agregado fino y agregado grueso               |                        |                                           |      |                 |
| Cemento (kg/m³ C°) Valor obt. del Paso 7                                                          | 387.79                 | Agua (l/m³ C°) Valor obt. del Paso 4      |      | 216.00          |
| Relave minero (kg/m³ C°)                                                                          | 58.17                  | Agregado grueso seco (kg/m³ C°)           |      | 781.62          |
| Agregado fino seco (kg/m³ C°) Valor obtenido en el Paso 11                                        | 745.14                 |                                           |      |                 |
| Paso 13: Ajustes por humedad de los agregados                                                     |                        |                                           |      |                 |
| Peso del agregado fino húmedo Utilizar la Ecuación 5.21                                           |                        |                                           |      | 754.24 kg/m³    |
| Peso del agregado grueso húmedo Utilizar la Ecuación 5.22                                         |                        |                                           |      | 791.18 kg/m³    |
| Cálculo de humedad superficial de los agregados                                                   |                        |                                           |      |                 |
| Humedad superficial del agregado fino (%) Utilizar la Ecuación 5.23                               |                        |                                           |      | -0.67           |
| Humedad superficial del agregado grueso (%) Utilizar la Ecuación 5.24                             |                        |                                           |      | -0.90           |
| Cálculo de aporte de humedad por el agregado                                                      |                        |                                           |      |                 |
| Agua por el agregado fino (l/m³ C°) Utilizar la Ecuación 5.25                                     |                        |                                           |      | -5              |
| Agua por el agregado grueso (l/m³ C°) Utilizar la Ecuación 5.26                                   |                        |                                           |      | -7              |
| Cálculo de agua efectiva                                                                          |                        |                                           |      |                 |
| Agua efectiva (l/m³ C°) Utilizar la Ecuación 5.27                                                 |                        |                                           |      | 228             |
| Valores de diseño del cemento, agua, aire, agregado fino y agregado grueso                        |                        |                                           |      |                 |
| Cemento (kg/m³ C°) Valor obt. en el Paso 7                                                        | 387.79                 | Agua efectiva (l/m³ C°) Valor del Paso 13 |      | 228             |
| Agregado fino húmedo (kg/m³ C°)                                                                   | 58.17                  | Agregado grueso húmedo (kg/m³ C°)         |      | 791.18          |
| Agregado fino húmedo (kg/m³ C°) Valor obtenido en el Paso 13                                      | 754.24                 |                                           |      |                 |
| Paso 14: Dosificación en peso de los materiales para 1m³ de concreto                              |                        |                                           |      |                 |
| Dosificación peso (Cemento, Relave, Agregado fino, Agregado grueso) Ecuación 5.28                 |                        | 1                                         | 0.15 | 1.94 2.04       |
| Paso 15: Cálculo de la proporción en base al volumen suelto                                       |                        |                                           |      |                 |
| Volumen (Cemento, Relave, Agregado fino, Agregado grueso)                                         |                        | 0.26                                      | 0.05 | 0.46 0.60       |
| Dosificación volumen (Cemento, Relave minero, Agregado fino, Agregado grueso, Agua) Ecuación 5.32 |                        | 1.00                                      | 0.18 | 1.77 2.32 25.00 |

Fuente: Elaboración propia

### 8.2.7. Proporción el Peso del Diseño de Mezclas para 1 m<sup>3</sup> de Concreto

En esta Tabla 44 se muestra la dosificación en peso para 1 m<sup>3</sup> de concreto, tanto del concreto patrón y el concreto con adición de relave minero en 5%, 10% y 15% en peso del material cementante de las unidades mineras de Espinar.

Tabla 44

*Proporción en peso del diseño de mezclas para 1 m<sup>3</sup> de concreto*

| Diseño de mezcla | Proporción en peso para 1 m <sup>3</sup> de concreto |                     |             |                            |                              |
|------------------|------------------------------------------------------|---------------------|-------------|----------------------------|------------------------------|
|                  | Cemento (kg.)                                        | Relave minero (kg.) | Agua (lit.) | Agregado fino húmedo (kg.) | Agregado grueso húmedo (kg.) |
| DCP              | 387.79                                               | 0.00                | 228         | 822.73                     | 791.18                       |
| DCP +5%ARM       | 387.79                                               | 19.39               | 228         | 799.90                     | 791.18                       |
| DCP +10%ARM      | 387.79                                               | 38.78               | 228         | 777.07                     | 791.18                       |
| DCP +15%ARM      | 387.79                                               | 58.17               | 228         | 754.24                     | 791.18                       |

Fuente: Elaboración propia

## 8.3. Resultados del Análisis Químico de Relave Minero

### 8.3.1. Resultados del contenido de cloruros y sulfatos de relave minero de las unidades mineras de Espinar

En la siguiente Tabla 45 se muestra el resultado que se ha obtenido en laboratorio de contenido de cloruros y contenido de sulfatos del relave minero, donde el contenido de cloruros fue 8.30 ppm y el contenido de sulfatos fue 29.30 ppm, se puede decir que estos valores son aptos para la realización de concreto.

Tabla 45

*Contenido de sulfatos y cloruros del relave minero*

| CONTENIDO DE SULFATOS / CLORUROS DEL RELAVE MINERO |                |               |
|----------------------------------------------------|----------------|---------------|
| CLASIFICACIÓN ASTM D512 – ASTM C516                |                |               |
|                                                    |                | Relave minero |
| Contenido de cloruros                              | ppm            | 8.30          |
|                                                    | porcentaje (%) | 0.0008        |
| Contenido de sulfatos                              | ppm            | 29.30         |
|                                                    | porcentaje (%) | 0.0029        |

Fuente: Elaboración propia

### 8.3.2. Resultados de concentración de metales de relave minero de las unidades mineras de Espinar

En la siguiente Tabla 46 se muestra la concentración de metales como Zn (2.9426 ppm), Fe (84.343 ppm), Cu (0.743 ppm), Pb (0.06 ppm), Ag (0.261 ppm), Ca (6.37 ppm) del relave minero de las unidades mineras de Espinar.

Tabla 46

*Concentración de metales del relave minero de las unidades mineras de Espinar*

**DETERMINACIÓN DE ZINC, HIERRO, COBRE, PLOMO, PLATA Y CALCION**  
METODO ABSORCIÓN ATÓMICA LLAMA

| Concentración de metales |                | Relave minero |
|--------------------------|----------------|---------------|
| Zn                       | ppm            | 2.9426        |
|                          | porcentaje (%) | 0.0003        |
| Fe                       | ppm            | 84.343        |
|                          | porcentaje (%) | 0.0084        |
| Cu                       | ppm            | 0.743         |
|                          | porcentaje (%) | 0.0001        |
| Pb                       | ppm            | 0.06          |
|                          | porcentaje (%) | 0.0000        |
| Ag                       | ppm            | 0.261         |
|                          | porcentaje (%) | 0.0000        |
| Ca                       | ppm            | 6.37          |
|                          | porcentaje (%) | 0.0006        |

Fuente: Elaboración propia

#### 8.4. Resultados para la Consistencia del Concreto

Para obtener la consistencia del concreto se utilizó los procedimientos de la norma ASTM C143, Revenimiento del concreto de cemento hidráulico. Para lo cual se calculó como el promedio de 3 muestras de la misma tanda de vaciado, para cada tipo de diseño de mezcla. En la siguiente Tabla 47 se muestra la consistencia para cada tipo de diseño de mezcla para una resistencia de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  propuesta.

Figura 35

*Consistencia del concreto*



Fuente: Elaboración propia – Muestra la Consistencia del Concreto

Tabla 47

*Consistencia de concreto para cada diseño de concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$*

| CONSISTENCIA DEL CONCRETO         |              |       |        |       |        |       |          |       |
|-----------------------------------|--------------|-------|--------|-------|--------|-------|----------|-------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 705/ASTM C143 |              |       |        |       |        |       |          |       |
| Diseño de mezcla                  | Asentamiento |       |        |       |        |       |          |       |
|                                   | Dato 1       |       | Dato 2 |       | Dato 3 |       | Promedio |       |
| DCP                               | 3.0          | pulg. | 2.6    | pulg. | 2.8    | pulg. | 2.8      | pulg. |
| DCP+5%ARM                         | 3.5          | pulg. | 3.6    | pulg. | 3.5    | pulg. | 3.6      | pulg. |
| DCP+10%ARM                        | 3.3          | pulg. | 3.1    | pulg. | 3.3    | pulg. | 3.3      | pulg. |
| DCP+15%ARM                        | 3.1          | pulg. | 3.0    | pulg. | 3.0    | pulg. | 3.0      | pulg. |

Fuente: Elaboración propia

## 8.5. Resultados de los Ensayos de Resistencia a la Compresión del Concreto

Para obtener la resistencia a la compresión simple del concreto se utilizó los procedimientos de la norma ASTM C39, Método de ensayo estándar para esfuerzo de compresión en especímenes cilíndricos de concreto. Para lo cual se calculó como el promedio de 4 muestras de la misma tanda de vaciado, para cada tipo de diseño de mezcla.

### 8.5.1. Resultados de resistencia a la compresión de concreto patrón de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ (DCP)

#### 8.5.1.1. Resistencia a la compresión (1 día)

En la siguiente Tabla 48 se muestra los resultados de la resistencia a la compresión que se han logrado extraer en laboratorio del concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  a la edad de 1 día que tuvo una resistencia de  $28.61 \text{ kg/cm}^2$ , la cual corresponde al 14% de su resistencia de diseño.

Tabla 48

*Resistencia a la compresión 1 día (DCP)*

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN                     |            |            |                  |                |                  |               |                           |                               |                |
|-------------------------------------------------|------------|------------|------------------|----------------|------------------|---------------|---------------------------|-------------------------------|----------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 704/ASTM C39                |            |            |                  |                |                  |               |                           |                               |                |
| $f'c$ de diseño:                                |            | 210        | $\text{kg/cm}^2$ |                | Fecha de moldeo: |               | 25/07/2023                |                               |                |
| % de relave:                                    |            | 0          | %                |                | Fecha de rotura: |               | 26/07/2023                |                               |                |
| N                                               | D1<br>(cm) | D2<br>(cm) | Dprom.<br>(cm)   | Altura<br>(cm) | Edad<br>Días     | Carga<br>(Kg) | Área<br>( $\text{cm}^2$ ) | $f'c$<br>( $\text{Kg/cm}^2$ ) | %<br>Evolución |
| 1                                               | 15.23      | 15.23      | 15.23            | 30.80          | 1                | 4790.00       | 182.18                    | 26.29                         | 13%            |
| 2                                               | 15.22      | 15.24      | 15.23            | 30.90          | 1                | 5740.00       | 182.18                    | 31.51                         | 15%            |
| 3                                               | 15.22      | 15.22      | 15.22            | 30.80          | 1                | 4640.00       | 181.94                    | 25.50                         | 12%            |
| 4                                               | 15.23      | 15.23      | 15.23            | 30.80          | 1                | 5670.00       | 182.18                    | 31.12                         | 15%            |
| Resistencia promedio $f'c$ ( $\text{kg/cm}^2$ ) |            |            |                  |                |                  |               | 28.61                     | 14%                           |                |

Fuente: Elaboración propia

### 8.5.1.2. Resistencia a la compresión (3 días)

En la siguiente Tabla 49 se muestra los resultados de la resistencia a la compresión que se ha logrado extraer en laboratorio del concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  a la edad de 3 días que tuvo una resistencia de  $86.05 \text{ kg/cm}^2$ , la cual corresponde al 41% de su resistencia de diseño.

Tabla 49

#### Resistencia a la compresión 3 días (DCP)

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN<br>CLASIFICACIÓN MTC E 704/ASTM C39 |            |            |                |                  |              |                  |                           |                               |                |
|-----------------------------------------------------------------|------------|------------|----------------|------------------|--------------|------------------|---------------------------|-------------------------------|----------------|
| $f'c$ de diseño:                                                |            | 210        |                | $\text{kg/cm}^2$ |              | Fecha de moldeo: |                           | 02/08/2023                    |                |
| % de relave:                                                    |            | 0          |                | %                |              | Fecha de rotura: |                           | 05/08/2023                    |                |
| N                                                               | D1<br>(cm) | D2<br>(cm) | Dprom.<br>(cm) | Altura<br>(cm)   | Edad<br>Días | Carga<br>(Kg)    | Área<br>( $\text{cm}^2$ ) | $f'c$<br>( $\text{Kg/cm}^2$ ) | %<br>Evolución |
| 1                                                               | 15.21      | 15.22      | 15.22          | 30.80            | 3            | 13880.00         | 181.82                    | 76.34                         | 36%            |
| 2                                                               | 15.20      | 15.22      | 15.21          | 30.80            | 3            | 14770.00         | 181.70                    | 81.29                         | 39%            |
| 3                                                               | 15.24      | 15.23      | 15.24          | 30.90            | 3            | 17220.00         | 182.30                    | 94.46                         | 45%            |
| 4                                                               | 15.23      | 15.22      | 15.23          | 30.70            | 3            | 16770.00         | 182.06                    | 92.11                         | 44%            |
| Resistencia promedio $f'c$ ( $\text{kg/cm}^2$ )                 |            |            |                |                  |              |                  | 86.05                     | 41%                           |                |

Fuente: Elaboración propia

### 8.5.1.3. Resistencia a la compresión (7 días)

En la siguiente Tabla 50 se muestra los resultados de la resistencia a la compresión que se ha logrado extraer en laboratorio del concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  a la edad de 7 días que tuvo una resistencia de  $148.01 \text{ kg/cm}^2$ , la cual corresponde al 70% de su resistencia de diseño.

Tabla 50

#### Resistencia a la compresión 7 días (DCP)

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN<br>CLASIFICACIÓN MTC E 704/ASTM C39 |            |            |                |                  |              |                  |                           |                               |                |
|-----------------------------------------------------------------|------------|------------|----------------|------------------|--------------|------------------|---------------------------|-------------------------------|----------------|
| $f'c$ de diseño:                                                |            | 210        |                | $\text{kg/cm}^2$ |              | Fecha de moldeo: |                           | 02/08/2023                    |                |
| % de relave:                                                    |            | 0          |                | %                |              | Fecha de rotura: |                           | 09/08/2023                    |                |
| N                                                               | D1<br>(cm) | D2<br>(cm) | Dprom.<br>(cm) | Altura<br>(cm)   | Edad<br>Días | Carga<br>(Kg)    | Área<br>( $\text{cm}^2$ ) | $f'c$<br>( $\text{Kg/cm}^2$ ) | %<br>Evolución |
| 1                                                               | 15.20      | 15.22      | 15.21          | 30.80            | 7            | 27950.00         | 181.70                    | 153.83                        | 73%            |
| 2                                                               | 15.24      | 15.23      | 15.24          | 30.80            | 7            | 24360.00         | 182.30                    | 133.63                        | 64%            |
| 3                                                               | 15.22      | 15.22      | 15.22          | 30.80            | 7            | 27310.00         | 181.94                    | 150.11                        | 71%            |
| 4                                                               | 15.20      | 15.21      | 15.21          | 30.80            | 7            | 28050.00         | 181.58                    | 154.48                        | 74%            |
| Resistencia promedio $f'c$ ( $\text{kg/cm}^2$ )                 |            |            |                |                  |              |                  | 148.01                    | 70%                           |                |

Fuente: Elaboración propia

#### 8.5.1.4. Resistencia a la compresión (14 días)

En la siguiente Tabla 51 se muestra los resultados de la resistencia a la compresión que se han logrado extraer en laboratorio del concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  a la edad de 14 días que tuvo una resistencia de  $176.91 \text{ kg/cm}^2$ , la cual corresponde al 84% de su resistencia de diseño.

Tabla 51

##### Resistencia a la compresión 14 días (DCP)

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN                     |            |                  |                |                  |              |               |                           |                               |                |
|-------------------------------------------------|------------|------------------|----------------|------------------|--------------|---------------|---------------------------|-------------------------------|----------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 704/ASTM C39                |            |                  |                |                  |              |               |                           |                               |                |
| $f'c$ de diseño:                                | 210        | $\text{kg/cm}^2$ |                | Fecha de moldeo: |              | 31/07/2023    |                           |                               |                |
| % de relave:                                    | 0          | %                |                | Fecha de rotura: |              | 14/08/2023    |                           |                               |                |
| °                                               | D1<br>(cm) | D2<br>(cm)       | Dprom.<br>(cm) | Altura<br>(cm)   | Edad<br>Días | Carga<br>(Kg) | Área<br>( $\text{cm}^2$ ) | $f'c$<br>( $\text{Kg/cm}^2$ ) | %<br>Evolución |
| 1                                               | 15.20      | 15.22            | 15.21          | 30.60            | 14           | 32300.00      | 181.70                    | 177.77                        | 85%            |
| 2                                               | 15.20      | 15.23            | 15.22          | 30.80            | 14           | 33320.00      | 181.82                    | 183.26                        | 87%            |
| 3                                               | 15.21      | 15.21            | 15.21          | 30.80            | 14           | 31960.00      | 181.70                    | 175.90                        | 84%            |
| 4                                               | 15.22      | 15.21            | 15.22          | 30.80            | 14           | 31040.00      | 181.82                    | 170.72                        | 81%            |
| Resistencia promedio $f'c$ ( $\text{kg/cm}^2$ ) |            |                  |                |                  |              |               | 176.91                    | 84%                           |                |

Fuente: Elaboración propia

#### 8.5.1.5. Resistencia a la compresión (21 días)

En la siguiente Tabla 52 se muestra los resultados de la resistencia a la compresión que se han logrado extraer en laboratorio del concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  a la edad de 21 días que tiene una resistencia de  $214.21 \text{ kg/cm}^2$ , la cual corresponde al 102% de su resistencia de diseño.

Tabla 52

##### Resistencia a la compresión 21 días (DCP)

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN                     |            |                  |                |                  |              |               |                           |                               |                |
|-------------------------------------------------|------------|------------------|----------------|------------------|--------------|---------------|---------------------------|-------------------------------|----------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 704/ASTM C39                |            |                  |                |                  |              |               |                           |                               |                |
| $f'c$ de diseño:                                | 210        | $\text{kg/cm}^2$ |                | Fecha de moldeo: |              | 31/07/2023    |                           |                               |                |
| % de relave:                                    | 0          | %                |                | Fecha de rotura: |              | 21/08/2023    |                           |                               |                |
| N                                               | D1<br>(cm) | D2<br>(cm)       | Dprom.<br>(cm) | Altura<br>(cm)   | Edad<br>Días | Carga<br>(Kg) | Área<br>( $\text{cm}^2$ ) | $f'c$<br>( $\text{Kg/cm}^2$ ) | %<br>Evolución |
| 1                                               | 15.21      | 15.30            | 15.255         | 30.80            | 21           | 40750.00      | 182.77                    | 222.95                        | 106%           |
| 2                                               | 15.23      | 15.20            | 15.22          | 30.70            | 21           | 38160.00      | 181.82                    | 209.88                        | 100%           |
| 3                                               | 15.15      | 15.15            | 15.15          | 30.50            | 21           | 38460.00      | 180.27                    | 213.35                        | 102%           |
| 4                                               | 15.24      | 15.24            | 15.24          | 30.60            | 21           | 38430.00      | 182.41                    | 210.67                        | 100%           |
| Resistencia promedio $f'c$ ( $\text{kg/cm}^2$ ) |            |                  |                |                  |              |               | 214.21                    | 102%                          |                |

Fuente: Elaboración propia

#### 8.5.1.6. Resistencia a la compresión (28 días)

En la siguiente Tabla 53 se muestra los resultados de la resistencia a la compresión que se han logrado extraer en laboratorio del concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  a la edad de 28 días tiene una resistencia de  $236.64 \text{ kg/cm}^2$ , la cual corresponde al 113% de su resistencia de diseño.

Tabla 53

##### Resistencia a la compresión 28 días (DCP)

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN                     |            |            |                |                  |              |                  |                           |                               |                |
|-------------------------------------------------|------------|------------|----------------|------------------|--------------|------------------|---------------------------|-------------------------------|----------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 704/ASTM C39                |            |            |                |                  |              |                  |                           |                               |                |
| $f'c$ de diseño:                                |            | 210        |                | $\text{kg/cm}^2$ |              | Fecha de moldeo: |                           | 31/07/2023                    |                |
| % de relave:                                    |            | 0          |                | %                |              | Fecha de rotura: |                           | 28/08/2023                    |                |
| N                                               | D1<br>(cm) | D2<br>(cm) | Dprom.<br>(cm) | Altura<br>(cm)   | Edad<br>Días | Carga<br>(Kg)    | Área<br>( $\text{cm}^2$ ) | $f'c$<br>( $\text{Kg/cm}^2$ ) | %<br>Evolución |
| 1                                               | 15.21      | 15.23      | 15.22          | 30.80            | 28           | 43790.00         | 181.94                    | 240.69                        | 115%           |
| 2                                               | 15.20      | 15.22      | 15.21          | 30.70            | 28           | 46210.00         | 181.70                    | 254.32                        | 121%           |
| 3                                               | 15.23      | 15.22      | 15.23          | 30.70            | 28           | 41900.00         | 182.06                    | 230.15                        | 110%           |
| 4                                               | 15.22      | 15.23      | 15.23          | 30.70            | 28           | 40310.00         | 182.06                    | 221.42                        | 105%           |
| Resistencia promedio $f'c$ ( $\text{kg/cm}^2$ ) |            |            |                |                  |              |                  | 236.64                    | 113%                          |                |

Fuente: Elaboración propia

#### 8.5.2. Resultado de resistencia a la compresión de concreto patrón de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ + 5% de adición de relave minero (DCP+5%ARM)

##### 8.5.2.1. Resistencia a la compresión (1 día)

En la siguiente Tabla 54 se muestra los resultados de la resistencia a la compresión que se han logrado extraer en laboratorio del concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 5% de adición de relave minero a la edad de 1 día que alcanza una resistencia de  $30.28 \text{ kg/cm}^2$ , la cual corresponde al 14% de su resistencia de diseño.

Tabla 54

##### Resistencia a la compresión 1 día (DCP+5%ARM)

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN                     |            |            |                |                  |              |                  |                           |                               |                |
|-------------------------------------------------|------------|------------|----------------|------------------|--------------|------------------|---------------------------|-------------------------------|----------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 704/ASTM C39                |            |            |                |                  |              |                  |                           |                               |                |
| $f'c$ de diseño:                                |            | 210        |                | $\text{kg/cm}^2$ |              | Fecha de moldeo: |                           | 25/07/2023                    |                |
| % de relave:                                    |            | 5          |                | %                |              | Fecha de rotura: |                           | 26/07/2023                    |                |
| N                                               | D1<br>(cm) | D2<br>(cm) | Dprom.<br>(cm) | Altura<br>(cm)   | Edad<br>Días | Carga<br>(Kg)    | Área<br>( $\text{cm}^2$ ) | $f'c$<br>( $\text{Kg/cm}^2$ ) | %<br>Evolución |
| 1                                               | 15.23      | 15.24      | 15.24          | 30.80            | 1            | 5330.00          | 182.30                    | 29.24                         | 14%            |
| 2                                               | 15.23      | 15.24      | 15.24          | 30.80            | 1            | 5670.00          | 182.30                    | 31.10                         | 15%            |
| 3                                               | 15.21      | 15.22      | 15.22          | 30.90            | 1            | 5710.00          | 181.82                    | 31.41                         | 15%            |
| 4                                               | 15.22      | 15.23      | 15.23          | 30.80            | 1            | 5350.00          | 182.06                    | 29.39                         | 14%            |
| Resistencia promedio $f'c$ ( $\text{kg/cm}^2$ ) |            |            |                |                  |              |                  | 30.28                     | 14%                           |                |

Fuente: Elaboración propia

### 8.5.2.2. Resistencia a la compresión (3 días)

En la siguiente Tabla 55 se muestra los resultados de la resistencia a la compresión que se han logrado extraer en laboratorio del concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 5% de adición de relave minero a la edad de 3 días que alcanza una resistencia de  $113.24 \text{ kg/cm}^2$ , la cual corresponde al 54% de su resistencia de diseño.

Tabla 55

*Resistencia a la compresión 3 días (DCP+5%ARM)*

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN                      |            |            |                |                    |              |                  |                            |                                |                |
|--------------------------------------------------|------------|------------|----------------|--------------------|--------------|------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 704/ASTM C39                 |            |            |                |                    |              |                  |                            |                                |                |
| $f'c$ de diseño:                                 |            | 210        |                | kg/cm <sup>2</sup> |              | Fecha de moldeo: |                            | 02/08/2023                     |                |
| % de relave:                                     |            | 5          |                | %                  |              | Fecha de rotura: |                            | 05/08/2023                     |                |
| N                                                | D1<br>(cm) | D2<br>(cm) | Dprom.<br>(cm) | Altura<br>(cm)     | Edad<br>Días | Carga<br>(Kg)    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | $f'c$<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | %<br>Evolución |
| 1                                                | 15.22      | 15.23      | 15.23          | 30.80              | 3            | 21030.00         | 182.06                     | 115.51                         | 55%            |
| 2                                                | 15.21      | 15.22      | 15.22          | 30.80              | 3            | 20940.00         | 181.82                     | 115.17                         | 55%            |
| 3                                                | 15.20      | 15.20      | 15.20          | 30.90              | 3            | 19640.00         | 181.46                     | 108.23                         | 52%            |
| 4                                                | 15.22      | 15.23      | 15.23          | 30.80              | 3            | 20760.00         | 182.06                     | 114.03                         | 54%            |
| Resistencia promedio $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) |            |            |                |                    |              |                  | 113.24                     | 54%                            |                |

Fuente: Elaboración propia

### 8.5.2.3. Resistencia a la compresión (7 días)

En la siguiente Tabla 56 se muestra los resultados de la resistencia a la compresión que se han logrado extraer en laboratorio del concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 5% de adición de relave minero a la edad de 7 días que alcanza una resistencia de  $183.91 \text{ kg/cm}^2$ , la cual corresponde al 88% de su resistencia de diseño.

Tabla 56

*Resistencia a la compresión 7 días (DCP+5%ARM)*

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN                      |            |            |                |                    |              |                  |                            |                                |                |
|--------------------------------------------------|------------|------------|----------------|--------------------|--------------|------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 704/ASTM C39                 |            |            |                |                    |              |                  |                            |                                |                |
| $f'c$ de diseño:                                 |            | 210        |                | kg/cm <sup>2</sup> |              | Fecha de moldeo: |                            | 02/08/2023                     |                |
| % de relave:                                     |            | 5          |                | %                  |              | Fecha de rotura: |                            | 09/08/2023                     |                |
| N                                                | D1<br>(cm) | D2<br>(cm) | Dprom.<br>(cm) | Altura<br>(cm)     | Edad<br>Días | Carga<br>(Kg)    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | $f'c$<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | %<br>Evolución |
| 1                                                | 15.23      | 15.23      | 15.23          | 30.70              | 7            | 35100.00         | 182.18                     | 192.67                         | 92%            |
| 2                                                | 15.23      | 15.23      | 15.23          | 30.80              | 7            | 34020.00         | 182.18                     | 186.74                         | 89%            |
| 3                                                | 15.21      | 15.24      | 15.23          | 30.80              | 7            | 33250.00         | 182.06                     | 182.64                         | 87%            |
| 4                                                | 15.22      | 15.22      | 15.22          | 30.80              | 7            | 31580.00         | 181.94                     | 173.58                         | 83%            |
| Resistencia promedio $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) |            |            |                |                    |              |                  | 183.91                     | 88%                            |                |

Fuente: Elaboración propia

#### 8.5.2.4. Resistencia a la compresión (14 días)

En la siguiente Tabla 57 se muestra los resultados de la resistencia a la compresión que se han logrado extraer en laboratorio del concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 5% de adición de relave minero a la edad de 14 días que tiene una resistencia de  $199.71 \text{ kg/cm}^2$ , la cual corresponde al 95% de su resistencia de diseño.

Tabla 57

*Resistencia a la compresión 14 días (DCP+5%ARM)*

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN<br>CLASIFICACIÓN MTC E 704/ASTM C39 |            |            |                |                    |              |                  |                            |                                |                |
|-----------------------------------------------------------------|------------|------------|----------------|--------------------|--------------|------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------|
| $f'c$ de diseño:                                                |            | 210        |                | kg/cm <sup>2</sup> |              | Fecha de moldeo: |                            | 31/07/2023                     |                |
| % de relave:                                                    |            | 5          |                | %                  |              | Fecha de rotura: |                            | 14/08/2023                     |                |
| N                                                               | D1<br>(cm) | D2<br>(cm) | Dprom.<br>(cm) | Altura<br>(cm)     | Edad<br>Días | Carga<br>(Kg)    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | $f'c$<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | %<br>Evolución |
| 1                                                               | 15.24      | 15.23      | 15.24          | 30.70              | 14           | 36230.00         | 182.30                     | 198.74                         | 95%            |
| 2                                                               | 15.23      | 15.24      | 15.24          | 30.90              | 14           | 35290.00         | 182.30                     | 193.59                         | 92%            |
| 3                                                               | 15.23      | 15.22      | 15.23          | 30.80              | 14           | 36830.00         | 182.06                     | 202.30                         | 96%            |
| 4                                                               | 15.23      | 15.23      | 15.23          | 31.00              | 14           | 37200.00         | 182.18                     | 204.20                         | 97%            |
| Resistencia promedio $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> )                |            |            |                |                    |              |                  | 199.71                     | 95%                            |                |

Fuente: Elaboración propia

#### 8.5.2.5. Resistencia a la compresión (21 días)

En la siguiente Tabla 58 se muestra los resultados de la resistencia a la compresión que se han logrado extraer en laboratorio del concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 5% de adición de relave minero a la edad de 21 días que alcanza una resistencia de  $231.57 \text{ kg/cm}^2$ , la cual corresponde al 110% de su resistencia de diseño.

Tabla 58

*Resistencia a la compresión 21 días (DCP+5%ARM)*

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN<br>CLASIFICACIÓN MTC E 704/ASTM C39 |            |            |                |                    |              |                  |                            |                                |                |
|-----------------------------------------------------------------|------------|------------|----------------|--------------------|--------------|------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------|
| $f'c$ de diseño:                                                |            | 210        |                | kg/cm <sup>2</sup> |              | Fecha de moldeo: |                            | 31/07/2023                     |                |
| % de relave:                                                    |            | 5          |                | %                  |              | Fecha de rotura: |                            | 21/07/2023                     |                |
| N                                                               | D1<br>(cm) | D2<br>(cm) | Dprom.<br>(cm) | Altura<br>(cm)     | Edad<br>Días | Carga<br>(Kg)    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | $f'c$<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | %<br>Evolución |
| 1                                                               | 15.24      | 15.21      | 15.23          | 30.80              | 21           | 42600.00         | 182.06                     | 233.99                         | 111%           |
| 2                                                               | 15.23      | 15.22      | 15.23          | 30.80              | 21           | 42020.00         | 182.06                     | 230.81                         | 110%           |
| 3                                                               | 15.24      | 15.24      | 15.24          | 30.90              | 21           | 42030.00         | 182.41                     | 230.41                         | 110%           |
| 4                                                               | 15.23      | 15.25      | 15.24          | 30.70              | 21           | 42150.00         | 182.41                     | 231.07                         | 110%           |
| Resistencia promedio $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> )                |            |            |                |                    |              |                  | 231.57                     | 110%                           |                |

Fuente: Elaboración propia

### 8.5.2.6. Resistencia a la compresión (28 días)

En la siguiente Tabla 59 se muestra los resultados de la resistencia a la compresión que se han logrado extraer en laboratorio del concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 5% de adición de relave minero a la edad de 28 días que alcanza una resistencia de  $245.65 \text{ kg/cm}^2$ , la cual corresponde al 117% de su resistencia de diseño.

Tabla 59

#### Resistencia a la compresión 28 días (DCP+5%ARM)

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN<br>CLASIFICACIÓN MTC E 704/ASTM C39 |            |            |                |                    |              |                  |                            |                                |                |
|-----------------------------------------------------------------|------------|------------|----------------|--------------------|--------------|------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------|
| $f'c$ de diseño:                                                |            | 210        |                | kg/cm <sup>2</sup> |              | Fecha de moldeo: |                            | 31/07/2023                     |                |
| % de relave:                                                    |            | 5          |                | %                  |              | Fecha de rotura: |                            | 28/08/2023                     |                |
| N                                                               | D1<br>(cm) | D2<br>(cm) | Dprom.<br>(cm) | Altura<br>(cm)     | Edad<br>Días | Carga<br>(Kg)    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | $f'c$<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | %<br>Evolución |
| 1                                                               | 15.25      | 15.21      | 15.23          | 30.80              | 28           | 44860.00         | 182.18                     | 246.25                         | 117%           |
| 2                                                               | 15.20      | 15.23      | 15.22          | 30.70              | 28           | 43690.00         | 181.82                     | 240.30                         | 114%           |
| 3                                                               | 15.21      | 15.22      | 15.22          | 30.80              | 28           | 44490.00         | 181.82                     | 244.70                         | 117%           |
| 4                                                               | 15.22      | 15.23      | 15.23          | 30.70              | 28           | 45760.00         | 182.06                     | 251.35                         | 120%           |
| Resistencia promedio $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> )                |            |            |                |                    |              |                  | 245.65                     | 117%                           |                |

Fuente: Elaboración propia

### 8.5.3. Resultado de resistencia a la compresión de concreto patrón de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ + 10% de adición de relave minero (DCP+10%ARM)

#### 8.5.3.1. Resistencia a la compresión (1 día)

En la siguiente Tabla 60 se muestra los resultados de la resistencia a la compresión que se han logrado extraer en laboratorio del concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 10% de adición de relave minero a la edad de 1 día que alcanza una resistencia de  $31.22 \text{ kg/cm}^2$ , la cual corresponde al 15% de su resistencia de diseño.

Tabla 60

#### Resistencia a la compresión 1 día (DCP+10%ARM)

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN<br>CLASIFICACIÓN MTC E 704/ASTM C39 |            |            |                |                    |              |                  |                            |                                |                |
|-----------------------------------------------------------------|------------|------------|----------------|--------------------|--------------|------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------|
| $f'c$ de diseño:                                                |            | 210        |                | kg/cm <sup>2</sup> |              | Fecha de moldeo: |                            | 25/07/2023                     |                |
| % de relave:                                                    |            | 10         |                | %                  |              | Fecha de rotura: |                            | 26/07/2023                     |                |
| N                                                               | D1<br>(cm) | D2<br>(cm) | Dprom.<br>(cm) | Altura<br>(cm)     | Edad<br>Días | Carga<br>(Kg)    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | $f'c$<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | %<br>Evolución |
| 1                                                               | 15.23      | 15.23      | 15.23          | 30.80              | 1            | 5630.00          | 182.18                     | 30.90                          | 15%            |
| 2                                                               | 15.21      | 15.22      | 15.22          | 30.80              | 1            | 5740.00          | 181.82                     | 31.57                          | 15%            |
| 3                                                               | 15.20      | 15.21      | 15.21          | 30.80              | 1            | 5650.00          | 181.58                     | 31.12                          | 15%            |
| 4                                                               | 15.20      | 15.21      | 15.21          | 30.70              | 1            | 5680.00          | 181.58                     | 31.28                          | 15%            |
| Resistencia promedio $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> )                |            |            |                |                    |              |                  | 31.22                      | 15%                            |                |

Fuente: Elaboración propia

### 8.5.3.2. Resistencia a la compresión (3 días)

En la siguiente Tabla 61 se muestra los resultados de la resistencia a la compresión que se han logrado extraer en laboratorio del concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 10% de adición de relave minero a la edad de 3 días que alcanza una resistencia de  $100.90 \text{ kg/cm}^2$ , la cual corresponde al 48% de su resistencia de diseño.

Tabla 61

*Resistencia a la compresión 3 días (DCP+10%ARM)*

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN                      |            |            |                    |                |                  |               |                            |                                |                |
|--------------------------------------------------|------------|------------|--------------------|----------------|------------------|---------------|----------------------------|--------------------------------|----------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 704/ASTM C39                 |            |            |                    |                |                  |               |                            |                                |                |
| $f'c$ de diseño:                                 |            | 210        | kg/cm <sup>2</sup> |                | Fecha de moldeo: |               | 02/08/2023                 |                                |                |
| % de relave:                                     |            | 10         | %                  |                | Fecha de rotura: |               | 05/08/2023                 |                                |                |
| N                                                | D1<br>(cm) | D2<br>(cm) | Dprom.<br>(cm)     | Altura<br>(cm) | Edad<br>Días     | Carga<br>(Kg) | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | $f'c$<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | %<br>Evolución |
| 1                                                | 15.21      | 15.22      | 15.22              | 30.80          | 3                | 17360.00      | 181.82                     | 95.48                          | 45%            |
| 2                                                | 15.20      | 15.21      | 15.21              | 30.70          | 3                | 14490.00      | 181.58                     | 79.80                          | 38%            |
| 3                                                | 15.22      | 15.22      | 15.22              | 30.80          | 3                | 20930.00      | 181.94                     | 115.04                         | 55%            |
| 4                                                | 15.23      | 15.24      | 15.24              | 30.90          | 3                | 20650.00      | 182.30                     | 113.28                         | 54%            |
| Resistencia promedio $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) |            |            |                    |                |                  |               | 100.90                     | 48%                            |                |

Fuente: Elaboración propia

### 8.5.3.3. Resistencia a la compresión (7 días)

En la siguiente Tabla 62 se muestra los resultados de la resistencia a la compresión que se han logrado extraer en laboratorio del concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 10% de adición de relave minero a la edad de 7 días que alcanza una resistencia de  $185.25 \text{ kg/cm}^2$ , la cual corresponde al 88% de su resistencia de diseño.

Tabla 62

*Resistencia a la compresión 7 días (DCP+10%ARM)*

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN                      |            |            |                    |                |                  |               |                            |                                |                |
|--------------------------------------------------|------------|------------|--------------------|----------------|------------------|---------------|----------------------------|--------------------------------|----------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 704/ASTM C39                 |            |            |                    |                |                  |               |                            |                                |                |
| $f'c$ de diseño:                                 |            | 210        | kg/cm <sup>2</sup> |                | Fecha de moldeo: |               | 02/08/2023                 |                                |                |
| % de relave:                                     |            | 10         | %                  |                | Fecha de rotura: |               | 09/08/2023                 |                                |                |
| N                                                | D1<br>(cm) | D2<br>(cm) | Dprom.<br>(cm)     | Altura<br>(cm) | Edad<br>Días     | Carga<br>(Kg) | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | $f'c$<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | %<br>Evolución |
| 1                                                | 15.20      | 15.22      | 15.21              | 30.80          | 7                | 32820.00      | 181.70                     | 180.63                         | 86%            |
| 2                                                | 15.21      | 15.23      | 15.22              | 30.80          | 7                | 34060.00      | 181.94                     | 187.21                         | 89%            |
| 3                                                | 15.24      | 15.22      | 15.23              | 30.70          | 7                | 33970.00      | 182.18                     | 186.47                         | 89%            |
| 4                                                | 15.20      | 15.22      | 15.21              | 30.70          | 7                | 33920.00      | 181.70                     | 186.68                         | 89%            |
| Resistencia promedio $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) |            |            |                    |                |                  |               | 185.25                     | 88%                            |                |

Fuente: Elaboración propia

#### 8.5.3.4. Resistencia a la compresión (14 días)

En la siguiente Tabla 63 se muestra los resultados de la resistencia a la compresión que se han logrado extraer en laboratorio del concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 10% de adición de relave minero a la edad de 14 días que alcanza una resistencia de  $212.73 \text{ kg/cm}^2$ , la cual corresponde al 101% de su resistencia de diseño.

Tabla 63

*Resistencia a la compresión 14 días (DCP+10%ARM)*

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN                      |            |            |                |                    |              |                  |                            |                                |                |
|--------------------------------------------------|------------|------------|----------------|--------------------|--------------|------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 704/ASTM C39                 |            |            |                |                    |              |                  |                            |                                |                |
| $f'c$ de diseño:                                 |            | 210        |                | kg/cm <sup>2</sup> |              | Fecha de moldeo: |                            | 31/07/2023                     |                |
| % de relave:                                     |            | 10         |                | %                  |              | Fecha de rotura: |                            | 14/18/2023                     |                |
| N                                                | D1<br>(cm) | D2<br>(cm) | Dprom.<br>(cm) | Altura<br>(cm)     | Edad<br>Días | Carga<br>(Kg)    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | $f'c$<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | %<br>Evolución |
| 1                                                | 15.23      | 15.24      | 15.24          | 30.70              | 14           | 38480.00         | 182.30                     | 211.09                         | 101%           |
| 2                                                | 15.23      | 15.24      | 15.24          | 30.80              | 14           | 39660.00         | 182.30                     | 217.56                         | 104%           |
| 3                                                | 15.24      | 15.23      | 15.24          | 30.90              | 14           | 39010.00         | 182.30                     | 213.99                         | 102%           |
| 4                                                | 15.24      | 15.22      | 15.23          | 30.90              | 14           | 37940.00         | 182.18                     | 208.26                         | 99%            |
| Resistencia promedio $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) |            |            |                |                    |              |                  | 212.73                     | 101%                           |                |

Fuente: Elaboración propia

#### 8.5.3.5. Resistencia a la compresión (21 días)

En la siguiente Tabla 64 se muestra los resultados de la resistencia a la compresión que se han logrado extraer en laboratorio del concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 10% de adición de relave minero a la edad de 21 días que alcanza una resistencia de  $239.89 \text{ kg/cm}^2$ , la cual corresponde al 114% de su resistencia de diseño.

Tabla 64

*Resistencia a la compresión 21 días (DCP+10%ARM)*

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN                      |            |            |                |                    |              |                  |                            |                                |                |
|--------------------------------------------------|------------|------------|----------------|--------------------|--------------|------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 704/ASTM C39                 |            |            |                |                    |              |                  |                            |                                |                |
| $f'c$ de diseño:                                 |            | 210        |                | kg/cm <sup>2</sup> |              | Fecha de moldeo: |                            | 31/07/2023                     |                |
| % de relave:                                     |            | 10         |                | %                  |              | Fecha de rotura: |                            | 21/08/2023                     |                |
| N                                                | D1<br>(cm) | D2<br>(cm) | Dprom.<br>(cm) | Altura<br>(cm)     | Edad<br>Días | Carga<br>(Kg)    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | $f'c$<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | %<br>Evolución |
| 1                                                | 15.23      | 15.24      | 15.24          | 30.70              | 21           | 43270.00         | 182.30                     | 237.36                         | 113%           |
| 2                                                | 15.23      | 15.24      | 15.24          | 30.80              | 21           | 44670.00         | 182.30                     | 245.04                         | 117%           |
| 3                                                | 15.24      | 15.22      | 15.23          | 30.90              | 21           | 43030.00         | 182.18                     | 236.20                         | 112%           |
| 4                                                | 15.24      | 15.24      | 15.24          | 30.90              | 21           | 43950.00         | 182.41                     | 240.93                         | 115%           |
| Resistencia promedio $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) |            |            |                |                    |              |                  | 239.89                     | 114%                           |                |

Fuente: Elaboración propia

#### 8.5.3.1. Resistencia a la compresión (28 días)

En la siguiente Tabla 65 se muestra los resultados de la resistencia a la compresión que se han logrado extraer en laboratorio del concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 10% de adición de relave minero a la edad de 28 días que alcanza una resistencia de  $265.26 \text{ kg/cm}^2$ , la cual corresponde al 126% de su resistencia de diseño.

Tabla 65

*Resistencia a la compresión 28 días (DCP+10%ARM)*

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN<br>CLASIFICACIÓN MTC E 704/ASTM C39 |            |            |                |                    |              |                  |                            |                                |                |
|-----------------------------------------------------------------|------------|------------|----------------|--------------------|--------------|------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------|
| $f'c$ de diseño:                                                |            | 210        |                | kg/cm <sup>2</sup> |              | Fecha de moldeo: |                            | 31/07/2023                     |                |
| % de relave:                                                    |            | 10         |                | %                  |              | Fecha de rotura: |                            | 28/08/2023                     |                |
| N                                                               | D1<br>(cm) | D2<br>(cm) | Dprom.<br>(cm) | Altura<br>(cm)     | Edad<br>Días | Carga<br>(Kg)    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | $f'c$<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | %<br>Evolución |
| 1                                                               | 15.22      | 15.23      | 15.23          | 30.70              | 28           | 48470.00         | 182.06                     | 266.24                         | 127%           |
| 2                                                               | 15.23      | 15.21      | 15.22          | 30.60              | 28           | 47940.00         | 181.94                     | 263.50                         | 125%           |
| 3                                                               | 15.22      | 15.22      | 15.22          | 30.70              | 28           | 48140.00         | 181.94                     | 264.60                         | 126%           |
| 4                                                               | 15.23      | 15.23      | 15.23          | 30.80              | 28           | 48590.00         | 182.18                     | 266.72                         | 127%           |
| Resistencia promedio $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> )                |            |            |                |                    |              |                  | 265.26                     | 126%                           |                |

Fuente: Elaboración propia

#### 8.5.4. Resultado de resistencia a la compresión de concreto patrón de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ + 15% de adición de relave minero (DCP+15%ARM)

##### 8.5.4.1. Resistencia a la compresión (1 día)

En la siguiente Tabla 66 se muestra los resultados de la resistencia a la compresión que se han logrado extraer en laboratorio del concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 15% de adición de relave minero a la edad de 1 día que alcanza una resistencia de  $26.79 \text{ kg/cm}^2$ , la cual corresponde al 13% de su resistencia de diseño.

Tabla 66

*Resistencia a la compresión 1 día (DCP+15%ARM)*

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN<br>CLASIFICACIÓN MTC E 704/ASTM C39 |            |            |                |                    |              |                  |                            |                                |                |
|-----------------------------------------------------------------|------------|------------|----------------|--------------------|--------------|------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------|
| $f'c$ de diseño:                                                |            | 210        |                | kg/cm <sup>2</sup> |              | Fecha de moldeo: |                            | 25/07/2023                     |                |
| % de relave:                                                    |            | 0          |                | %                  |              | Fecha de rotura: |                            | 26/07/2023                     |                |
| N                                                               | D1<br>(cm) | D2<br>(cm) | Dprom.<br>(cm) | Altura<br>(cm)     | Edad<br>Días | Carga<br>(Kg)    | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | $f'c$<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | %<br>Evolución |
| 1                                                               | 15.22      | 15.23      | 15.23          | 30.90              | 1            | 4630.00          | 182.06                     | 25.43                          | 12%            |
| 2                                                               | 15.20      | 15.21      | 15.21          | 30.80              | 1            | 4460.00          | 181.58                     | 24.56                          | 12%            |
| 3                                                               | 15.22      | 15.23      | 15.23          | 30.80              | 1            | 5620.00          | 182.06                     | 30.87                          | 15%            |
| 4                                                               | 15.21      | 15.22      | 15.22          | 30.80              | 1            | 4780.00          | 181.82                     | 26.29                          | 13%            |
| Resistencia promedio $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> )                |            |            |                |                    |              |                  | 26.79                      | 13%                            |                |

Fuente: Elaboración propia

#### 8.5.4.2. Resistencia a la compresión (3 días)

En la siguiente Tabla 67 se muestra los resultados de la resistencia a la compresión que se han logrado extraer en laboratorio del concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 15% de adición de relave minero a la edad de 3 días que alcanza una resistencia de  $72.92 \text{ kg/cm}^2$ , la cual corresponde al 35% de su resistencia de diseño.

Tabla 67

*Resistencia a la compresión 3 días (DCP+15%ARM)*

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN<br>CLASIFICACIÓN MTC E 704/ASTM C39 |            |            |                    |                |                  |               |                            |                                |                |
|-----------------------------------------------------------------|------------|------------|--------------------|----------------|------------------|---------------|----------------------------|--------------------------------|----------------|
| $f'c$ de diseño:                                                |            | 210        | kg/cm <sup>2</sup> |                | Fecha de moldeo: |               | 02/08/2023                 |                                |                |
| % de relave:                                                    |            | 15         | %                  |                | Fecha de rotura: |               | 05/08/2023                 |                                |                |
| N                                                               | D1<br>(cm) | D2<br>(cm) | Dprom.<br>(cm)     | Altura<br>(cm) | Edad<br>Días     | Carga<br>(Kg) | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | $f'c$<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | %<br>Evolución |
| 1                                                               | 15.21      | 15.23      | 15.22              | 30.90          | 3                | 12700.00      | 181.94                     | 69.80                          | 33%            |
| 2                                                               | 15.20      | 15.21      | 15.21              | 30.80          | 3                | 12730.00      | 181.58                     | 70.11                          | 33%            |
| 3                                                               | 15.24      | 15.23      | 15.24              | 30.80          | 3                | 14260.00      | 182.30                     | 78.22                          | 37%            |
| 4                                                               | 15.22      | 15.22      | 15.22              | 30.70          | 3                | 13380.00      | 181.94                     | 73.54                          | 35%            |
| Resistencia promedio $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> )                |            |            |                    |                |                  |               | 72.92                      | 35%                            |                |

Fuente: Elaboración propia

#### 8.5.4.3. Resistencia a la compresión (7 días)

En la siguiente Tabla 68 se muestra los resultados de la resistencia a la compresión que se han logrado extraer en laboratorio del concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 15% de adición de relave minero a la edad de 7 días que alcanza una resistencia de  $146.89 \text{ kg/cm}^2$ , la cual corresponde al 70% de su resistencia de diseño.

Tabla 68

*Resistencia a la compresión 7 días (DCP+15%ARM)*

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN<br>CLASIFICACIÓN MTC E 704/ASTM C39 |            |            |                    |                |                  |               |                            |                                |                |
|-----------------------------------------------------------------|------------|------------|--------------------|----------------|------------------|---------------|----------------------------|--------------------------------|----------------|
| $f'c$ de diseño:                                                |            | 210        | kg/cm <sup>2</sup> |                | Fecha de moldeo: |               | 02/08/2023                 |                                |                |
| % de relave:                                                    |            | 15         | %                  |                | Fecha de rotura: |               | 09/08/2023                 |                                |                |
| N                                                               | D1<br>(cm) | D2<br>(cm) | Dprom.<br>(cm)     | Altura<br>(cm) | Edad<br>Días     | Carga<br>(Kg) | Área<br>(cm <sup>2</sup> ) | $f'c$<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | %<br>Evolución |
| 1                                                               | 15.21      | 15.23      | 15.22              | 30.80          | 7                | 30520.00      | 181.94                     | 167.75                         | 80%            |
| 2                                                               | 15.22      | 15.24      | 15.23              | 30.70          | 7                | 32950.00      | 182.18                     | 180.87                         | 86%            |
| 3                                                               | 15.20      | 15.21      | 15.21              | 30.90          | 7                | 24710.00      | 181.58                     | 136.08                         | 65%            |
| 4                                                               | 15.21      | 15.21      | 15.21              | 30.90          | 7                | 18690.00      | 181.70                     | 102.86                         | 49%            |
| Resistencia promedio $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> )                |            |            |                    |                |                  |               | 146.89                     | 70%                            |                |

Fuente: Elaboración propia

#### 8.5.4.4. Resistencia a la compresión (14 días)

En la siguiente Tabla 69 se muestra los resultados de la resistencia a la compresión que se han logrado extraer en laboratorio del concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 15% de adición de relave minero a la edad de 14 días que alcanza una resistencia de  $187.27 \text{ kg/cm}^2$ , la cual corresponde al 89% de su resistencia de diseño.

Tabla 69

*Resistencia a la compresión 14 días (DCP+15%ARM)*

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN                     |            |            |                  |                |                  |               |                           |                               |                |
|-------------------------------------------------|------------|------------|------------------|----------------|------------------|---------------|---------------------------|-------------------------------|----------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 704/ASTM C39                |            |            |                  |                |                  |               |                           |                               |                |
| $f'c$ de diseño:                                |            | 210        | $\text{kg/cm}^2$ |                | Fecha de moldeo: |               | 02/08/2023                |                               |                |
| % de relave:                                    |            | 15         | %                |                | Fecha de rotura: |               | 16/08/2023                |                               |                |
| N                                               | D1<br>(cm) | D2<br>(cm) | Dprom.<br>(cm)   | Altura<br>(cm) | Edad<br>Días     | Carga<br>(Kg) | Área<br>( $\text{cm}^2$ ) | $f'c$<br>( $\text{Kg/cm}^2$ ) | %<br>Evolución |
| 1                                               | 15.25      | 15.24      | 15.25            | 30.80          | 14               | 34310.00      | 182.53                    | 187.96                        | 90%            |
| 2                                               | 15.25      | 15.25      | 15.25            | 30.80          | 14               | 36410.00      | 182.65                    | 199.34                        | 95%            |
| 3                                               | 15.24      | 15.23      | 15.24            | 30.80          | 14               | 31910.00      | 182.30                    | 175.05                        | 83%            |
| 4                                               | 15.21      | 15.22      | 15.22            | 30.60          | 14               | 33950.00      | 181.82                    | 186.73                        | 89%            |
| Resistencia promedio $f'c$ ( $\text{kg/cm}^2$ ) |            |            |                  |                |                  |               | 187.27                    | 89%                           |                |

Fuente: Elaboración propia

#### 8.5.4.5. Resistencia a la compresión (21 días)

En la siguiente Tabla 70 se muestra los resultados de la resistencia a la compresión que se han logrado extraer en laboratorio del concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 15% de adición de relave minero a la edad de 21 días que alcanza una resistencia de  $226.68 \text{ kg/cm}^2$ , la cual corresponde al 108% de su resistencia de diseño.

Tabla 70

*Resistencia a la compresión 21 días (DCP+15%ARM)*

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN                     |            |            |                  |                |                  |               |                           |                               |                |
|-------------------------------------------------|------------|------------|------------------|----------------|------------------|---------------|---------------------------|-------------------------------|----------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 704/ASTM C39                |            |            |                  |                |                  |               |                           |                               |                |
| $f'c$ de diseño:                                |            | 210        | $\text{kg/cm}^2$ |                | Fecha de moldeo: |               | 02/08/2023                |                               |                |
| % de relave:                                    |            | 15         | %                |                | Fecha de rotura: |               | 23/08/2023                |                               |                |
| N                                               | D1<br>(cm) | D2<br>(cm) | Dprom.<br>(cm)   | Altura<br>(cm) | Edad<br>Días     | Carga<br>(Kg) | Área<br>( $\text{cm}^2$ ) | $f'c$<br>( $\text{Kg/cm}^2$ ) | %<br>Evolución |
| 1                                               | 15.25      | 15.24      | 15.25            | 30.80          | 21               | 42040.00      | 182.53                    | 230.31                        | 110%           |
| 2                                               | 15.23      | 15.22      | 15.23            | 30.70          | 21               | 41360.00      | 182.06                    | 227.18                        | 108%           |
| 3                                               | 15.24      | 15.22      | 15.23            | 30.70          | 21               | 40070.00      | 182.18                    | 219.95                        | 105%           |
| 4                                               | 15.20      | 15.21      | 15.21            | 30.80          | 21               | 41630.00      | 181.58                    | 229.27                        | 109%           |
| Resistencia promedio $f'c$ ( $\text{kg/cm}^2$ ) |            |            |                  |                |                  |               | 226.68                    | 108%                          |                |

Fuente: Elaboración propia

#### 8.5.4.6. Resistencia a la compresión (28 días)

En la siguiente Tabla 71 se muestra los resultados de la resistencia a la compresión que se han logrado extraer en laboratorio del concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 15% de adición de relave minero a la edad de 28 días que alcanza una resistencia de  $242.40 \text{ kg/cm}^2$ , la cual corresponde al 115% de su resistencia de diseño.

Tabla 71

*Resistencia a la compresión 28 días (DCP+15%ARM)*

| <b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN</b>                 |            |            |                |                  |              |                  |                           |                               |                |
|----------------------------------------------------|------------|------------|----------------|------------------|--------------|------------------|---------------------------|-------------------------------|----------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 704/ASTM C39                   |            |            |                |                  |              |                  |                           |                               |                |
| $f'c$ de diseño:                                   |            | 210        |                | $\text{kg/cm}^2$ |              | Fecha de moldeo: |                           | 02/08/2023                    |                |
| % de relave:                                       |            | 15         |                | %                |              | Fecha de rotura: |                           | 30/08/2023                    |                |
| N                                                  | D1<br>(cm) | D2<br>(cm) | Dprom.<br>(cm) | Altura<br>(cm)   | Edad<br>Días | Carga<br>(Kg)    | Área<br>( $\text{cm}^2$ ) | $f'c$<br>( $\text{Kg/cm}^2$ ) | %<br>Evolución |
| 1                                                  | 15.21      | 15.21      | 15.21          | 30.50            | 28           | 43760.00         | 181.70                    | 240.84                        | 115%           |
| 2                                                  | 15.24      | 15.23      | 15.24          | 30.60            | 28           | 43110.00         | 182.30                    | 236.48                        | 113%           |
| 3                                                  | 15.21      | 15.22      | 15.22          | 30.70            | 28           | 46130.00         | 181.82                    | 253.72                        | 121%           |
| 4                                                  | 15.23      | 15.23      | 15.23          | 30.70            | 28           | 43460.00         | 182.18                    | 238.56                        | 114%           |
| <b>Resistencia promedio <math>f'c</math> (Mpa)</b> |            |            |                |                  |              |                  | 242.40                    | 115%                          |                |

Fuente: Elaboración propia

### 8.6. Resultados de la Resistencia a la Flexión

Para obtener la resistencia a la flexión del concreto se utilizó los procedimientos de la norma ASTM C78, Resistencia a la flexión del concreto (Usando viga simple con carga a los tercios del claro). Para lo cual se calculó como el promedio de 3 muestras de la misma tanda de vaciado, para cada tipo de diseño de mezcla.

#### 8.6.1. Resultado de resistencia a la flexión de concreto patrón de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ (DCP)

##### 8.6.1.1. Resistencia a la flexión (28 días)

En la siguiente Tabla 72 se muestra los resultados de la resistencia a la flexión que se han logrado extraer en laboratorio del concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  a la edad de 28 días que alcanza una resistencia de  $2.74 \text{ Mpa}$ , la cual corresponde al 104% de su resistencia de diseño.

Tabla 72

*Resistencia a la flexión 28 días (DCP)*

| RESISTENCIA A LA FLEXIÓN         |       |       |      |           |                  |         |            |                       |                       |           |
|----------------------------------|-------|-------|------|-----------|------------------|---------|------------|-----------------------|-----------------------|-----------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 709/ASTM C78 |       |       |      |           |                  |         |            |                       |                       |           |
| Módulo de rotura                 |       | 2.8   | Mpa  |           | Fecha de moldeo: |         | 21/08/2023 |                       |                       |           |
| % de relave:                     |       | 0     | %    |           | Fecha de rotura: |         | 18/09/2023 |                       |                       |           |
| Nº                               | Largo | Ancho | Alto | Luz Libre | Edad             | Carga   |            | Módulo de rotura (Mr) |                       | %         |
|                                  | (mm)  | (mm)  | (mm) | (mm)      | Días             | (Kg)    | (N)        | (Mpa)                 | (kg/cm <sup>2</sup> ) | Evolución |
| 1                                | 650   | 150   | 150  | 450       | 28               | 2311.96 | 22672.59   | 3.02                  | 30.83                 | 108%      |
| 2                                | 650   | 150   | 150  | 450       | 28               | 2033.46 | 19941.38   | 2.66                  | 27.11                 | 95%       |
| 3                                | 650   | 150   | 150  | 450       | 28               | 2343.64 | 22983.30   | 3.06                  | 31.25                 | 109%      |
| Resistencia promedio f'c (Mpa)   |       |       |      |           |                  |         | 2.92       | 104%                  |                       |           |

Fuente: Elaboración propia

### 8.6.2. Resultado de resistencia a la flexión de concreto patrón de f'c=210 kg/cm<sup>2</sup> +5% de adición de relave minero (DCP+5%ARM)

#### 8.6.2.1. Resistencia a la flexión (28 días)

En la siguiente Tabla 73 se muestra los resultados de la resistencia a la flexión que se han logrado extraer en laboratorio del concreto patrón de f'c=210 kg/cm<sup>2</sup> + 5% de adición de relave minero a la edad de 28 días que alcanza una resistencia de 3.29 Mpa, la cual corresponde al 118 % de su resistencia de diseño.

Tabla 73

*Resistencia a la flexión 28 días (DCP+5%ARM)*

| RESISTENCIA A LA FLEXIÓN         |       |       |      |           |                  |         |            |                       |                       |           |
|----------------------------------|-------|-------|------|-----------|------------------|---------|------------|-----------------------|-----------------------|-----------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 709/ASTM C78 |       |       |      |           |                  |         |            |                       |                       |           |
| Módulo de rotura                 |       | 2.8   | Mpa  |           | Fecha de moldeo: |         | 22/08/2023 |                       |                       |           |
| % de relave:                     |       | 5     | %    |           | Fecha de rotura: |         | 19/09/2018 |                       |                       |           |
| Nº                               | Largo | Ancho | Alto | Luz Libre | Edad             | Carga   |            | Módulo de rotura (Mr) |                       | %         |
|                                  | (mm)  | (mm)  | (mm) | (mm)      | Días             | (Kg)    | (N)        | (Mpa)                 | (kg/cm <sup>2</sup> ) | Evolución |
| 1                                | 650   | 150   | 150  | 450       | 28               | 2810.91 | 27565.49   | 3.68                  | 37.48                 | 131%      |
| 2                                | 650   | 150   | 150  | 450       | 28               | 1932.76 | 18953.77   | 2.53                  | 25.77                 | 90%       |
| 3                                | 650   | 150   | 150  | 450       | 28               | 2805.92 | 27516.56   | 3.67                  | 37.41                 | 131%      |
| Resistencia promedio f'c (Mpa)   |       |       |      |           |                  |         | 3.29       | 118%                  |                       |           |

Fuente: Elaboración propia

### 8.6.3. Resultado de resistencia a la flexión de concreto patrón de f'c=210 kg/cm<sup>2</sup> +10% de adición de relave minero (DCP+10%ARM)

#### 8.6.3.1. Resistencia a la flexión (28 días)

En la siguiente Tabla 74 se muestra los resultados de la resistencia a la flexión que se han logrado extraer en laboratorio del concreto patrón de f'c=210 kg/cm<sup>2</sup> +

10% de adición de relave minero a la edad de 28 días que alcanza una resistencia de 3.38 Mpa, la cual corresponde al 121% de su resistencia de diseño.

Tabla 74

*Resistencia a la flexión 28 días (DCP+10%ARM)*

| RESISTENCIA A LA FLEXIÓN         |               |               |              |                      |              |                   |          |                                                         |       |                |
|----------------------------------|---------------|---------------|--------------|----------------------|--------------|-------------------|----------|---------------------------------------------------------|-------|----------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 709/ASTM C78 |               |               |              |                      |              |                   |          |                                                         |       |                |
| Módulo de rotura                 |               | 2.8           | Mpa          | Fecha de moldeo:     |              | 23/08/2023        |          |                                                         |       |                |
| % de relave:                     |               | 10            | %            | Fecha de rotura:     |              | 20/09/2023        |          |                                                         |       |                |
| N°                               | Largo<br>(mm) | Ancho<br>(mm) | Alto<br>(mm) | Luz<br>Libre<br>(mm) | Edad<br>Días | Carga<br>(Kg) (N) |          | Módulo de rotura<br>(Mr)<br>(Mpa) (kg/cm <sup>2</sup> ) |       | %<br>Evolución |
| 1                                | 650           | 150           | 150          | 450                  | 28           | 2071.56           | 20315.03 | 2.71                                                    | 27.62 | 97%            |
| 2                                | 650           | 150           | 150          | 450                  | 28           | 2860.35           | 28050.49 | 3.74                                                    | 38.14 | 134%           |
| 3                                | 650           | 150           | 150          | 450                  | 28           | 2813.60           | 27591.99 | 3.68                                                    | 37.51 | 131%           |
| Resistencia promedio f'c (Mpa)   |               |               |              |                      |              |                   | 3.38     | 121%                                                    |       |                |

Fuente: Elaboración propia

#### 8.6.4. Resultado de resistencia a la flexión de concreto patrón de f'c=210 kg/cm<sup>2</sup> +15% de adición de relave minero (DCP+15%ARM)

##### 8.6.4.1. Resistencia a la flexión (28 días)

En la siguiente Tabla 75 se muestra los resultados de la resistencia a la flexión que se han logrado extraer en laboratorio del concreto patrón de f'c=210 kg/cm<sup>2</sup> + 15% de adición de relave minero a la edad de 28 días que alcanza una resistencia de 3.16 Mpa, la cual corresponde al 113% de su resistencia de diseño.

Tabla 75

*Resistencia a la flexión 28 días (DCP+15%ARM)*

| RESISTENCIA A LA FLEXIÓN                       |               |               |              |                      |              |                   |          |                                                         |       |                |
|------------------------------------------------|---------------|---------------|--------------|----------------------|--------------|-------------------|----------|---------------------------------------------------------|-------|----------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 709/ASTM C78               |               |               |              |                      |              |                   |          |                                                         |       |                |
| Módulo de rotura                               |               | 2.8           | Mpa          | Fecha de moldeo:     |              | 24/03/2023        |          |                                                         |       |                |
| % de relave:                                   |               | 15            | %            | Fecha de rotura:     |              | 21/09/2023        |          |                                                         |       |                |
| N°                                             | Largo<br>(mm) | Ancho<br>(mm) | Alto<br>(mm) | Luz<br>Libre<br>(mm) | Edad<br>Días | Carga<br>(Kg) (N) |          | Módulo de rotura<br>(Mr)<br>(Mpa) (kg/cm <sup>2</sup> ) |       | %<br>Evolución |
| 1                                              | 650           | 150           | 150          | 450                  | 28           | 2455.30           | 24078.23 | 3.21                                                    | 32.74 | 115%           |
| 2                                              | 650           | 150           | 150          | 450                  | 28           | 1834.78           | 17993.06 | 2.40                                                    | 24.46 | 86%            |
| 3                                              | 650           | 150           | 150          | 450                  | 28           | 2956.52           | 28993.51 | 3.87                                                    | 39.42 | 138%           |
| Resistencia promedio f'c (kg/cm <sup>2</sup> ) |               |               |              |                      |              |                   | 3.16     | 113%                                                    |       |                |

Fuente: Elaboración propia

#### 8.7. Resultados para el Costo de Producción de Concreto

Para el procesamiento del análisis de costos unitarios se utilizó como guía el libro de análisis de costos unitarios del Capeco, cotización de agregado en Espinar y resolución de costo hh en la ciudad del Cusco ,cálculo de rendimiento de transporte y producción de relave.

Tabla 76

Calculo de rendimiento de transporte de relave minero

**CALCULO DE LOS RENDIMIENTOS DE TRANSPORTE DE RELAVE MINERO**

**MATERIAL: RELAVE MINERO**

| DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES              | GRAVA         |
|---------------------------------------------|---------------|
| DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE (km)          | 10.00         |
| VELOCIDAD CARGADO (km/h)                    | 25.00         |
| VELOCIDAD DESCARGADO (km/h)                 | 50.00         |
| CAPACIDAD DEL VEHICULO (m3)                 | 15.00         |
| TIEMPO DE CARGUO (min)                      | 5.00          |
| TIEMPO DE DESCARGA ( min)                   | 3.00          |
| TIEMPO DE RECORRIDO CARGADO (min)           | 24.00         |
| TIEMPO DE RECORRIDO DESCARGADO (min)        | 12.00         |
| TIEMPO TOTAL POR CICLO (min)                | 44.00         |
| N° DE MINUTOS POR JORNADA (min)             | 480.00        |
| TIEMPO EFECTIVO (80%) (min)                 | 384.00        |
| N° DE CICLOS POR DIA                        | 8.70          |
| <b>VOLUMEN DIARIO TRANSPORTADO (m3/dia)</b> | <b>130.50</b> |

Fuente: Elaboración propia- incluye IGV 18%

Tabla 77

Costo de producción de relave minero

| <b>1.1</b>                                                                          |                                                                                                                                                                               | COSTO DE PRODUCCIÓN DE 1M3 DE RELAVE MINERO PUESTO EN OBRA |                                                                                             |                                         |        | Especificaciones:                                                                        |              |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Rendimiento:                                                                        | 130.5   | m <sup>3</sup>                                             | Por día  | <input type="checkbox"/> Horas por Día: |        | 8   |              |
| Descripcion                                                                         | U...                                                                                                                                                                          | Rec...                                                     | Cantidad                                                                                    | %...                                    | Precio | Total                                                                                                                                                                         |              |
|  |                                                                                            | =                                                          | =                                                                                           | =                                       | =      | =                                                                                                                                                                             |              |
| ▼ <b>MANO DE OBRA</b>                                                               |                                                                                                                                                                               |                                                            |                                                                                             |                                         |        |                                                                                                                                                                               | <b>3.33</b>  |
| 470010001 OPERARIO                                                                  | hh                                                                                                                                                                            | 2.00                                                       | 0.1226                                                                                      |                                         | 27.17  | 3.33                                                                                                                                                                          |              |
| ▼ <b>MATERIALES</b>                                                                 |                                                                                                                                                                               |                                                            |                                                                                             |                                         |        |                                                                                                                                                                               | <b>5.12</b>  |
| 530010001 PETROLEO                                                                  | gln                                                                                                                                                                           |                                                            | 0.3200                                                                                      | 0%                                      | 16.00  | 5.12                                                                                                                                                                          |              |
| ▼ <b>EQUIPO</b>                                                                     |                                                                                                                                                                               |                                                            |                                                                                             |                                         |        |                                                                                                                                                                               | <b>20.69</b> |
| 490010005 CAMION VOLQUETE                                                           | hm                                                                                                                                                                            | 1.00                                                       | 0.0613                                                                                      | 0%                                      | 171.00 | 10.48                                                                                                                                                                         |              |
| 490010006 CARGADOR FRONTAL                                                          | hm                                                                                                                                                                            | 1.00                                                       | 0.0613                                                                                      | 0%                                      | 165.00 | 10.11                                                                                                                                                                         |              |
| 370010001 HERRAMIENTAS MANUALES                                                     | %...                                                                                                                                                                          |                                                            | 3.0000                                                                                      |                                         | 3.33   | 0.10                                                                                                                                                                          |              |
| <b>SUB-CONTRATOS</b>                                                                |                                                                                                                                                                               |                                                            |                                                                                             |                                         |        |                                                                                                                                                                               | <b>0.00</b>  |
| <b>SUB-PARTIDAS</b>                                                                 |                                                                                                                                                                               |                                                            |                                                                                             |                                         |        |                                                                                                                                                                               | <b>0.00</b>  |
|                                                                                     |                                                                                                                                                                               |                                                            |                                                                                             |                                         |        | <b>Total</b>                                                                                                                                                                  | <b>29.14</b> |

Fuente: Elaboración propia- incluye IGV 18%

### 8.7.1. Resultado de costo de producción de concreto patrón de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ (DCP)

En la siguiente Tabla 78 se muestra el desagregado de costo de producción del concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  para  $1\text{m}^3$  de concreto que es de 343.66 soles.

Tabla 78

*Costo de producción de concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  (DCP)*

| <b>2.1</b> Costo de producción de concreto patrón de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ (DCP) |                  | Especificaciones:  |                  |      |        |               |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------|--------|---------------|
| Rendimiento:                                                                         | 0 m <sup>3</sup> | Por día                                                                                               | Horas por Día: 8 |      |        |               |
| Descripción                                                                          | U...             | Rec...                                                                                                | Cantidad         | %... | Precio | Total         |
| <b>MANO DE OBRA</b>                                                                  |                  |                                                                                                       |                  |      |        | <b>0.00</b>   |
| <b>MATERIALES</b>                                                                    |                  |                                                                                                       |                  |      |        | <b>343.66</b> |
| 050010001 PIEDRA CHANCADA DE 1/2"                                                    | m <sup>3</sup>   |                                                                                                       | 0.5990           | 0%   | 80.00  | 47.92         |
| 040010002 ARENA GRUESA                                                               | m <sup>3</sup>   |                                                                                                       | 0.5000           | 0%   | 70.00  | 35.00         |
| 210010001 CEMENTO PORTLAND TIPO IP                                                   | bol              |                                                                                                       | 9.3000           | 0%   | 28.00  | 260.40        |
| 390010001 AGUA                                                                       | m <sup>3</sup>   |                                                                                                       | 0.2280           | 0%   | 1.50   | 0.34          |
| 040010001 RELAVE MINERO                                                              | m <sup>3</sup>   |                                                                                                       | 0.0000           | 0%   | 29.14  | 0.00          |
| <b>EQUIPO</b>                                                                        |                  |                                                                                                       |                  |      |        | <b>0.00</b>   |
| 370010001 HERRAMIENTAS MANUALES                                                      | %...             |                                                                                                       | 3.0000           |      | 0.00   | 0.00          |
| <b>SUB-CONTRATOS</b>                                                                 |                  |                                                                                                       |                  |      |        | <b>0.00</b>   |
| <b>SUB-PARTIDAS</b>                                                                  |                  |                                                                                                       |                  |      |        | <b>0.00</b>   |
| <b>Total</b>                                                                         |                  |                                                                                                       |                  |      |        | <b>343.66</b> |

Fuente: Elaboración propia- incluye IGV 18%

### 8.7.2. Resultado de costo de producción de concreto patrón de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ + 5% de adición de relave minero (DCP + 5%ARM)

En la siguiente Tabla 79 se muestra el desagregado de costo de producción del concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 5% de adición de relave minero en material cementante de las unidades mineras de Espinar para  $1\text{m}^3$  de concreto que es de 343.15 soles.

Tabla 79

*Costo de producción de concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 5% de adición de relave minero (DCP+5%ARM)*

| <b>2.2</b>                                                                        |                                                                                     | Costo de producción de concreto patrón de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ + 5% de adición de relave minero (DCP+5%ARM) |          |      |                | Especificaciones:  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rendimiento:                                                                      | 0 m³                                                                                | Por día                                                                                                          |          |      | Horas por Día: | 8                                                                                                     |
| Descripción                                                                       | U...                                                                                | Rec...                                                                                                           | Cantidad | %... | Precio         | Total                                                                                                 |
|  |  | =                                                                                                                | =        | =    | =              | =                                                                                                     |
| <b>MANO DE OBRA</b>                                                               |                                                                                     |                                                                                                                  |          |      |                | <b>0.00</b>                                                                                           |
| <b>MATERIALES</b>                                                                 |                                                                                     |                                                                                                                  |          |      |                | <b>343.15</b>                                                                                         |
| 050010001 PIEDRA CHANCADA DE 1/2"                                                 | m³                                                                                  |                                                                                                                  | 0.5990   | 0%   | 80.00          | 47.92                                                                                                 |
| 040010002 ARENA GRUESA                                                            | m³                                                                                  |                                                                                                                  | 0.4860   | 0%   | 70.00          | 34.02                                                                                                 |
| 210010001 CEMENTO PORTLAND TIPO IP                                                | bol                                                                                 |                                                                                                                  | 9.3000   | 0%   | 28.00          | 260.40                                                                                                |
| 390010001 AGUA                                                                    | m³                                                                                  |                                                                                                                  | 0.2280   | 0%   | 1.50           | 0.34                                                                                                  |
| 040010001 RELAVE MINERO                                                           | m³                                                                                  |                                                                                                                  | 0.0160   | 0%   | 29.14          | 0.47                                                                                                  |
| <b>EQUIPO</b>                                                                     |                                                                                     |                                                                                                                  |          |      |                | <b>0.00</b>                                                                                           |
| <b>SUB-CONTRATOS</b>                                                              |                                                                                     |                                                                                                                  |          |      |                | <b>0.00</b>                                                                                           |
| <b>SUB-PARTIDAS</b>                                                               |                                                                                     |                                                                                                                  |          |      |                | <b>0.00</b>                                                                                           |
| <b>Total</b>                                                                      |                                                                                     |                                                                                                                  |          |      |                | <b>343.15</b>                                                                                         |

Fuente: Elaboración propia- incluye IGV 18%

### 8.7.3. Resultado de costo de producción de concreto patrón de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ + 10% de adición de relave minero (DCP + 10%ARM)

En la siguiente Tabla 80 se muestra el desagregado de costo de producción del concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 10% de adición de relave minero en material cementante de las unidades mineras de Espinar para  $1\text{m}^3$  de concreto que es de 342.60 soles.

Tabla 80

*Costo de producción de concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 10% de adición de relave minero (DCP+10%ARM)*

2.3

Costo de producción de concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 10% de adición de relave minero (DCP+10%ARM)

Especificaciones:

Rendimiento:

0

m³

Por día

☐

Horas por Día:

8

| Descripción                        | U...                              | Rec... | Cantidad | %... | Precio | Total  |
|------------------------------------|-----------------------------------|--------|----------|------|--------|--------|
| <div><div></div><div></div></div>  | <div><div></div><div></div></div> | =      | =        | =    | =      | =      |
| MANO DE OBRA                       |                                   |        |          |      |        | 0.00   |
| MATERIALES                         |                                   |        |          |      |        | 342.60 |
| 050010001 PIEDRA CHANCADA DE 1/2"  | m³                                |        | 0.5990   | 0%   | 80.00  | 47.92  |
| 040010002 ARENA GRUESA             | m³                                |        | 0.4720   | 0%   | 70.00  | 33.04  |
| 210010001 CEMENTO PORTLAND TIPO IP | bol                               |        | 9.3000   | 0%   | 28.00  | 260.40 |
| 390010001 AGUA                     | m³                                |        | 0.2280   | 0%   | 1.50   | 0.34   |
| 040010001 RELAVE MINERO            | m³                                |        | 0.0310   | 0%   | 29.14  | 0.90   |
| EQUIPO                             |                                   |        |          |      |        | 0.00   |
| SUB-CONTRATOS                      |                                   |        |          |      |        | 0.00   |
| SUB-PARTIDAS                       |                                   |        |          |      |        | 0.00   |
| Total                              |                                   |        |          |      |        | 342.60 |

Fuente: Elaboración propia- incluye IGV 18%

#### 8.7.4. Resultado de costo de producción de concreto patrón de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ + 15% de adición de relave minero (DCP + 15%ARM)

En la siguiente Tabla 81 se muestra el desagregado de costo de producción del concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 15% de adición de relave minero en material cementante de las unidades mineras de Espinar para 1m<sup>3</sup> de concreto que es de 342.09 soles.

Tabla 81

Costo de producción de concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 15% de adición de relave minero (DCP+15%ARM)

2.4

Costo de producción de concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 15% de adición de relave minero (DCP+15%ARM)

Especificaciones: 

Rendimiento: 0 m<sup>3</sup> Por día

☐ Horas por Día: 8

| Descripción                                                                         | U...                                                                                 | Rec... | Cantidad | %... | Precio | Total         |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------|------|--------|---------------|
|  c |  c | =      | =        | =    | =      | =             |
| <b>MANO DE OBRA</b>                                                                 |                                                                                      |        |          |      |        | <b>0.00</b>   |
| <b>MATERIALES</b>                                                                   |                                                                                      |        |          |      |        | <b>342.09</b> |
| 050010001 PIEDRA CHANCADA DE 1/2"                                                   | m <sup>3</sup>                                                                       |        | 0.5990   | 0%   | 80.00  | 47.92         |
| 040010002 ARENA GRUESA                                                              | m <sup>3</sup>                                                                       |        | 0.4580   | 0%   | 70.00  | 32.06         |
| 210010001 CEMENTO PORTLAND TIPO IP                                                  | bol                                                                                  |        | 9.3000   | 0%   | 28.00  | 260.40        |
| 390010001 AGUA                                                                      | m <sup>3</sup>                                                                       |        | 0.2280   | 0%   | 1.50   | 0.34          |
| 040010001 RELAVE MINERO                                                             | m <sup>3</sup>                                                                       |        | 0.0470   | 0%   | 29.14  | 1.37          |
| <b>EQUIPO</b>                                                                       |                                                                                      |        |          |      |        | <b>0.00</b>   |
| <b>SUB-CONTRATOS</b>                                                                |                                                                                      |        |          |      |        | <b>0.00</b>   |
| <b>SUB-PARTIDAS</b>                                                                 |                                                                                      |        |          |      |        | <b>0.00</b>   |

**Total 342.09**

Fuente: Elaboración propia- incluye IGV 18%

## 9. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 9.1. Propiedades físicas y mecánicas de los agregados (Cantera Rio Apurímac)

Después de haber obtenido los resultados en laboratorio de los agregados pétreos que fueron utilizados en el diseño de concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y los diseños con adición de relaves mineros en 5%, 10% y 15% en peso del material cementante, todas estas propiedades físicas y mecánicas están dentro de los límites inferiores y superiores.

En la siguiente Tabla 82 se puede apreciar el resumen de los resultados de los ensayos al agregado fino.

Tabla 82

*Resumen de los resultados obtenidos en laboratorio de los ensayos al agregado fino*

| <b>Resultados del agregado fino: Arena gruesa (Rio Apurímac)</b>                                            |                        |                          |                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------|
| <b>Ensayo</b>                                                                                               | <b>Valores usuales</b> | <b>Valores obtenidos</b> | <b>Verificación</b> |
| <b>Análisis granulométrico del agregados gruesos y finos (MTC E204)</b>                                     |                        |                          |                     |
| Módulo de fineza                                                                                            | (2.35-3.15)            | 3.14                     | cumple              |
| <b>Gravedad específica y absorción de agregados finos (MTC E205)</b>                                        |                        |                          |                     |
| Peso específico ( $\text{gr/cm}^3$ )                                                                        | (2.4-2.8)              | 2.57                     | cumple              |
| (%) de absorción                                                                                            | (0.2-4.0)              | 1.89%                    | cumple              |
| <b>Peso unitario y vacíos de los agregados (MTC E203)</b>                                                   |                        |                          |                     |
| Peso unitario suelto ( $\text{kg/m}^3$ )                                                                    | (1300-1800)            | 1.65                     | cumple              |
| Peso unitario compactado ( $\text{kg/m}^3$ )                                                                | (1400-1900)            | 1.74                     | cumple              |
| <b>Determinación del contenido de humedad del agregado grueso (MTC E108)</b>                                |                        |                          |                     |
| (%) de humedad                                                                                              | (0.0-2.0)              | 1.22%                    | cumple              |
| <b>Cantidad de material que pasa el tamiz de 75 <math>\mu\text{m}</math> (No 200) por lavado (MTC E202)</b> |                        |                          |                     |
| Material fino que pasa el tamiz de 75 $\mu\text{m}$ (No 200)                                                | máx. 5%                | 0.53%                    | cumple              |

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente Tabla 83 se puede apreciar el resumen de los resultados de los ensayos al agregado grueso.

Tabla 83

*Resumen de los resultados obtenidos en laboratorio de los ensayos al agregado grueso*

| <b>Resultados del agregado grueso: Piedra chancada (Rio Apurímac)</b>        |                        |                          |                     |
|------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------|
| <b>Ensayo</b>                                                                | <b>Valores usuales</b> | <b>Valores obtenidos</b> | <b>Verificación</b> |
| <b>Análisis granulométrico del agregados gruesos y finos (MTC E204)</b>      |                        |                          |                     |
| Tamaño máximo nominal                                                        |                        | 1/2 pulg.                |                     |
| Módulo de fineza                                                             | (5.5 -8.5)             | 6.87                     | cumple              |
| <b>Peso específico y absorción de agregados gruesos (MTC E206)</b>           |                        |                          |                     |
| Peso específico ( $\text{gr/cm}^3$ )                                         | (2.4-2.8)              | 2.55                     | cumple              |
| (%) de absorción                                                             | (0.2-4.0)              | 2.12%                    | cumple              |
| <b>Peso unitario y vacíos de los agregados (MTC E203)</b>                    |                        |                          |                     |
| Peso unitario suelto ( $\text{kg/m}^3$ )                                     | (1300-1800)            | 1.32                     | cumple              |
| Peso unitario compactado ( $\text{kg/m}^3$ )                                 | (1400-1900)            | 1.47                     | cumple              |
| <b>Determinación del contenido de humedad del agregado grueso (MTC E108)</b> |                        |                          |                     |
| (%) de humedad                                                               | (0.0-2.0)              | 1.22%                    | cumple              |
| <b>Abrasión los ángeles del agregado grueso (MTC E207)</b>                   |                        |                          |                     |
| <b>Desgaste</b>                                                              | <b>Máximo</b>          | <b>Valores obtenidos</b> | <b>Verificación</b> |
| (%) Abrasión-máquina de los Ángeles                                          | 35%                    | 26.13%                   | cumple              |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 84

*Resumen de resultados obtenidos para diferentes combinaciones de agregado y relave*

| Ensayo                                                                                | Valores usuales | Valores obtenidos Agregado fino | Valores obtenidos (Agregado fino + 5% relave) | Valores obtenidos (Agregado fino + 10% relave) | Valores obtenidos (Agregado fino + 15% relave) |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| <b>Análisis granulométrico del agregados gruesos y finos (MTC E204)</b>               |                 |                                 |                                               |                                                |                                                |
| Módulo de fineza                                                                      | (2.35-3.15)     | 3.14                            | 3.08                                          | 3.02                                           | 2.96                                           |
| <b>Gravedad específica y absorción de agregados finos (MTC E205)</b>                  |                 |                                 |                                               |                                                |                                                |
| Peso específico (gr/cm3)                                                              | (2.4-2.8)       | 2.57                            | 2.47                                          | 2.45                                           | 2.42                                           |
| (%) de absorción                                                                      | (0.2-4.0)       | 1.89%                           | 5.48%                                         | 5.90%                                          | 6.48%                                          |
| <b>Peso unitario y vacíos de los agregados (MTC E203)</b>                             |                 |                                 |                                               |                                                |                                                |
| Peso unitario suelto (kg/m3)                                                          | (1300-1800)     | 1612.64                         | 1644.04                                       | 1657.46                                        | 1679.95                                        |
| Peso unitario compactado (kg/m3)                                                      | (1400-1900)     | 1707.23                         | 1755.76                                       | 1774.63                                        | 1809.09                                        |
| <b>Determinación del contenido de humedad del agregado grueso (MTC E108)</b>          |                 |                                 |                                               |                                                |                                                |
| (%) de humedad                                                                        | (0.0-2.0)       | 1.22%                           | 0.85%                                         | 0.83%                                          | 0.81%                                          |
| <b>Cantidad de material que pasa el tamiz de 75 µm (No 200) por lavado (MTC E202)</b> |                 |                                 |                                               |                                                |                                                |
| Material fino que pasa el tamiz de 75 µm (No 200)                                     | máx. 5%         | 0.53%                           | 2.18%                                         | 2.64%                                          | 4.01%                                          |

Fuente: Elaboración propia

## 9.2. Diseño de Mezcla

Después de haber realizado el diseño de mezcla mediante el método ACI 211.1 para el diseño de concreto patrón de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> y para los diseños con adición de relaves mineros en 5%, 10% y 15% en peso de material cementante, las cantidades de agua efectiva, agregado grueso y cemento se mantienen constante en cada diseño, mientras que el agregado fino y el material de relave minero de las unidades mineras de Espinar son variables en los porcentajes propuestos.

En la siguiente Tabla 85 se muestra el resumen de variación de agregado fino para los diferentes diseños de concreto de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 85

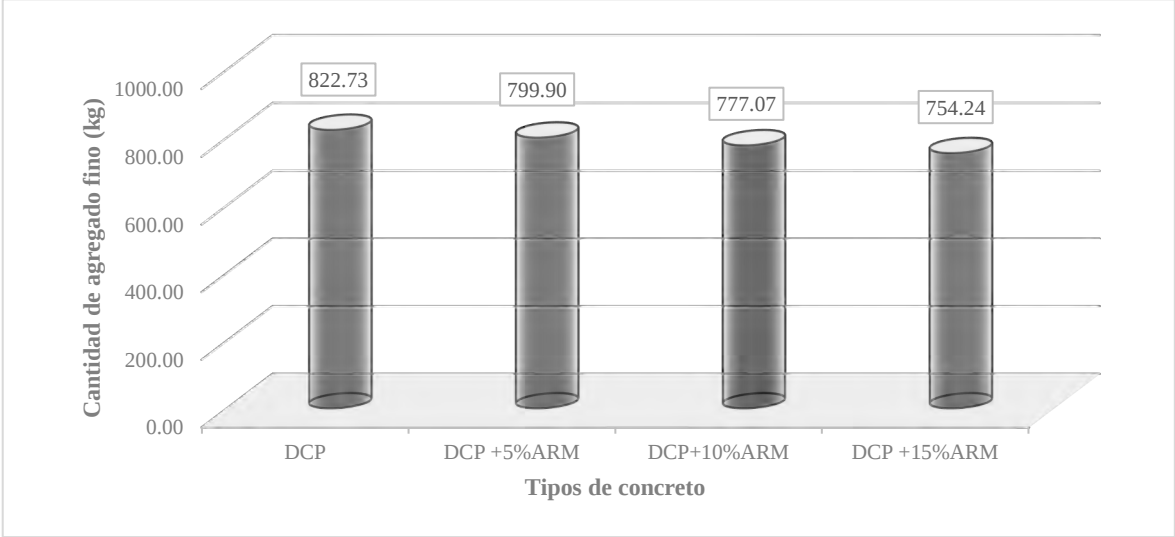
*Resumen de variación de agregado fino para los diferentes diseños de concreto*

| Diseño de mezcla   | Agregado fino húmedo (kg) | Relave minero (kg) | Porcentaje agregado fino húmedo |
|--------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------------|
| <b>DCP</b>         | 822.73                    | 0.00               | 100.0%                          |
| <b>DCP +5%ARM</b>  | 799.90                    | 19.39              | 97.22%                          |
| <b>DCP+10%ARM</b>  | 777.07                    | 38.78              | 94.45%                          |
| <b>DCP +15%ARM</b> | 754.24                    | 58.17              | 91.68%                          |

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 85 y Figura 35 se observa que el agregado fino húmedo va disminuyendo en 19.39 kg que representa un 2.78% a medida que el porcentaje de adición de relave minero aumenta en 5%.

Figura 36  
Variación del agregado fino para el diseño de concreto



Fuente: Elaboración propia – Muestra la variación del agregado fino

### 9.3. Composición Química en Laboratorio del Relave Minero

En la siguiente Tabla 86 se muestra los resultados de la composición química de relave minero obtenida en laboratorio.

Tabla 86  
*Composición química en laboratorio de relave minero*

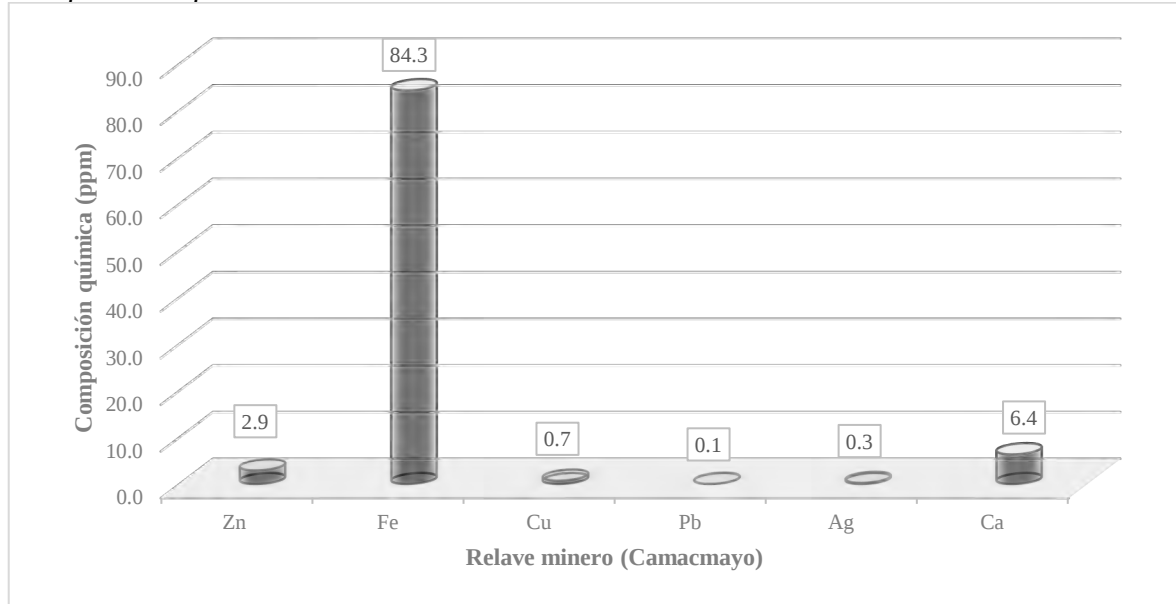
| Material de estudio | Análisis químico (ppm) |        |       |      |       |      |
|---------------------|------------------------|--------|-------|------|-------|------|
|                     | Zn                     | Fe     | Cu    | Pb   | Ag    | Ca   |
| Relave minero       | 2.9426                 | 84.343 | 0.743 | 0.06 | 0.261 | 6.37 |

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 84 y Figura 36 se observa que la composición química de relave minero contiene en mayor ppm Fe en 84.343 ppm, Ca en 6.37 ppm, Zn en 2.9426 ppm, Cu en 0.743 ppm, Ag en 0.261 ppm y Pb en 0.06, esta composición de metales no es perjudicial para el diseño de concreto.

Figura 37

Composición química en laboratorio del relave minero



Fuente: Elaboración propia – Muestra la composición química del relave minero

Tabla 87

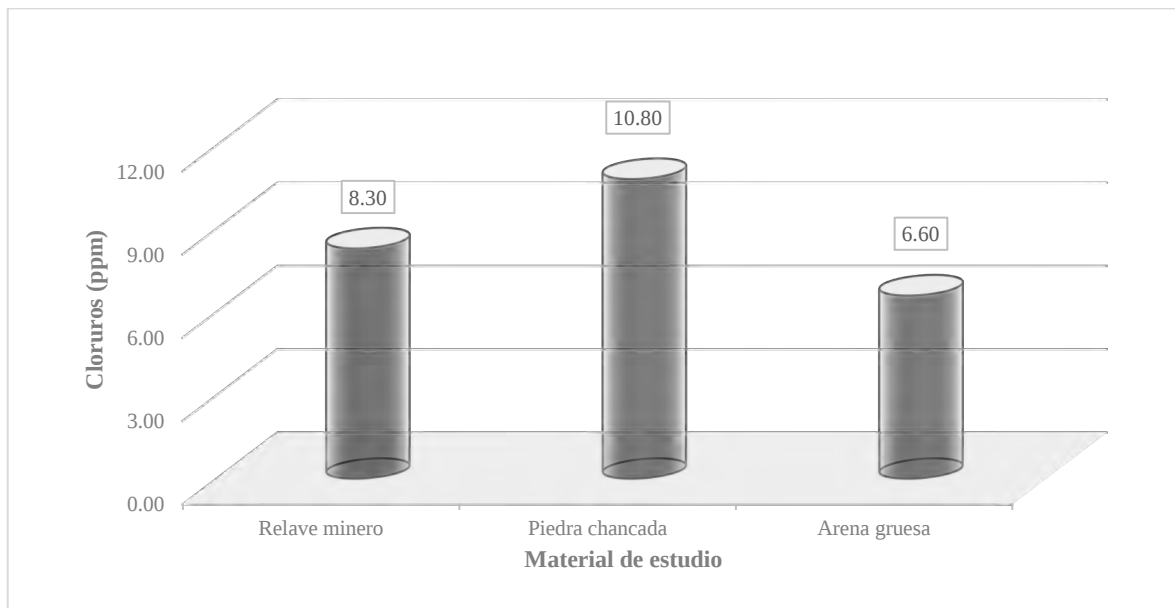
Análisis fisicoquímico de relave minero, piedra chancada y arena gruesa (ppm)

| Material de estudio | Análisis fisicoquímico |        |          |        |
|---------------------|------------------------|--------|----------|--------|
|                     | Cloruros               |        | Sulfatos |        |
|                     | (ppm)                  | (%)    | (ppm)    | (%)    |
| Relave minero       | 8.30                   | 0.0008 | 29.30    | 0.0029 |
| Piedra chancada     | 10.80                  | 0.0011 | 36.60    | 0.0037 |
| Arena gruesa        | 6.60                   | 0.0007 | 24.30    | 0.0024 |

Fuente: Elaboración propia

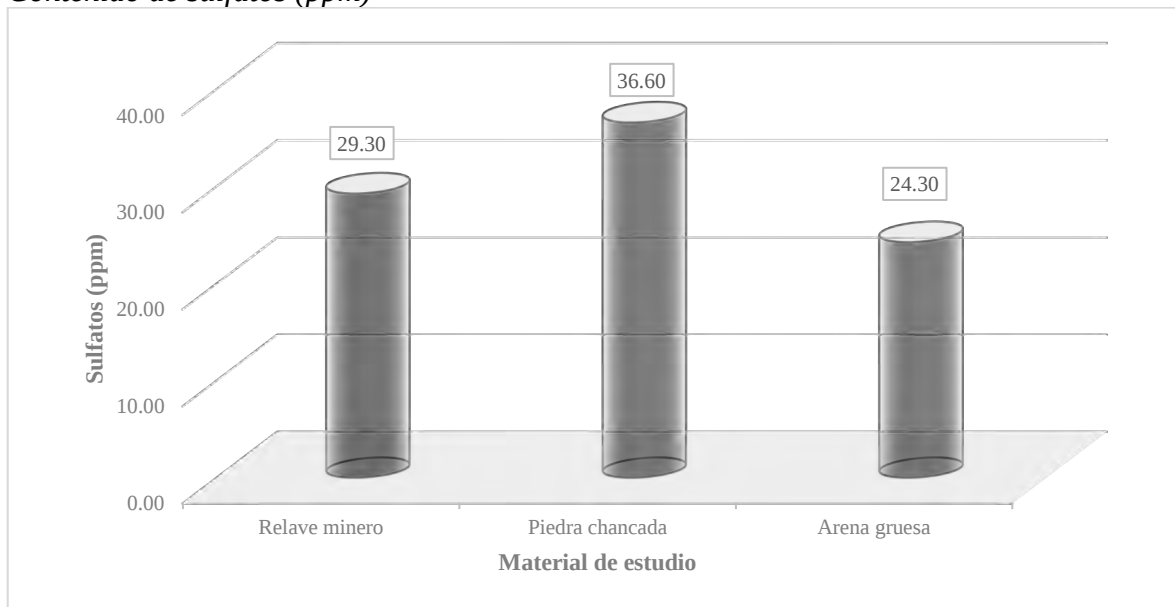
En la Tabla 87, Figura 37 y Figura 38 se observa que los valores de contenido de cloruros y sulfatos se encuentran dentro de los estándares permisibles para el diseño de mezcla de concreto según la tabla 4.5 (máx. 0.06%) y tabla 4.4 (máx. 0.10%) de la E.060, por consiguiente, el cemento a utilizarse en esta investigación es el portland Yura tipo IP.

Figura 38  
*Contenido de cloruros (ppm)*



Fuente: Elaboración propia – Muestra el contenido de cloruros

Figura 39  
*Contenido de sulfatos (ppm)*



Fuente: Elaboración propia – Muestra el contenido de sulfatos

#### 9.4. Consistencia del Concreto

Tabla 88

*Cuadro resumen de consistencia del concreto para los diferentes diseños de concreto*

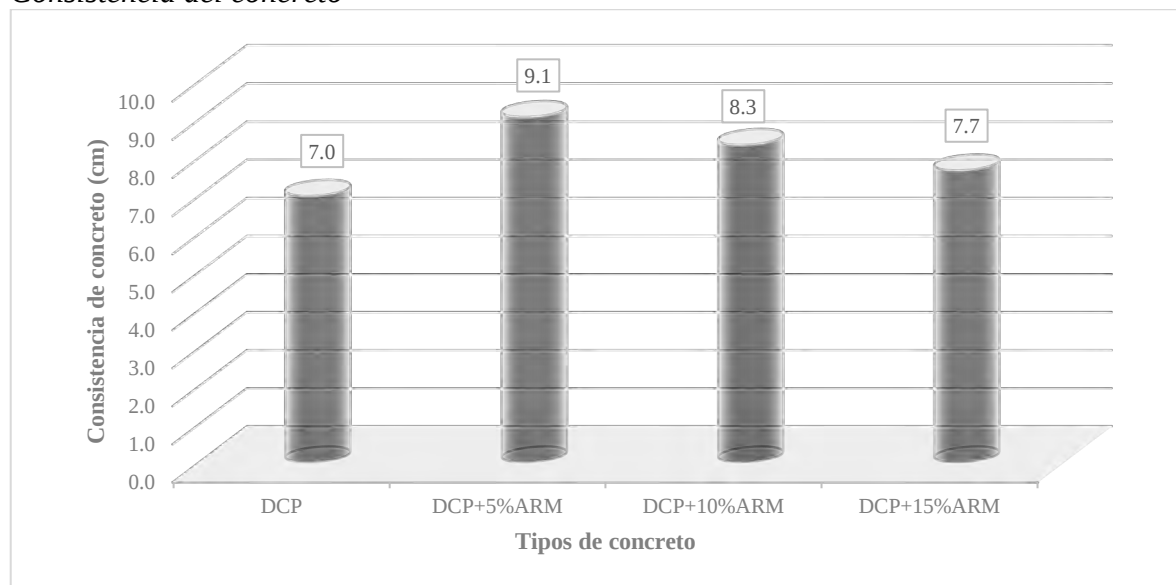
| Concreto     | Consistencia |    |     |          | Porcentaje de consistencia |
|--------------|--------------|----|-----|----------|----------------------------|
|              |              |    |     | Promedio |                            |
| DCP          | 70           | mm | 2.8 | pulg.    | 100%                       |
| DCP + 5%ARM  | 91           | mm | 3.6 | pulg.    | 130%                       |
| DCP + 10%ARM | 83           | mm | 3.3 | pulg.    | 119%                       |
| DCP + 15%ARM | 77           | mm | 3.0 | pulg.    | 110%                       |

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 88 y Figura 39 se observa que los concretos cumplen el parámetro de consistencia de 2 pulg. a 4 pulg. de ACI 211.1, con la cual se pueden realizar columnas, vigas, losas medianamente reforzadas y pavimentos compactados manualmente, también se observa que el valor máximo de la consistencia promedio fue alcanzada por el diseño de concreto patrón de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> + 5 % de adición de relave minero con un valor de 3.6 pulg. equivalente al 130% del concreto patrón, el diseño de concreto + 10% de adición de relave minero alcanzó un valor de 3.3 pulg, el diseño de concreto + 15% de adición de relave minero alcanzó un valor de 3.0 pulg. y el diseño de concreto patrón alcanzó un valor de 2.8 pulg., también se evidencia que la consistencia del concreto con adición de relave minero es mayor que el concreto patrón, sin embargo, esta consistencia de concreto disminuye a medida que el porcentaje de adición de relave.

Figura 40

*Consistencia del concreto*



Fuente: Elaboración propia – Muestra la consistencia del concreto

## 9.5. Resistencia a la Compresión

Tabla 89

*Resistencia a la compresión de concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  a diferentes edades*

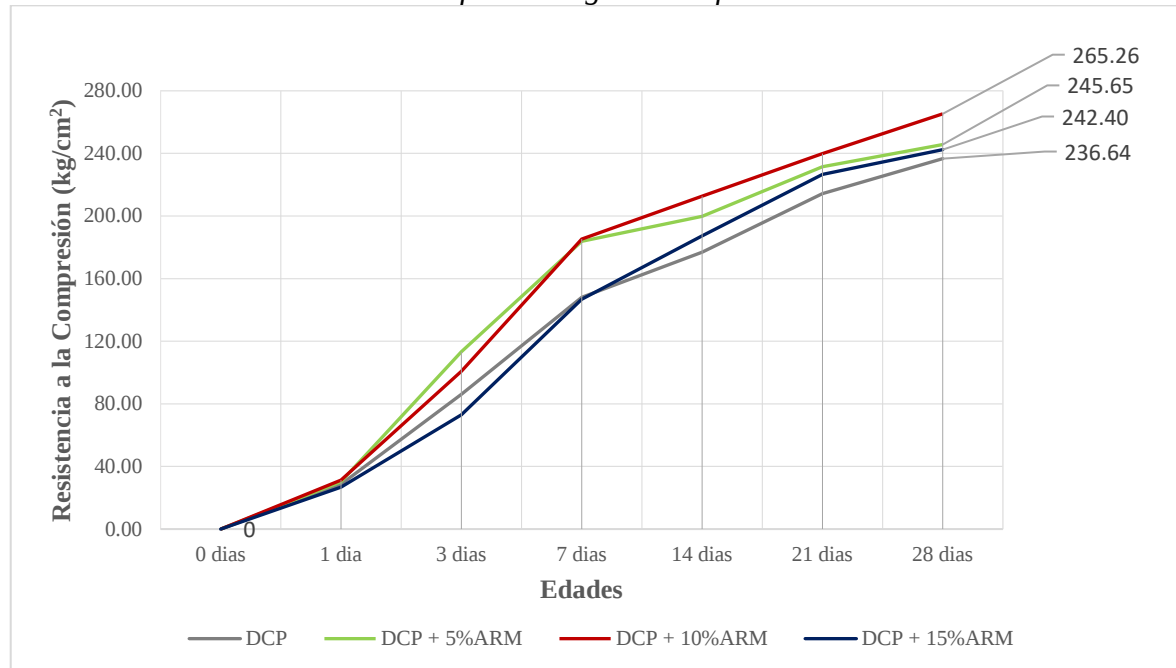
| Diseño de mezcla    | Resistencia a la compresión de concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ a diferentes edades |        |        |         |         |         |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|
|                     | 1 día                                                                                 | 3 días | 7 días | 14 días | 21 días | 28 días |
| <b>DCP</b>          | 28.61                                                                                 | 86.05  | 148.01 | 176.91  | 214.21  | 236.64  |
| <b>DCP + 5%ARM</b>  | 30.28                                                                                 | 113.24 | 183.91 | 199.71  | 231.57  | 245.65  |
| <b>DCP + 10%ARM</b> | 31.22                                                                                 | 100.90 | 185.25 | 212.73  | 239.89  | 265.26  |
| <b>DCP + 15%ARM</b> | 26.79                                                                                 | 72.92  | 146.89 | 187.27  | 226.68  | 242.40  |

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 89 y Figura 40 se observa que los concretos cumple con el parámetro de resistencia de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  por lo cual es factible el uso de relave minero en el proceso de elaboración de concreto estructural sometido a compresión (pilares y columnas), también se observa que el valor máximo de resistencia a la compresión a los 1, 3, 7, 14, 21 y 28 días fue alcanzada para una adición de 10% de relave minero. Adiciones mayores al 10% de relave minero disminuyen la resistencia a la compresión, también se evidencia que la resistencia a la compresión del diseño de concreto con adición de relave minero es relativamente mayor que el concreto patrón.

Figura 41

*Curva de madurez del concreto de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  a diferentes edades*



Fuente: Elaboración propia – Muestra la curva de madurez del concreto

Tabla 90

*Resumen de resistencia a la compresión del concreto a los 28 días para los diferentes diseños de concreto*

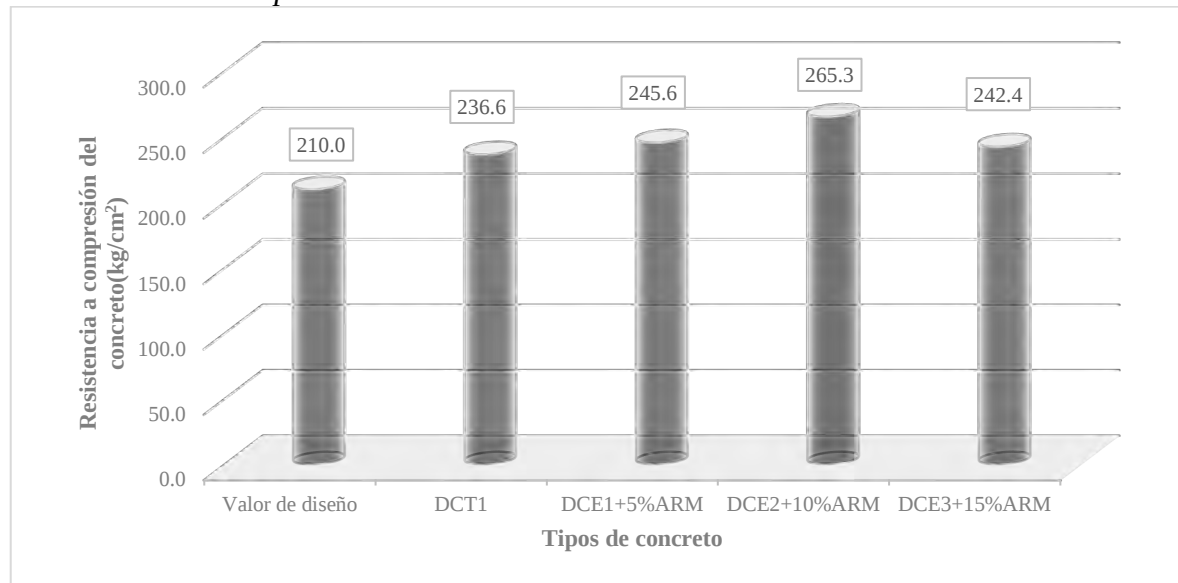
| Diseños de Mezclas     | Resistencia a compresión del<br>concreto (f'c) | Porcentaje de la resistencia |
|------------------------|------------------------------------------------|------------------------------|
|                        | 28 días                                        |                              |
| <b>Valor de diseño</b> | 210.00 kg/cm <sup>2</sup>                      | 100%                         |
| <b>DCP</b>             | 236.64 kg/cm <sup>2</sup>                      | 113%                         |
| <b>DCP+5%ARM</b>       | 245.65 kg/cm <sup>2</sup>                      | 117%                         |
| <b>DCP+10%ARM</b>      | 265.26 kg/cm <sup>2</sup>                      | 126%                         |
| <b>DCP+15%ARM</b>      | 242.40 kg/cm <sup>2</sup>                      | 115%                         |

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 90 y Figura 41 se observa que el valor máximo de la resistencia a la compresión promedio a los 28 días es alcanzada por el diseño de concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 10 % de adición de relave minero con un valor de  $265.30 \text{ kg/cm}^2$ , generándose un aumento de porcentaje de resistencia de un 26% con referencia al valor de la resistencia a la compresión de diseño y un 13% con respecto a la resistencia a la compresión de concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , también se evidencia que las resistencias a la compresión de los concretos con adiciones de relaves mineros son mayores que del concreto patrón, sin embargo, esta resistencia disminuye a medida que el porcentaje de adición de relave minero supera el valor de 10% disminuyéndose en  $14.86 \text{ kg/cm}^2$  equivalente a 11% con respecto concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 10 % de adición de relave minero.

Figura 42

*Resistencia a la compresión del concreto a los 28 días*



Fuente: Elaboración propia – Muestra la resistencia a la compresión del concreto

## 9.6. Resistencia a la flexión

Tabla 91

*Resumen de resistencia a la flexión de concreto a los 28 días para los diferentes diseños de concreto*

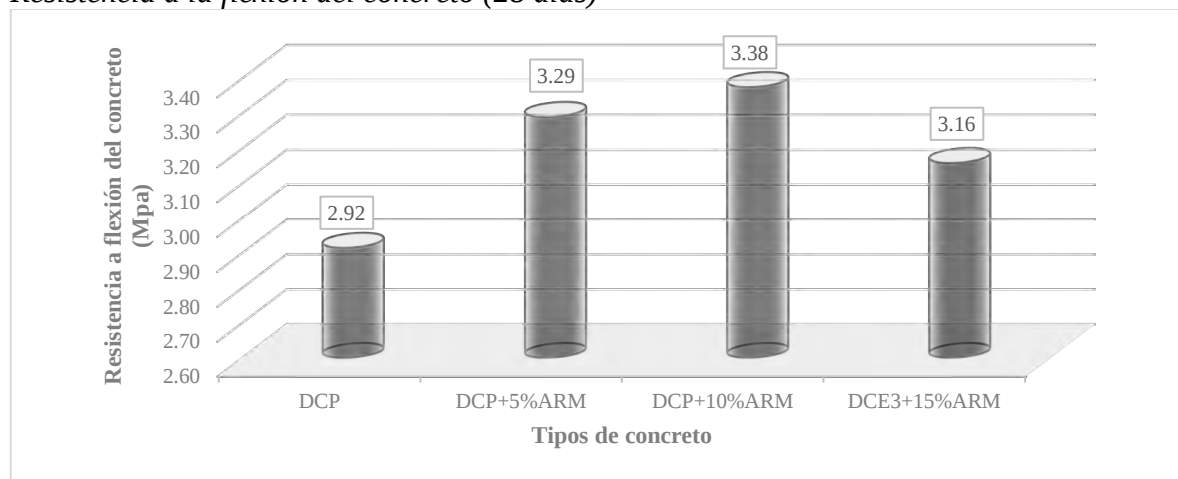
| Concreto          | Resistencia a flexión del<br>concreto (Mr) | Porcentaje<br>respecto a la<br>resistencia a<br>compresión | Porcentaje de la<br>resistencia |
|-------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------|
|                   | 28 días                                    | 28 días                                                    |                                 |
| <b>DCP</b>        | 2.92 Mpa                                   | 7.95%                                                      | 100%                            |
| <b>DCP+5%ARM</b>  | 3.29 Mpa                                   | 7.32%                                                      | 113%                            |
| <b>DCP+10%ARM</b> | 3.38 Mpa                                   | 7.70%                                                      | 116%                            |
| <b>DCP+15%ARM</b> | 3.16 Mpa                                   | 7.52%                                                      | 108%                            |

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 91 y Figura 42 se observa que el valor máximo de la resistencia a la flexión promedio a los 28 días es alcanzada por el diseño de concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2 + 10 \%$  de adición de relave minero con un valor de 3.38 Mpa, generándose un aumento de porcentaje de resistencia de un 16% con respecto a la resistencia a la flexión del concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , también se evidencia que las resistencias a la flexión de los concretos con adiciones de relaves mineros son relativamente mayores que del concreto patrón, sin embargo, esta resistencia disminuye a medida que el porcentaje de adición de relave minero supera el valor de 10% disminuyéndose en 0.22 Mpa equivalente a 8% respecto del diseño de concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2 + 10 \%$  de adición de relave minero.

Figura 43

*Resistencia a la flexión del concreto (28 días)*



Fuente: Elaboración propia – Muestra la resistencia a la flexión del concreto

## 9.7. Costos de Producción

Tabla 92

*Resumen de costos de producción para 1m<sup>3</sup> de concreto para los diferentes diseños de concreto*

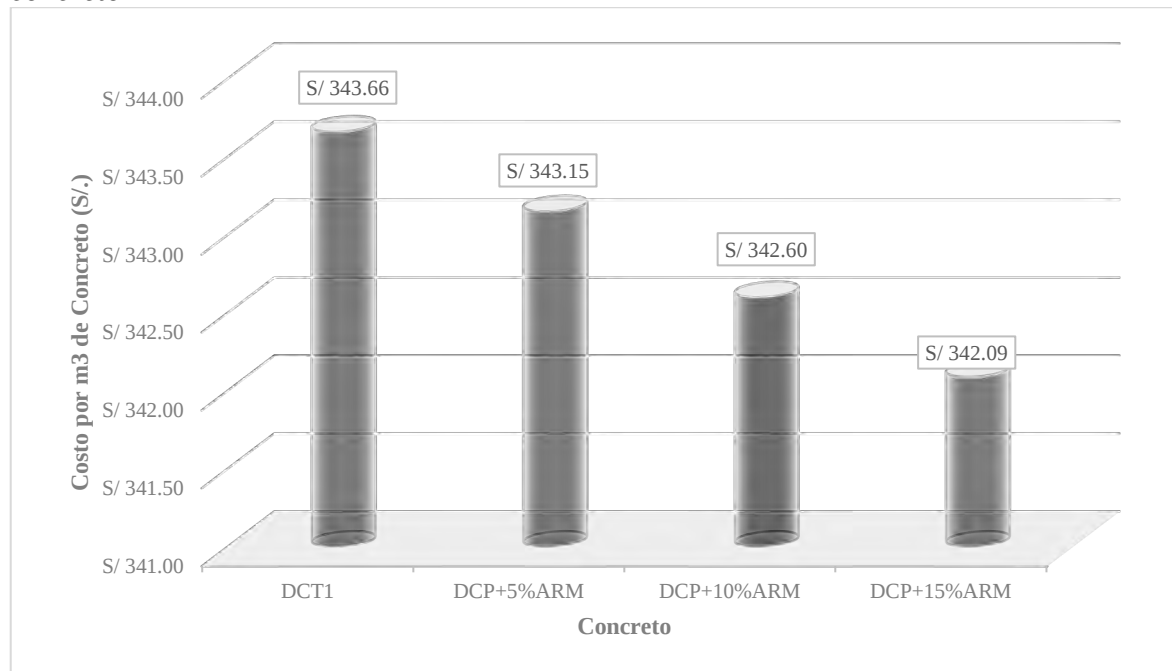
| Diseño de concreto | Costo por m <sup>3</sup> de concreto | Variación de costo | Porcentaje de costo |
|--------------------|--------------------------------------|--------------------|---------------------|
| <b>DCP</b>         | S/ 343.66                            | S/ 0.00            | 100.00%             |
| <b>DCP+5%ARM</b>   | S/ 343.15                            | S/0.51             | 99.85%              |
| <b>DCP+10%ARM</b>  | S/ 342.60                            | S/1.06             | 99.69%              |
| <b>DCP+15%ARM</b>  | S/ 342.09                            | S/1.57             | 99.54%              |

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 92 y Figura 43 se observa que los costos de producción del concreto para 1m<sup>3</sup> de concreto tienen costos relativamente menores al del concreto patrón, donde se observa que el costo de producción de concreto con adición de relave minero va disminuyendo en 0.51 soles que equivale a un 0.15% a medida que el porcentaje de adición de relave minero aumenta en 5%.

Figura 44

*Costo de producción de concreto para 1m<sup>3</sup> de concreto para los diferentes diseños de concreto*



Fuente: Elaboración propia – Muestra en costo por m<sup>3</sup> de concreto

## **10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **10.1. Conclusión General**

Es viable el uso de relaves mineros como adición en el diseño de concreto  $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ . Se llegó a establecer que el porcentaje relevante de adición de relaves mineros de las unidades mineras de Espinar fue de 10% en el diseño de concreto de  $f'_c= 210 \text{ kg/cm}^2$ , cuya adición ofrece un mejor resultado en el ensayo de consistencia con un valor de 3.3 pulg, en el ensayo a la resistencia a la compresión con un valor de  $265.26 \text{ kg/cm}^2$ , en el ensayo de resistencia a la flexión con un valor de 3.38 MPa y costo de producción de concreto de 342.60 soles.

### **10.2. Conclusiones Específicas**

**CE1:** Se determinó que el análisis químico en laboratorio de relave minero tuvo una composición de metales no perjudiciales para el diseño de concreto, ya que contiene mínimas cantidades de restos perjudiciales que puedan llegar a degradar el concreto o conllevar a que se produzca su deterioro.

**CE2:** Se precisó que la adición de relave minero en las proporciones de 5%, 10% y 15%, están dentro de los parámetros del slump de 2 pulg. a 4pulg. según diseño, no tiene efectos de cambio en la consistencia del concreto.

**CE3:** Se estableció que el porcentaje más relevante en la resistencia a la compresión y flexión a los 28 días fue con la adición de 10% en peso del material cementante. Con porcentaje de adición de relave minero mayor al 10% disminuye la resistencia a la compresión y flexión del mismo.

**CE4:** Se identificó que el análisis del costo de producción unitaria de concreto elaborado con adición de relave minero es relativamente inferior al costo de producción del concreto patrón reduciéndose en 0.51 soles por cada 5% de adición de relave minero.

### **10.3. Recomendaciones**

Se sugiere determinar cómo influye el relave minero en la composición química del concreto. Se recomienda almacenar en un lugar adecuado el relave minero, agregado fino y el agregado grueso para evitar alterar las propiedades físicas y mecánicas, debido a que estos tienen demasiada influencia en la consistencia del concreto.

Se sugiere utilizar el concreto con adición de relave minero en las zonas de influencia por estos centros mineros ya que los materiales se encuentran al alcance para su elaboración.

Se sugiere sustituir el cemento por el material de relave minero para reducir en mayor porcentaje el costo unitario para  $1\text{m}^3$  de concreto.

## 11. REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA

- ASTM C143. (Abril de 2009). *Revenimiento del concreto de cemento hidráulico*. Obtenido de INGENIERIA CIVIL EN EL SALVADOR:  
<https://ingenieriasalva.blogspot.com/2009/04/astm-designacion-c-143-90a.html?m=0>
- ASTM C192. (Octubre de 2002). *Práctica estándar para hacer y curar especímenes de prueba de concreto en el laboratorio*. 1-8. United States: ASTM International.
- ASTM C39. (Abril de 2009). *Método de ensayo estándar para esfuerzo de compresión en especímenes cilindricos de concreto*. Obtenido de INGENIERIA CIVIL EN EL SALVADOR: <https://ingenieriasalva.blogspot.com/2009/04/astm-designacion-c-39-c-39m-01.html?m=0>
- ASTM C78. (Abril de 2009). *Resistencia a la flexión del concreto (Usando viga simple con carga a los tercios del claro)*. Obtenido de INGENIERIA CIVIL EN EL SALVADOR:  
[https://ingenieriasalva.blogspot.com/2009/04/astm-designacion-c-78-02\\_03.html?m=0](https://ingenieriasalva.blogspot.com/2009/04/astm-designacion-c-78-02_03.html?m=0)
- Calderón, M. (27 de Julio de 2020). *Reaprovechamiento de relaves*. Obtenido de Petroenergía:  
<https://www.petroenergia.info/post/reaprovechamiento-de-relaves>
- Calero, R. (2015). *Comparación de los métodos A.P.U. y costeo ABC para el análisis de precios unitarios en la construcción*. Quito, Ecuador.
- Castillo, F. (2009). *Tecnología del concreto (teorías y problemas)* (Segunda edición ed.). Lima, Perú: San Marcos E.I.R.L.
- Curo Ordoñez, E., & Rashuamán Benito, P. (2015). *Diseño de mezcla de concreto  $f'c=175\text{kg/cm}^2$  adicionando relave minero de la relavera N° 09-Acchilla -Ccochaccasa, para transito ligero (Método ACI), en el distrito de Lircay provincia de Angaraes-Huancavelica*. Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica.
- Eyzaguirre, C. (2010). *Costos y presupuestos para edificaciones con Excel 2010-S10-Project 2010* (Primera edición ed.). Lima, Miraflores, Perú: Macro E.I.R.L.
- Gutiérrez, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción* (Segunda edición ed.). Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Huerta Marquez, R. M., & León Roldan, S. D. (2021). *Análisis de la resistencia a la compresión del concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  aplicando relave minero, Huaraz 2021*. Universidad Cesar Vallejo, Huaraz.

- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto* (Primera edición ed.). EE.UU.: Portland Cement Association.
- Matallana, R. (2019). *El concreto fundamentos y nuevas tecnologías* (Primera edición ed.). Medellín, Colombia: Corona y Conconcreto.
- Menéndez, J., & Muñoz, S. (2021). Contaminación del agua y suelo por los relaves mineros. *Paideia XXI*, 11(1), 141-154. Obtenido de <https://revistas.urp.edu.pe/index.php/Paideia/article/view/3622/4588>
- Mercado Cortijo, P. J., & Reyna Marquina, K. A. (2020). *Influencia de los porcentajes de los relaves mineros en la resistencia a la compresión en bloques de concreto ensamblables, Trujillo 2019*. Universidad Privada del Norte, Trujillo.
- Ministerio de Energía y Minas de Perú. (3 de August de 2021). *Guía Ambiental Para el Manejo de Relaves Mineros*. Obtenido de <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/relaveminero.pdf>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2006). *Manual de ensayo de materiales*. Lima, Peru.
- Namuche Colonia, F. G. (2018). *Resistencia de la sustitución del 5%, 10%, 15% de cemento, por la combinación de relave minero en la elaboración de morteros de edificaciones de albañilería en Huaraz,2017*. Universidad San Pedro, Chimbote.
- Neville, A. M. (2013). *Tecnología del concreto* (Cuarta edición ed.). México, México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.
- Niño, J. (2010). *Tecnología del concreto "materiales,propiedades y diseño de mezclas"* (Tercera edición ed.). Bogotá, Colombia: Asociación colombiana de productores de concreto-ASOCRETO.
- Pasquel, E. (1998). *Tópicos de tecnología del concreto* (Segunda edición ed.). Lima, Perú: Colegio de Ingenieros del Perú-Consejo Nacional.
- Rivva, E. (1992). *Diseño de mezclas* (Primera edición ed.). Lima, Miraflores, Perú: Hozlo S.CR.L.
- Rivva, E. (2004). *Control del concreto en obra* (Primera edición ed.). Lima, Perú: Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG).

- Romero Huayta, M. J., & Salinas Navarro, M. A. (2020). *Estudio experimental del concreto para adoquines tipo II, adicionando relaves minero*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa.
- Romero, A., & Flores, S. (2010). Caracterización de la pasta de relave para uso como relleno en labores mineras. 1-9. Obtenido de [https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v13\\_n26/pdf2/a06v13n26.pdf](https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v13_n26/pdf2/a06v13n26.pdf)
- Sánchez, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero* (Quinta edición ed.). Bogotá, Colombia: Bhandar editores Ltda.
- Suarez Pre, A. F. (2022). *El relave minero como agregado del concreto en el diseño de mezcla en  $f'c=350$  kg/cm<sup>2</sup> al 5%,15%,25% en el centro poblado de Chicrin-2021*. Universidad de Huánuco, Huánuco.
- Valderrama, J. O., Campusano, R., & Espindola, C. (2019). Minería Chilena: Captura, Transporte, y Almacenamiento de Dióxido de Carbono en Relaves mediante Líquidos Iónicos y Carbonatación Mineral. *Información Tecnológica*, 357-372. Obtenido de <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000500357>

## 12. ANEXOS

### ANEXOS A CERTIFICADOS

Anexo A1 Informe de análisis químico del relave minero

Fuente: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco – Facultad de Ciencias

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO<br/>FACULTAD DE CIENCIAS<br/>LABORATORIO DE CROMATOGRAFIA Y ESPECTROMETRÍA – Pabellón de Control de Calidad<br/>AV. De la Cultura 733 CUSCO-PERÚ Contacto 973868855</p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

---

**RESULTADOS**

Cusco, 21 de Agosto del 2023

|                                               |                                                                                          |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Solicitantes                                  | : Alvis Favio Quispe Puma                                                                |
| Tipo de Análisis                              | : Determinación de Cobre, Plomo, Plata, Hierro Zinc y Calcio                             |
| Metodo                                        | : Absorción Atómica llama                                                                |
| Tipo de Muestras                              | : Relave minero                                                                          |
| Cantidad de Muestra                           | : 1, con 100 gr aproximadamente                                                          |
| Almacenamiento                                | : 4 °C.                                                                                  |
| Condiciones de Análisis por Espectrofotometro |                                                                                          |
| Equipo                                        | : Espectrofotometro Absorción Atómica Varian AA240FS                                     |
| Longitud de Onda                              | : 324.8 nm (Cu), 328.1 (Ag), 217.0 nm (Pb), 248.3 nm /Fe(, 213.9 nm (Zn) y 422.7 nm (Ca) |
| Corrección de Fondo                           | : Activado.                                                                              |
| Modo de medición                              | : Absorbancia                                                                            |
| Software de Control                           | : SpectrAA                                                                               |
| Lecturas por Muestra                          | : 3                                                                                      |

| Elemento | ppm    |
|----------|--------|
| Zn       | 2.9426 |
| Fe       | 84.343 |
| Cu       | 0.743  |
| Pb       | 0.06   |
| Ag       | 0.261  |
| Ca       | 6.37   |

Nota: La metodología fue desarrollado de acuerdo al fabricante del equipo.



Químico. Jorge Choquenaira Pari  
Analista del Laboratorio de Cromatografía y Espectrometría – UNSAAC.  
CQP - 914

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú

**UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO**  
**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA**  
**INFORME DE ANÁLISIS**

**Nº0266-23-LAQ**

**SOLICITANTE : ALVIS FAVIO QUISPE PUMA**

**TESIS : ANALISIS DE LA ADICION DE RELAVES MINEROS EN EL DISEÑO DE CONCRETO F'C=210 Kg/cm2 DE LAS UNIDADES MINERAS DE ESPINAR-CUSCO 2023.**

**MUESTRA : RELAVE MINERO ANTAPACCA Y**

**PROVINCIA : ESPINAR**

**REGION : CUSCO**

**FECHA : C/22/06/2023**

**RESULTADO ANALISIS FISICOQUIMICO:**

|              |       |
|--------------|-------|
| Cloruros ppm | 8,30  |
| Sulfatos ppm | 29,20 |

**ASTM D512, ASTM C516.**

**Cumple con las especificaciones técnicas para construcción.**

**Cusco, 06 de Julio 2023**

  
Melquedes Herrera Arivilica  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú

 UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO  
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA  
**INFORME DE ANÁLISIS**

Nº0265-23-LAQ

SOLICITANTE : ALVIS FAVIO QUISPE PUMA

TESIS : ANALISIS DE LA ADICION DE RELAVES MINEROS EN EL DISEÑO DE CONCRETO F'C=210 Kg/cm2 DE LAS UNIDADES MINERAS DE ESPINAR-CUSCO 2023.

MUESTRA : PIEDRA CHANCADA

CANTERA : RIO APURIMAC

PROVINCIA : ESPINAR

REGION : CUSCO

FECHA : C/22/06/2023

RESULTADO ANALISIS FISICOQUIMICO:

|              |       |
|--------------|-------|
| Cloruros ppm | 10,80 |
| Sulfatos ppm | 36,60 |

ASTM D512, ASTM C516.

Cumple con las especificaciones técnicas para construcción.

Cusco, 06 de Julio 2023

   
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO  
Melquides Herrera Arivillo  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO

Anexo A4 Informe de análisis fisicoquímico de agregado fino  
Fuente: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco – Facultad de Ciencias

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú

 UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO  
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA  
**INFORME DE ANÁLISIS**

Nº0264-23-LAQ

SOLICITANTE : ALVIS FAVIO QUISPE PUMA

TESIS : ANALISIS DE LA ADICION DE RELAVES MINEROS EN EL DISEÑO DE CONCRETO F'C=210 Kg/cm2 DE LAS UNIDADES MINERAS DE ESPINAR-CUSCO 2023.

MUESTRA : ARENA GRUESA

CANTERA : RIO APURIMAC

PROVINCIA : ESPINAR

REGION : CUSCO

FECHA : C/22/06/2023

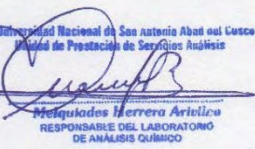
RESULTADO ANALISIS FISICOQUIMICO:

|              |       |
|--------------|-------|
| Cloruros ppm | 6,60  |
| Sulfatos ppm | 24,30 |

ASTM D512, ASTM C516.

Cumple con las especificaciones técnicas para construcción.

Cusco, 06 de Julio 2023

   
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO  
Melquiades Herrera Arística  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO

Anexo A5 Cotización de agregado  
Fuente: Elaboración Propia

TRANSPORTES Y SERVICIOS MULTIPLES  
**HUANCARUMI S.R.L.**  
CALLE SAN PEDRO 333 ESPINAR-CUSCO  
RUC 20527883742

RECIBO

S/

150,00

Recibí del señor: Alvis Favio QUISPE PUMA.

La cantidad de: Ciento cincuenta nuevos soles

Por concepto: de: Venta de 1m3 de piedra chancada s/ 80,00 y 1m3 de arena  
gruesa s/ 70,00.

Espinar, 20 de abril del 2023.

T.S.M. HUANCARUMI S.R.L.  
  
Percy Huanca Mercado  
DNI: 29673785  
GERENTE



Recibí conforme

Entregué conforme

DNI 29673785

DNI 92009810

Cd. 979352770

Cd. 916900973

Anexo A6 Costo por m<sup>3</sup> de relave minero  
Fuente: Elaboración Propia

### CALCULO DE LOS RENDIMIENTOS DE TRANSPORTE DE RELAVE MINERO

**MATERIAL: RELAVE MINERO**

| DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES              | GRAVA         |
|---------------------------------------------|---------------|
| DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE (km)          | 10.00         |
| VELOCIDAD CARGADO (km/h)                    | 25.00         |
| VELOCIDAD DESCARGADO (km/h)                 | 50.00         |
| CAPACIDAD DEL VEHICULO (m3)                 | 15.00         |
| TIEMPO DE CARGUIO (min)                     | 5.00          |
| TIEMPO DE DESCARGA ( min)                   | 3.00          |
| TIEMPO DE RECORRIDO CARGADO (min)           | 24.00         |
| TIEMPO DE RECORRIDO DESCARGADO (min)        | 12.00         |
| TIEMPO TOTAL POR CICLO (min)                | 44.00         |
| N° DE MINUTOS POR JORNADA (min)             | 480.00        |
| TIEMPO EFECTIVO (80%) (min)                 | 384.00        |
| N° DE CICLOS POR DIA                        | 8.70          |
| <b>VOLUMEN DIARIO TRANSPORTADO (m3/dia)</b> | <b>130.50</b> |

|                                                                                                        |                                                                                      |        |                |         |                                                                                                                               |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Presupuesto: COSTO DE PRODUCCIÓN DE RELAVE MINERO                                                      |                                                                                      |        |                |         |                                                                                                                               |       |
| 1.1 COSTO DE PRODUCCIÓN DE 1M3 DE RELAVE MINERO PUESTO EN OBRA                                         |                                                                                      |        |                |         |                                                                                                                               |       |
| Especificaciones:  |                                                                                      |        |                |         |                                                                                                                               |       |
| Rendimiento:                                                                                           |                                                                                      | 130.5  | m <sup>3</sup> | Por día | <input type="checkbox"/> Horas por Día:  |       |
| Descripción                                                                                            | U...                                                                                 | Rec... | Cantidad       | %...    | Precio                                                                                                                        | Total |
|                     |  | ==     | ==             | ==      | ==                                                                                                                            | ==    |
| + MANO DE OBRA                                                                                         |                                                                                      |        |                |         |                                                                                                                               | 3.33  |
| 470010001 OPERARIO                                                                                     | hh                                                                                   | 2.00   | 0.1226         |         | 27.17                                                                                                                         | 3.33  |
| + MATERIALES                                                                                           |                                                                                      |        |                |         |                                                                                                                               | 5.12  |
| 520010001 PETROLEO                                                                                     | gln                                                                                  |        | 0.3200         | 0%      | 16.00                                                                                                                         | 5.12  |
| + EQUIPO                                                                                               |                                                                                      |        |                |         |                                                                                                                               | 20.69 |
| 490010005 CAMION VOLQUETE                                                                              | hm                                                                                   | 1.00   | 0.0613         | 0%      | 171.00                                                                                                                        | 10.48 |
| 490010006 CARGADOR FRONTAL                                                                             | hm                                                                                   | 1.00   | 0.0613         | 0%      | 165.00                                                                                                                        | 10.11 |
| 370010001 HERRAMIENTAS MANUALES                                                                        | %...                                                                                 |        | 3.0000         |         | 3.33                                                                                                                          | 0.10  |
| SUB-CONTRATOS                                                                                          |                                                                                      |        |                |         |                                                                                                                               | 0.00  |
| SUB-PARTIDAS                                                                                           |                                                                                      |        |                |         |                                                                                                                               | 0.00  |
| Total                                                                                                  |                                                                                      |        |                |         |                                                                                                                               | 29.14 |

Anexo A7 Remuneración de costo hh en la ciudad del Cusco  
Fuente: testistas Soto Llalla Breyner – Soto Llalla Edwin

TESTISTAS: SOTO LLALLA BREYNER  
SOTO LLALLA EDWIN

| DESCRIPCION                                                               | CATEGORIA  |         |       |       |
|---------------------------------------------------------------------------|------------|---------|-------|-------|
|                                                                           | OPERARIO   | OFICIAL | PEON  |       |
| REMUNERACIÓN BÁSICA VIGENTE (vigente del 01.06.23 al 31.05.24)            | RB         | 84.70   | 66.45 | 59.80 |
| BONIFICACIÓN UNIFICADA DE CONSTRUCCIÓN (vigente del 01.06.23 al 31.05.24) | BUC        |         |       |       |
| OPERARIO                                                                  | 32.00% RB  | 27.10   | 19.94 | 17.94 |
| OFICIAL                                                                   | 30.00% RB  |         |       |       |
| PEON                                                                      | 30.00% RB  |         |       |       |
| LEYES Y BENEFICIOS SOCIALES SOBRE EL BUC                                  | 12.00% BUC | 3.25    | 2.39  | 2.15  |
| % DE INCIDENCIA DE LEYES SOCIALES                                         |            | 3.84    | 3.60  | 3.60  |

COSTO HORA HOMBRE PARA EL CUSCO

| DESCRIPCION                                                       | CATEGORIA   |         |        |        |
|-------------------------------------------------------------------|-------------|---------|--------|--------|
|                                                                   | OPERARIO    | OFICIAL | PEON   |        |
| REMUNERACIÓN BÁSICA VIGENTE (vigente del 01.06.23 al 31.05.24)    | RB          | 84.70   | 66.45  | 59.80  |
| BONIFICACIÓN UNIFICADA DE CONSTRUCCIÓN                            | BUC         | 27.10   | 19.94  | 17.94  |
| TOTAL DE LEYES Y BENEFICIOS SOCIALES SOBRE LA REMUNERACION BASICA |             |         |        |        |
| OPERARIO                                                          | 107.71%     | 91.23   | 71.41  | 64.27  |
| OFICIAL                                                           | 107.47%     |         |        |        |
| PEON                                                              | 107.47%     |         |        |        |
| LEYES Y BENEFICIOS SOCIALES SOBRE EL BUC                          | 12.00%      | 3.25    | 2.39   | 2.15   |
| BONIFICACIÓN POR ALTITUD                                          |             | 2.50    | 2.50   | 2.50   |
| BONIFICACIÓN POR MOVILIDAD                                        |             | 8.00    | 8.00   | 8.00   |
| OVEROL (Res. Direc. Nº 777-87-DR-LIM de 08.07.87)                 |             | 0.60    | 0.60   | 0.60   |
| Total día de 8 horas                                              | 2*90*8/h.l. | 217.39  | 171.29 | 155.26 |
| Costo Hora Hombre (44h) S/.                                       |             | 27.17   | 21.41  | 19.41  |

Anexo A8 Determinación de costo hh de cusco  
Fuente: Msc.Ing. José Ronald Aguilar Huerta

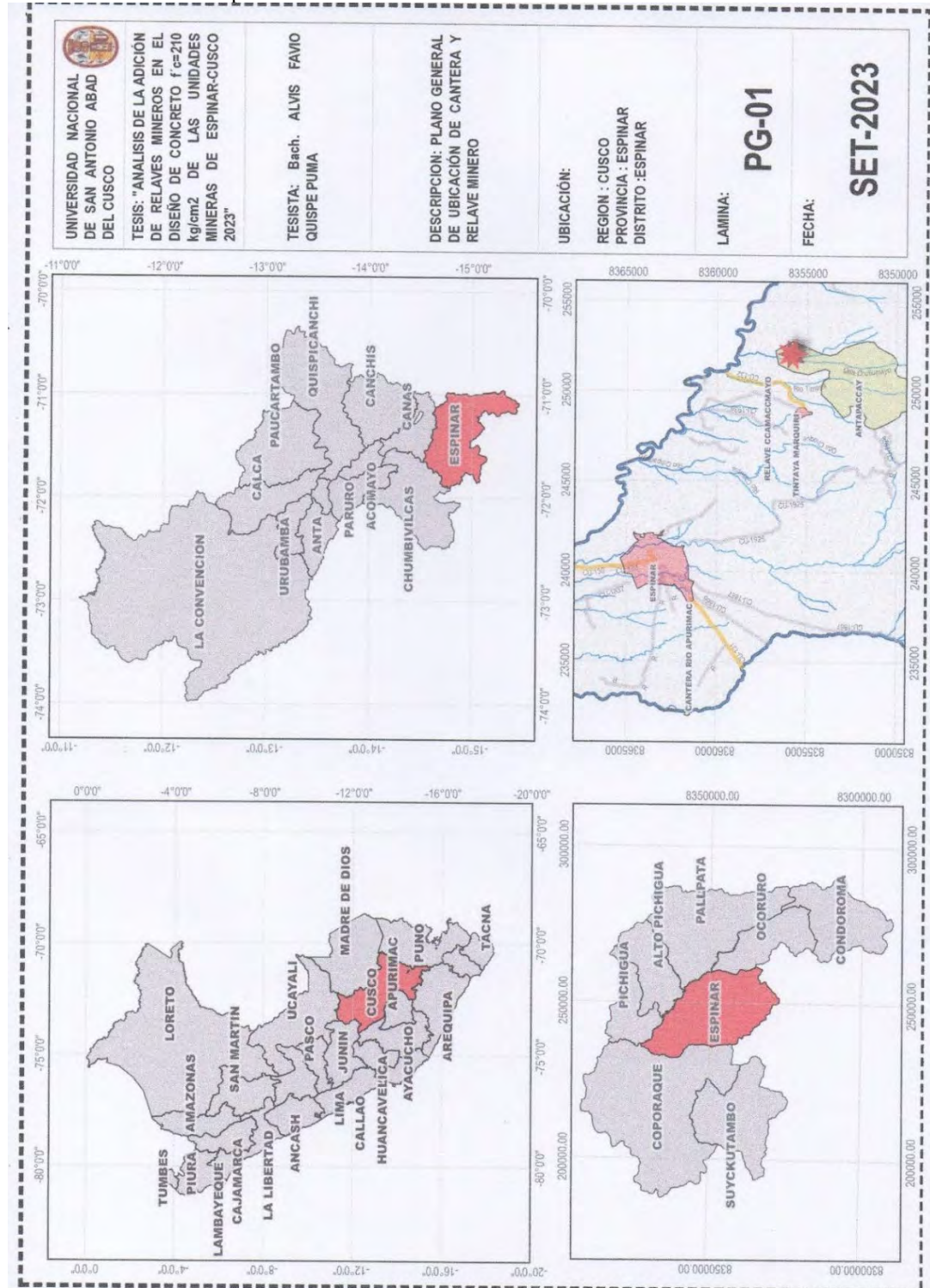
| DETERMINACIÓN DE PORCENTAJES DE LEYES SOCIALES/ ESTO hh PARA CUSCO                                        |                           |                                        |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------|----------|
| Vigente del 01 de Junio del 2023 hasta el 31 de Mayo del 2024                                             |                           |                                        |          |
| PÁG. 2                                                                                                    |                           |                                        |          |
| MSC. ING. J. RONALD AGUILAR HUERTA                                                                        |                           |                                        |          |
| CONCEPTO                                                                                                  | SOBRE REMUNERACIÓN BÁSICA | SOBRE BONIF. UNIFICADA DE CONSTRUCCIÓN |          |
| 1.00 PORCENTAJES ESTABLECIDOS                                                                             | 12.00                     |                                        |          |
| 1.01 INDICIALIZACIÓN                                                                                      | 3.00                      |                                        |          |
| 1.02 POR TIEMPO DE SERVICIOS                                                                              | 1.30                      | 1.30                                   |          |
| 1.03 POR PARTICIPACIÓN DE UTILIDADES                                                                      | 1.70                      | 1.70                                   |          |
| 1.04 POR PARTICIPACIÓN DE SEGURO DE RIESGO                                                                | 9.00                      | 9.00                                   |          |
| 1.05 SEGURO COMPLEMENTARIO                                                                                |                           |                                        |          |
| 1.06 PRESTACION ASISTENCIALES                                                                             |                           |                                        |          |
| 1.07 PRESTACION ECONOMICA                                                                                 |                           |                                        |          |
| 1.08 PRESTACIONES DE SALUD (SSALUD)                                                                       | 17.43                     |                                        |          |
| 1.09 REGIMEN DE PRESTACIONES DE SALUD                                                                     | 10.05                     |                                        |          |
| 2.00 PORCENTAJES DEDUCIDOS                                                                                |                           |                                        |          |
| 2.01 SALARIO DOMINICAL                                                                                    | 26.81                     |                                        |          |
| 2.02 VACACIONES RECORD (30 DIAS)                                                                          | 5.36                      |                                        |          |
| 2.03 GRATIFICACIONES POR FIESTAS PATRIAS Y NAVIDAD                                                        | 10.05                     |                                        |          |
| 2.04 GRATIFICACIONES POR DIAS FERIADOS NO LABORABLES                                                      |                           |                                        |          |
| 2.05 JORNALES POR DIAS FERIADOS NO LABORABLES                                                             |                           |                                        |          |
| 2.06 ASIGNACION ESCOLAR                                                                                   | 1.57                      |                                        |          |
| 2.07 REGIMEN DE PRESTACIONES DE SALUD (ESSALUD)                                                           | 0.90                      |                                        |          |
| 3.00 REGIMEN DE PRESTACIONES DE SALUD (ESSALUD)                                                           | 2.41                      |                                        |          |
| 3.01 SOBRE SALARIO DOMINICAL 9% DE 17.43 %                                                                | 0.48                      |                                        |          |
| 3.02 SOBRE VACACIONES RECORD 9% DE 10.05 %                                                                |                           |                                        |          |
| 3.03 SOBRE GRATIFIC. DE FIESTAS PATRIAS Y NAVIDAD 9% DE 26.81 %                                           |                           |                                        |          |
| 3.04 SOBRE JORNALES POR DIAS FERIADOS NO LABORABLES 9% DE 5.36 %                                          | 0.52                      |                                        |          |
| 3.05 SOBRE JORNALES POR DIAS FERIADOS NO LABORABLES 9% DE 5.36 %                                          | 0.30                      |                                        |          |
| 4.00 SEGURO COMPLEMENTARIO DE TRABAJO DE RIESGO                                                           | 0.80                      |                                        |          |
| 4.01 SOBRE SALARIO DOMINICAL 3% DE 17.43 %                                                                | 0.16                      |                                        |          |
| 4.02 SOBRE VACACIONES RECORD 3% DE 10.05 %                                                                |                           |                                        |          |
| 4.03 SOBRE GRATIFIC. DE FIESTAS PATRIAS Y NAVIDAD 3% DE 26.81 %                                           |                           |                                        |          |
| 4.04 SOBRE JORNALES POR DIAS FERIADOS NO LABORABLES 3% DE 5.36 %                                          |                           |                                        |          |
| SUB TOTAL                                                                                                 | 103.87                    | 12.00                                  |          |
| INCIDENCIA DE LEYES SOCIALES SOBRE LA REMUNERACIÓN BÁSICA, Y LA BONIFICACIÓN UNIFICADA DE LA CONSTRUCCIÓN | 3.84                      |                                        | OPERARIO |
|                                                                                                           | 3.60                      |                                        | OFICIAL  |
|                                                                                                           | 107.71                    |                                        | PEÓN     |
|                                                                                                           | 107.47                    |                                        | OPERARIO |
|                                                                                                           | 107.47                    |                                        | OFICIAL  |
|                                                                                                           | 107.47                    |                                        | PEÓN     |
| TOTAL                                                                                                     |                           |                                        |          |

| ANÁLISIS DEL AÑO LABORABLE 2024                                       |            |                                            |               |               |                              |                              |                        |                      |        |
|-----------------------------------------------------------------------|------------|--------------------------------------------|---------------|---------------|------------------------------|------------------------------|------------------------|----------------------|--------|
| DETERMINACIÓN DEL COSTO HORA HOMBRE PARA CUSCO                        |            |                                            |               |               |                              |                              |                        |                      |        |
| PAG 1                                                                 |            |                                            |               |               |                              |                              |                        |                      |        |
| MSC. ING. J. RONALD AGUILAR HUERTA                                    |            |                                            |               |               |                              |                              |                        |                      |        |
| MES                                                                   | TOTAL DIAS | CONCEPTO DEL FERIADO                       | DIAS FERIADOS | DIAS DOMINGOS | DIAS DE 8,5 HORAS LABORABLES | DIAS DE 5,5 HORAS LABORABLES | TOTAL HORAS LABORABLES | TOTAL HORAS FERIADOS |        |
| ENERO                                                                 | 31         | AÑO NUEVO                                  | 1.000         | 4             | 22.00                        | 4.00                         | 209.00                 | 8.50                 |        |
| FEBRERO                                                               | 29         |                                            | 0.000         | 4             | 21.00                        | 4.00                         | 200.50                 | 0.00                 |        |
| MARZO                                                                 | 31         | Ju y VI SANTO                              | 1.412         | 5             | 19.59                        | 5.00                         | 194.00                 | 12.00                |        |
| ABRIL                                                                 | 30         |                                            | 0.000         | 4             | 22.00                        | 4.00                         | 209.00                 | 0.00                 |        |
| MAYO                                                                  | 31         | TRABAJADOR, Corpus Cristi                  | 2.000         | 4             | 21.00                        | 4.00                         | 200.50                 | 17.00                |        |
| JUNIO                                                                 | 30         | Bandera, Cusco y San Pedro y San Pablo     | 1.647         | 5             | 19.00                        | 4.35                         | 185.44                 | 14.00                |        |
| JULIO                                                                 | 31         | J. Abelardo Quiñones, FIESTAS PATRIAS      | 2.000         | 4             | 21.00                        | 4.00                         | 200.50                 | 17.00                |        |
|                                                                       |            |                                            |               |               |                              |                              | SUBTOTAL               | 1,398.94             | 68.50  |
| AGOSTO                                                                | 31         | BAT. JUNIN, SANTA ROSA                     | 2.00          | 4             | 20.00                        | 5.00                         | 197.50                 | 17.00                |        |
| SEPTIEMBRE                                                            | 30         |                                            | 0             | 5             | 21.00                        | 4.00                         | 200.50                 | 0.00                 |        |
| OCTUBRE                                                               | 31         | COMBATE ANGAMOS Y CONSTRUCCION CIVIL       | 2.00          | 4             | 21.00                        | 4.00                         | 200.50                 | 17.00                |        |
| NOVIEMBRE                                                             | 30         | TODOS SANTOS                               | 1.00          | 4             | 20.00                        | 5.00                         | 197.50                 | 8.50                 |        |
| DICIEMBRE                                                             | 31         | INMAC. CONCEPCION, BAT. AYACUCHO Y NAVIDAD | 2.000         | 5             | 20.00                        | 4.00                         | 192.00                 | 17.00                |        |
| TOTAL                                                                 |            |                                            |               |               |                              |                              | SUBTOTAL               | 988.00               | 59.50  |
|                                                                       |            |                                            |               |               |                              |                              | 15.06                  | 52                   | 247.59 |
|                                                                       |            |                                            |               |               |                              |                              | 51.35                  | 2,386.94             | 128.00 |
| Incidencia del dominical entre las horas laboradas                    |            |                                            |               |               |                              |                              | %                      |                      |        |
| Incidencia del jornal extraordinario 1° mayo                          |            |                                            |               |               |                              |                              | 17.43                  |                      |        |
| Incidencia de gratificación Fiestas Patrias en las horas laboradas    |            |                                            |               |               |                              |                              | 0.34                   |                      |        |
| Incidencia de gratificación Fiestas de Navidad en las horas laboradas |            |                                            |               |               |                              |                              | 15.71                  |                      |        |
| Incidencia de asig. Escol. Un hijo en edad escolar                    |            |                                            |               |               |                              |                              | 11.10                  |                      |        |
| Incidencia de días feriados en las horas laboradas                    |            |                                            |               |               |                              |                              | 10.05                  |                      |        |
| Incidencia de overol por hora trabajada                               |            |                                            |               |               |                              |                              | 5.36                   |                      |        |
|                                                                       |            |                                            |               |               |                              |                              | 5.87                   |                      |        |

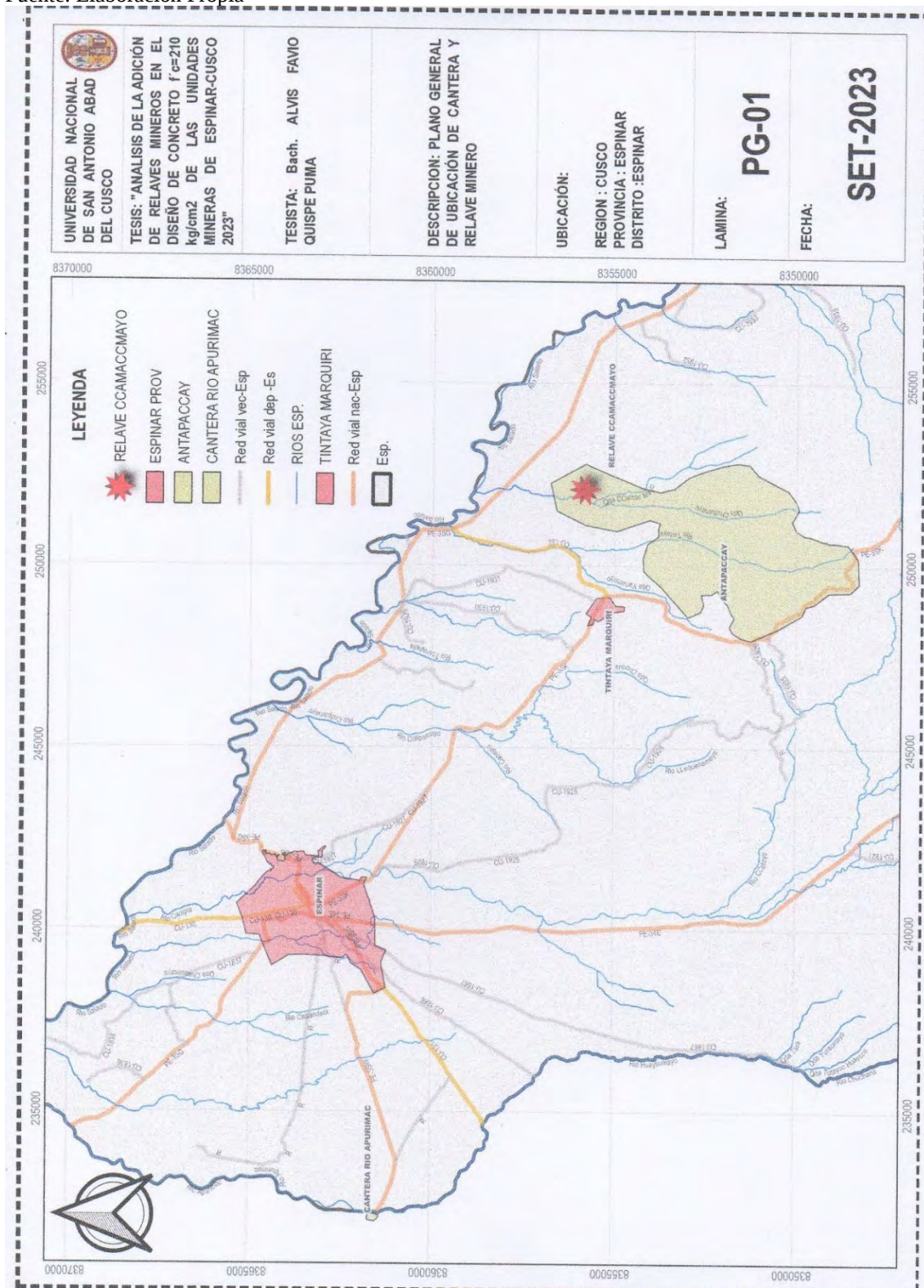
## ANEXOS B PLANOS

### Anexo B1 Plano general de cantera y relave minero

Fuente: Elaboración Propia



Anexo B2 Plano de ubicación de relave minero  
Fuente: Elaboración Propia



## ANEXOS C FICHAS DE OBSERVACIÓN

Anexo C1 Ficha de observación N° 01

Fuente: Elaboración Propia

### Absorción atómica de relave minero

| Concentración de metales |                | Relave minero |
|--------------------------|----------------|---------------|
| Zn                       | ppm            |               |
|                          | porcentaje (%) |               |
| Fe                       | ppm            |               |
|                          | porcentaje (%) |               |
| Cu                       | ppm            |               |
|                          | porcentaje (%) |               |
| Pb                       | ppm            |               |
|                          | porcentaje (%) |               |
| Ag                       | ppm            |               |
|                          | porcentaje (%) |               |
| Ca                       | ppm            |               |
|                          | porcentaje (%) |               |

### Contenido de sulfatos y cloruros en relave mineros

|          |                | Relave minero |
|----------|----------------|---------------|
| Cloruros | ppm            |               |
|          | porcentaje (%) |               |
| Sulfatos | ppm            |               |
|          | porcentaje (%) |               |

### Contenido de sulfatos y cloruros en agregado

|          |                | Piedra chancada |
|----------|----------------|-----------------|
| Cloruros | ppm            |                 |
|          | porcentaje (%) |                 |
| Sulfatos | ppm            |                 |
|          | porcentaje (%) |                 |

### Contenido de sulfatos y cloruros en agregado fino

|          |                | Arena gruesa |
|----------|----------------|--------------|
| Cloruros | ppm            |              |
|          | porcentaje (%) |              |
| Sulfatos | ppm            |              |
|          | porcentaje (%) |              |

Anexo C2 Ficha de observación N° 02

Fuente: Elaboración Propia

Análisis granulométrico del agregado grueso (Clasificación MTC E204)

|                   |               |                    |                    |                      |                      |                        |         |
|-------------------|---------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|------------------------|---------|
| Peso inicial seco |               | gr                 |                    |                      |                      | Tamaño Máximo Absoluto |         |
| Huso              |               |                    |                    |                      |                      | Tamaño Máximo Nominal  |         |
| Tamices ASTM      | Abertura (mm) | Peso Retenido (gr) | % Retenido Parcial | % Retenido Acumulado | % Acumulado Que Pasa | LIMSUP.                | LIMINF. |
| 4"                | 100           |                    |                    |                      |                      | 100.00%                | 100.00% |
| 3 1/2"            | 90            |                    |                    |                      |                      | 100.00%                | 100.00% |
| 3"                | 75            |                    |                    |                      |                      | 100.00%                | 100.00% |
| 2 1/2"            | 63            |                    |                    |                      |                      | 100.00%                | 100.00% |
| 2"                | 50            |                    |                    |                      |                      | 100.00%                | 100.00% |
| 1 1/2"            | 37.5          |                    |                    |                      |                      | 100.00%                | 100.00% |
| 1"                | 25            |                    |                    |                      |                      | 100.00%                | 100.00% |
| 3/4"              | 19            |                    |                    |                      |                      | 90.00%                 | 100.00% |
| 1/2"              | 12.5          |                    |                    |                      |                      | 20.00%                 | 55.00%  |
| 3/8"              | 9.5           |                    |                    |                      |                      | 0.00%                  | 15.00%  |
| No. 4             | 4.75          |                    |                    |                      |                      | 0.00%                  | 5.00%   |
| No. 8             | 2.36          |                    |                    |                      |                      |                        |         |
| No. 16            | 1.18          |                    |                    |                      |                      |                        |         |
| No. 30            | 0.600         |                    |                    |                      |                      |                        |         |
| No. 50            | 0.300         |                    |                    |                      |                      |                        |         |
| No. 100           | 0.150         |                    |                    |                      |                      |                        |         |
| No. 200           | 0.075         |                    |                    |                      |                      |                        |         |
| > No. 200         |               |                    |                    |                      |                      |                        |         |
| TOTAL             | Σ (suma)      |                    |                    |                      |                      |                        |         |

Análisis granulométrico del agregado fino (Clasificación MTC E204)

|              |               |                    |                    |                      |                      |                 |                 |
|--------------|---------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|-----------------|-----------------|
| Tamices ASTM | Abertura (mm) | Peso Retenido (gr) | % Retenido Parcial | % Retenido Acumulado | % Acumulado Que Pasa | Límite inferior | Límite Superior |
| 3/8"         | 9.5           |                    |                    |                      |                      | 100%            | 100%            |
| No. 4        | 4.75          |                    |                    |                      |                      | 95%             | 100%            |
| No. 8        | 2.36          |                    |                    |                      |                      | 80%             | 100%            |
| No. 16       | 1.18          |                    |                    |                      |                      | 50%             | 85%             |
| No. 30       | 0.600         |                    |                    |                      |                      | 25%             | 60%             |
| No. 50       | 0.300         |                    |                    |                      |                      | 5%              | 30%             |
| No. 100      | 0.150         |                    |                    |                      |                      | 0%              | 10%             |
| No. 200      | 0.075         |                    |                    |                      |                      | 0%              | 5%              |
| > No. 200    |               |                    |                    |                      |                      |                 |                 |
| TOTAL        |               |                    |                    |                      |                      |                 |                 |

Peso unitario compactado (Clasificación MTC E203)

|                                             |              |              |              |
|---------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Descripción                                 | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |
| Número de capas                             |              |              |              |
| Número de golpes                            |              |              |              |
| (1) Peso del material + Peso del molde (gr) |              |              |              |
| (2) Peso del molde (gr)                     |              |              |              |
| (3) Peso del material (gr)                  | (1)-(2)      |              |              |
| (4) Volumen del molde (cm3)                 |              |              |              |
| (5) Peso unitario compactado (gr/cm3)       | (3)/(4)      |              |              |
| Peso Unitario Compactado Promedio (gr/cm3)  |              |              |              |

Contenido de humedad del agregado (Clasificación MTC E108)

|                                      |              |              |              |
|--------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Descripción                          | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |
| (1) Peso del frasco + Peso del suelo |              |              |              |
| (2) Peso del frasco + Peso del suelo |              |              |              |
| (3) Peso del agua (gr)               | (1)-(2)      |              |              |
| (4) Peso del frasco (gr)             |              |              |              |
| (5) Peso del suelo seco (gr)         | (2)-(4)      |              |              |
| (6) Contenido de humedad (%)         | (3)/(5)      |              |              |
| Contenido de Humedad Promedio (%)    |              |              |              |

Peso específico del agregado grueso (Clasificación MTC E206)

| Descripción                                 |           | Muestras        |                 |                 |
|---------------------------------------------|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Tamaño Máximo de la muestra                 |           |                 |                 |                 |
| Tipo de frasco utilizado                    |           |                 |                 |                 |
|                                             |           | Muestra<br>N° 1 | Muestra<br>N° 2 | Muestra<br>N° 3 |
| (1) Volumen inicial de probeta (ml)         |           |                 |                 |                 |
| (2) Volumen final de probeta (ml)           |           |                 |                 |                 |
| (3) Volumen del agua desplazado (ml)        | (2)-(1)   |                 |                 |                 |
| (4) Peso del material superficialmente seco |           |                 |                 |                 |
| (5) Peso del material secado en horno       |           |                 |                 |                 |
| (6) Peso Recipiente (gr)                    |           |                 |                 |                 |
| (7) Peso del material secado en horno       | (5)-(6)   |                 |                 |                 |
| (6) Peso específico de masa promedio        | (4) / (3) |                 |                 |                 |
| Peso Especifico de Masa Promedio (gr/cm3)   |           |                 |                 |                 |

Cantidad de material fino que pasa el tamiz N° 200 (Clasificación MTC E202)

|                                                          |              |              |              |
|----------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Descripción                                              | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |
| (1) Peso del material seco antes del tamiz               |              |              |              |
| (1) Peso de recipiente (gr)                              |              |              |              |
| (2) Peso del material seco después del tamiz             |              |              |              |
| (2) Peso del material seco después del tamiz             |              |              |              |
| (3) Peso del residuo filtrado seco (gr)                  | (1)-(2)      |              |              |
| (4) Material que pasa el tamiz N° 200 (%)                | (3)/(1)      |              |              |
| (5) Porcentaje de Mat. que pasa el tamiz N° 200 (%)      | (3)/(1)      |              |              |
| Porcentaje de Mat. que pasa el tamiz N° 200 Promedio (%) |              |              |              |

Peso unitario suelto del agregado (Clasificación MTC E203)

|                                        |              |              |              |
|----------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Descripción                            | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |
| (1) Peso del material + peso del molde |              |              |              |
| (2) Peso del molde (gr)                |              |              |              |
| (3) Peso del material (gr)             | (1)-(2)      |              |              |
| (4) Volumen del molde (cm3)            |              |              |              |
| (5) Peso unitario suelto (gr/cm3)      | (3)/(4)      |              |              |
| Peso Unitario Suelto Promedio (gr/cm3) |              |              |              |

Porcentaje de absorción del agregado (Clasificación MTC E203)

|                                             |              |              |              |
|---------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Descripción                                 | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |
| (1) Peso del material superficialmente seco |              |              |              |
| (2) Peso del material secado en horno       |              |              |              |
| (3) Peso del agua absorbida (gr)            | (1)-(2)      |              |              |
| Porcentaje de Absorción (%)                 | (3)x100/(5)  |              |              |
| Porcentaje de Absorción Promedio (%)        |              |              |              |

Abrasión los ángeles del agregado grueso (Clasificación MTC E207)

|                                                         |              |              |              |
|---------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Descripción                                             | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |
| (1) Peso del material seco antes del ensayo             |              |              |              |
| (2) Peso del material seco después del ensayo           |              |              |              |
| (3) Peso del recipiente (gr)                            |              |              |              |
| (4) Peso del material después del ensayo                | (2)-(3)      |              |              |
| (5) Peso del residuo filtrado seco (gr)                 | (1)-(4)      |              |              |
| (6) Material que pasa el tamiz N° 12 (gr)               | (5)          |              |              |
| (7) Porcentaje de Material que pasa el tamiz N° 12 (%)  | (3)/(1)      |              |              |
| Porcentaje de Mat. que pasa el tamiz N° 12 Promedio (%) |              |              |              |

Gravedad específica del agregado fino (Clasificación MTC E205)

|                                                       |              |              |              |
|-------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Descripción                                           | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |
| Tipo de frasco utilizado                              |              |              |              |
| (1) Vol. Picnómetro (ml)                              |              |              |              |
| (2) Peso de la muestra seca en el horno               |              |              |              |
| (3) Peso recipiente (gr)                              |              |              |              |
| (4) Peso de la muestra seca en el horno               | (2)-(3)      |              |              |
| (5) Peso del picnómetro + agua hasta la marca         |              |              |              |
| (6) Peso del picnómetro con agua + P                  |              |              |              |
| (7) Peso de la muestra saturada con s                 |              |              |              |
| (8) Densidad relativa (Gravedad específica)           | (4)/(5+7-6)  |              |              |
| (9) Densidad relativa (Gravedad específica)           | (7)/(5+7-6)  |              |              |
| (10) Densidad relativa aparente (Gravedad específica) | (4)/(5+4-6)  |              |              |
| Peso Especifico Promedio                              |              |              |              |

Anexo C3 Ficha de observación N° 03  
Fuente: Elaboración Propia

### Composición química en laboratorio del relave minero

| Material de estudio | Análisis químicos (ppm) |    |    |    |    |    | fisicoquímicos (ppm) |          |
|---------------------|-------------------------|----|----|----|----|----|----------------------|----------|
|                     | Zn                      | Fe | Cu | Pb | Ag | Ca | Cloruros             | Sulfatos |
| Relave minero       |                         |    |    |    |    |    |                      |          |
| Piedra chancada     |                         |    |    |    |    |    |                      |          |
| Arena gruesa        |                         |    |    |    |    |    |                      |          |

### Diseño de mezcla del concreto (Método ACI 211.1)

| DATOS GENERALES                                                            |  |  |  |  |  |                                        |  |  |  |  |  |
|----------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|----------------------------------------|--|--|--|--|--|
| <b>Agregado grueso</b>                                                     |  |  |  |  |  | <b>Agregado fino</b>                   |  |  |  |  |  |
| Tamaño máximo del agregado (pulg.)                                         |  |  |  |  |  | Modulo de fineza                       |  |  |  |  |  |
| Peso unitario compactado (kg/m3)                                           |  |  |  |  |  | Peso específico (g/cm3)                |  |  |  |  |  |
| Peso unitario suelto (kg/m3)                                               |  |  |  |  |  | Porcentaje de absorción (%)            |  |  |  |  |  |
| Peso específico (g/cm3)                                                    |  |  |  |  |  | Contenido de humedad (%)               |  |  |  |  |  |
| Porcentaje de absorción (%)                                                |  |  |  |  |  | Peso unitario suelto (kg/m3)           |  |  |  |  |  |
| Contenido de humedad (%)                                                   |  |  |  |  |  |                                        |  |  |  |  |  |
| <b>Agua</b>                                                                |  |  |  |  |  | <b>Relave minero</b>                   |  |  |  |  |  |
| Peso específico (g/cm3)                                                    |  |  |  |  |  | Peso específico (g/cm3)                |  |  |  |  |  |
|                                                                            |  |  |  |  |  | Peso unitario suelto (kg/m3)           |  |  |  |  |  |
| <b>Cemento</b>                                                             |  |  |  |  |  |                                        |  |  |  |  |  |
| Tipo de cemento                                                            |  |  |  |  |  | Peso específico (g/cm3)                |  |  |  |  |  |
| Peso unitario suelto (kg/m3)                                               |  |  |  |  |  |                                        |  |  |  |  |  |
| DATOS DE DISEÑO                                                            |  |  |  |  |  |                                        |  |  |  |  |  |
| <b>Resistencia</b>                                                         |  |  |  |  |  | <b>Aire en la mezcla</b>               |  |  |  |  |  |
| f'c (kg/m3)                                                                |  |  |  |  |  | 210 Sin aire incorporado               |  |  |  |  |  |
| <b>Consistencia</b>                                                        |  |  |  |  |  |                                        |  |  |  |  |  |
| Tipo de estructuras                                                        |  |  |  |  |  | Consistencia a usar (pulg.)            |  |  |  |  |  |
| RESULTADOS                                                                 |  |  |  |  |  |                                        |  |  |  |  |  |
| Resistencia de diseño (fcr)                                                |  |  |  |  |  | kg/cm2                                 |  |  |  |  |  |
| Contenido de agua de mezclado                                              |  |  |  |  |  | l/m3                                   |  |  |  |  |  |
| Contenido de aire                                                          |  |  |  |  |  | %                                      |  |  |  |  |  |
| Relación agua-cemento                                                      |  |  |  |  |  |                                        |  |  |  |  |  |
| Contenido de cemento                                                       |  |  |  |  |  | kg/m3                                  |  |  |  |  |  |
| Volumen del agregado grueso                                                |  |  |  |  |  |                                        |  |  |  |  |  |
| Peso seco del agregado grueso                                              |  |  |  |  |  | kg/m3                                  |  |  |  |  |  |
| Suma de volúmenes absolutos                                                |  |  |  |  |  | m3                                     |  |  |  |  |  |
| Volumen absoluto del agregado fino                                         |  |  |  |  |  | m3                                     |  |  |  |  |  |
| Peso seco del agregado fino                                                |  |  |  |  |  | m3                                     |  |  |  |  |  |
| Valores de diseño del cemento ,agua, aire, agregado fino y agregado grueso |  |  |  |  |  |                                        |  |  |  |  |  |
| Cemento (kg/m3 C°)                                                         |  |  |  |  |  | Agua (l/m3 C°)                         |  |  |  |  |  |
| Agregado fino seco (kg/m3 C°)                                              |  |  |  |  |  | Agregado grueso seco (kg/m3 C°)        |  |  |  |  |  |
| Ajustes por humedad de los agregados                                       |  |  |  |  |  |                                        |  |  |  |  |  |
| Peso del agregado fino húmedo                                              |  |  |  |  |  | kg/m3                                  |  |  |  |  |  |
| Peso del agregado grueso húmedo                                            |  |  |  |  |  | kg/m3                                  |  |  |  |  |  |
| <b>Calculo de humedad superficial de los agregados</b>                     |  |  |  |  |  |                                        |  |  |  |  |  |
| Humedad superficial del agregado fino (%)                                  |  |  |  |  |  |                                        |  |  |  |  |  |
| Humedad superficial del agregado grueso (%)                                |  |  |  |  |  |                                        |  |  |  |  |  |
| <b>Calculo de aporte de humedad por el agregado</b>                        |  |  |  |  |  |                                        |  |  |  |  |  |
| Agua por el agregado fino (l/m3 C°)                                        |  |  |  |  |  |                                        |  |  |  |  |  |
| Agua por el agregado grueso (l/m3 C°)                                      |  |  |  |  |  |                                        |  |  |  |  |  |
| Calculo de agua efectiva                                                   |  |  |  |  |  |                                        |  |  |  |  |  |
| <b>Calculo de agua efectiva</b>                                            |  |  |  |  |  |                                        |  |  |  |  |  |
| Agua efectiva (l/m3 C°)                                                    |  |  |  |  |  |                                        |  |  |  |  |  |
| Valores de diseño del cemento ,agua, aire, agregado fino y agregado grueso |  |  |  |  |  |                                        |  |  |  |  |  |
| Cemento (kg/m3 C°)                                                         |  |  |  |  |  | 0.00 Agua efectiva (l/m3 C°)           |  |  |  |  |  |
| Agregado fino húmedo (kg/m3 C°)                                            |  |  |  |  |  | 0.00 Agregado grueso húmedo (kg/m3 C°) |  |  |  |  |  |
| Dosificación en peso de los materiales para 1m3 de concreto                |  |  |  |  |  |                                        |  |  |  |  |  |
| <b>Dosificación peso (Cemento,Agregado fino,</b>                           |  |  |  |  |  |                                        |  |  |  |  |  |
| <b>Calculo de la proporcion en base al volumen suelto</b>                  |  |  |  |  |  |                                        |  |  |  |  |  |
| <b>Volumen (Cemento,Agregado fino,Agregado</b>                             |  |  |  |  |  |                                        |  |  |  |  |  |
|                                                                            |  |  |  |  |  |                                        |  |  |  |  |  |
| <b>Dosificación volumen (Cemento,Agregado fino,</b>                        |  |  |  |  |  |                                        |  |  |  |  |  |

Anexo C4 Ficha de observación N° 04  
Fuente: Elaboración Propia

**Consistencia del concreto (Método ASTM C143)**

| Concreto   | Cosistencia |    |        |    |        |    |          |    |
|------------|-------------|----|--------|----|--------|----|----------|----|
|            | Dato 1      |    | Dato 2 |    | Dato 3 |    | Promedio |    |
| DCP        |             | cm |        | cm |        | cm |          | cm |
| DCP+5%ARM  |             | cm |        | cm |        | cm |          | cm |
| DCP+10%ARM |             | cm |        | cm |        | cm |          | cm |
| DCP+15%ARM |             | cm |        | cm |        | cm |          | cm |

**Resistencia a la compresión del concreto (Método ASTM C39)**

|                |  |        |
|----------------|--|--------|
| f'c de diseño: |  | kg/cm2 |
| % de relave:   |  | %      |

|                 |  |
|-----------------|--|
| Fecha de moldeo |  |
| Fecha de rotura |  |

| N° | D1   | D2   | Dprom. | Altura | Edad | Carga  | Area  | f c      | %         |
|----|------|------|--------|--------|------|--------|-------|----------|-----------|
|    | (cm) | (cm) | (cm)   | (cm)   | Dias | (Kg-f) | (cm2) | (Kg/cm2) | Evolución |
| 1  |      |      |        |        |      |        |       |          |           |
| 2  |      |      |        |        |      |        |       |          |           |
| 3  |      |      |        |        |      |        |       |          |           |
| 4  |      |      |        |        |      |        |       |          |           |

|                                   |  |  |
|-----------------------------------|--|--|
| Resistencia promedio f'c (kg/cm2) |  |  |
|-----------------------------------|--|--|

**Resistencia a la flexión del concreto (Método ASTM C78)**

|              |  |     |
|--------------|--|-----|
| Mr           |  | Mpa |
| % de relave: |  | %   |

|                 |  |
|-----------------|--|
| Fecha de moldeo |  |
| Fecha de rotura |  |

| N° | Largo | Ancho | Alto | Luz Libre | Edad | Carga |     | Módulo de rotura (Mr) |          | %         |
|----|-------|-------|------|-----------|------|-------|-----|-----------------------|----------|-----------|
|    | (mm)  | (mm)  | (mm) | (mm)      | Dias | (Kg)  | (N) | (Mpa)                 | (kg/cm2) | Evolución |
| 1  |       |       |      |           |      |       |     |                       |          |           |
| 2  |       |       |      |           |      |       |     |                       |          |           |
| 3  |       |       |      |           |      |       |     |                       |          |           |

|                                   |  |  |
|-----------------------------------|--|--|
| Resistencia promedio f'c (kg/cm2) |  |  |
|-----------------------------------|--|--|

**Costo de producción del concreto**

| Partida:          |                          |       |          |          | Costo unitario por m³ |         |  |
|-------------------|--------------------------|-------|----------|----------|-----------------------|---------|--|
| Código            | Descripción              | Unid. | Recursos | Cantidad | Precio                | Parcial |  |
| <b>MATERIALES</b> |                          |       |          |          |                       |         |  |
| 50010001          | Piedra chancada de 1/2"  | m³    |          |          |                       |         |  |
| 50010002          | Arena gruesa             | m³    |          |          |                       |         |  |
| 210010001         | Cemento portland tipo IP | bol   |          |          |                       |         |  |
| 390010001         | Agua                     | lt    |          |          |                       |         |  |
| 210010002         | Relave minero            | m³    |          |          |                       |         |  |

## ANEXOS D ENSAYOS DE LABORATORIO DE ELEMENTOS PÉTREOS

### Anexo D1 Análisis granulométrico del agregado grueso

Fuente: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

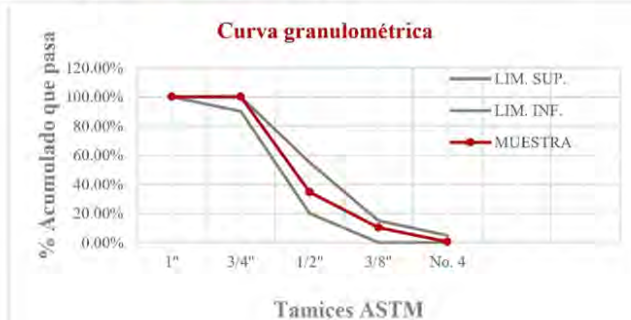
**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

**Cantera:** Río Apurímac (Espinar) **Fecha:** jueves, 1 de Junio de 2023

**Agregado:** Grueso

| ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO |               |                    |                        |                      |                      |         |
|---------------------------------------------|---------------|--------------------|------------------------|----------------------|----------------------|---------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 204/ ASTM C136          |               |                    |                        |                      |                      |         |
| Peso inicial seco                           | 2000.00       | gr                 | Tamaño Máximo Absoluto |                      | 3/4"                 |         |
| Huso                                        | 6             |                    | Tamaño Máximo Nominal  |                      | 1/2"                 |         |
| Tamices ASTM                                | Abertura (mm) | Peso Retenido (gr) | % Retenido Parcial     | % Retenido Acumulado | % Acumulado Que Pasa | HUSO 6  |
| 4"                                          | 100           | 0.00               | 0.00%                  | 0.00%                | 100.00%              | -       |
| 3 1/2"                                      | 90            | 0.00               | 0.00%                  | 0.00%                | 100.00%              | -       |
| 3"                                          | 75            | 0.00               | 0.00%                  | 0.00%                | 100.00%              | -       |
| 2 1/2"                                      | 63            | 0.00               | 0.00%                  | 0.00%                | 100.00%              | -       |
| 2"                                          | 50            | 0.00               | 0.00%                  | 0.00%                | 100.00%              | -       |
| 1 1/2"                                      | 37.5          | 0.00               | 0.00%                  | 0.00%                | 100.00%              | -       |
| 1"                                          | 25            | 0.00               | 0.00%                  | 0.00%                | 100.00%              | 100.00% |
| 3/4"                                        | 19            | 0.00               | 0.00%                  | 0.00%                | 100.00%              | 90.00%  |
| 1/2"                                        | 12.5          | 1308.46            | 65.42%                 | 65.42%               | 34.58%               | 20.00%  |
| 3/8"                                        | 9.5           | 485.62             | 24.28%                 | 89.70%               | 10.30%               | 0.00%   |
| No. 4                                       | 4.75          | 195.86             | 9.79%                  | 99.50%               | 0.50%                | 0.00%   |
| No. 8                                       | 2.36          | 0.00               | 0.00%                  | 99.50%               | 0.50%                | -       |
| No. 16                                      | 1.18          | 0.00               | 0.00%                  | 99.50%               | 0.50%                | -       |
| No. 50                                      | 0.30          | 0.00               | 0.00%                  | 99.50%               | 0.50%                | -       |
| Fondo                                       | 0.00          | 10.06              | 0.50%                  | 100.00%              | 0.00%                | -       |
| TOTAL                                       | Σ (suma)      | 2000.00            | 100.00%                |                      |                      |         |



$$MF = \frac{\sum \% \text{ retenido acumulado } (6''+3''+1\frac{1}{2}'' + 3/4''+3/8''+N^{\circ}4+N^{\circ}8+N^{\circ}16+N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

2.3 < MF < 3.1

MF

6.87

Anexo D2 Cantidad de material fino que pasa el tamiz N° 200  
Fuente: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

**Cantera:** Río Apurímac (Espinar) **Fecha:** jueves, 11 de Enero de 2024

**Agregado:** Grueso

#### CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ N° 200

CLASIFICACIÓN MTC E 202/ASTM C 117

| Descripción                                                            | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |
|------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| (A) Peso del material seco antes del lavado(gr)                        | 500.76       | 500.00       | 500.00       |
| (B) Peso de recipiente(gr)                                             | 49.34        | 69.36        | 66.46        |
| (C) Peso del material seco despues del lavado+ Peso de recipiente (gr) | 545.59       | 565.15       | 561.70       |
| (D) Peso del material seco despues del lavado (gr)                     | 496.25       | 495.79       | 495.24       |
| (E) Peso del residuo filtrado seco (gr) (A)-(D)                        | 4.51         | 4.21         | 4.76         |
| (F) Porcentaje de Mat. que pasa el tamiz N° 200 (%) (E)/(A)            | 0.90%        | 0.84%        | 0.95%        |



|                                                          |       |
|----------------------------------------------------------|-------|
| Porcentaje de Mat. que pasa el tamiz N° 200 Promedio (%) | 0.90% |
|----------------------------------------------------------|-------|

Anexo D3 Peso unitario suelto del agregado grueso

Fuente: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

**Cantera:** Rio Apurimac (Espinar) **Fecha:** viernes, 2 de Junio de 2023

**Agregado:** Grueso

| PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO       |              |              |              |         |
|------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 203/ASTM C 29              |              |              |              |         |
| Descripción                                    | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |         |
| (A) Peso del material + peso del molde (gr)    | 9357.00      | 9290.00      | 9312.00      |         |
| (B) Peso del molde (gr)                        | 6517.00      | 6517.00      | 6517.00      |         |
| (C) Peso del material (gr)                     | (A)-(B)      | 2840.00      | 2773.00      | 2795.00 |
| (D) Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )       | 2123.06      | 2123.06      | 2123.06      |         |
| (E) Peso unitario suelto (gr/cm <sup>3</sup> ) | (C)/(D)      | 1.338        | 1.306        | 1.316   |



|                                                     |       |
|-----------------------------------------------------|-------|
| Peso Unitario Suelto Promedio (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.320 |
|-----------------------------------------------------|-------|

Anexo D4 Peso unitario compactado del agregado grueso  
Fuente: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

**Cantera:** Rio Apurímac (Espinar) **Fecha:** viernes, 2 de Junio de 2023

**Agregado:** Grueso

| PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO               |              |              |              |  |
|------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--|
| CLASIFICACIÓN MTC E 203/ASTM C 29                          |              |              |              |  |
| Descripción                                                | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |  |
| Número de capas                                            | 3            | 3            | 3            |  |
| Número de golpes                                           | 25           | 25           | 25           |  |
| (A) Peso del material + Peso del molde (gr)                | 9669.00      | 9630.00      | 9645.00      |  |
| (B) Peso del molde (gr)                                    | 6517.00      | 6517.00      | 6517.00      |  |
| (C) Peso del material (gr) (A)-(B)                         | 3152.00      | 3113.00      | 3128.00      |  |
| (D) Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )                   | 2123.06      | 2123.06      | 2123.06      |  |
| (E) Peso unitario compactado (gr/cm <sup>3</sup> ) (C)/(D) | 1.485        | 1.466        | 1.473        |  |



|                                                         |       |
|---------------------------------------------------------|-------|
| Peso Unitario Compactado Promedio (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.475 |
|---------------------------------------------------------|-------|

Anexo D5 Peso específico del agregado grueso  
Fuente: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

**Cantera:** Río Apurímac (Espinar) **Fecha:** viernes, 16 de Junio de 2023

**Agregado:** Grueso

| PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO                                    |                 |                 |                 |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 206/ASTM C 127                                     |                 |                 |                 |
| Descripción                                                            | Muestras        |                 |                 |
| Tamaño máximo de la muestra                                            | 1/2"            |                 |                 |
| Tipo de frasco utilizado                                               | Probeta         |                 |                 |
|                                                                        | Muestra<br>Nº 1 | Muestra<br>Nº 2 | Muestra<br>Nº 3 |
| (C) Volumen inicial de probeta (ml)                                    | 500.00          | 500.00          | 500.00          |
| (B) Volumen final de probeta (ml)                                      | 657.00          | 656.00          | 658.00          |
| (D) Volumen del agua desplazado (ml) (B)-(C)                           | 157.00          | 156.00          | 158.00          |
| (A) Peso del material superficialmente seca en aire (gr)               | 400.00          | 400.00          | 400.00          |
| (E) Peso del material secado en horno + Peso Recipiente (gr)           | 468.08          | 457.76          | 464.12          |
| (F) Peso Recipiente (gr)                                               | 77.66           | 66.86           | 70.32           |
| (G) Peso del material secado en horno (gr) (E)-(F)                     | 390.42          | 390.90          | 393.80          |
| (Pem) Peso específico de masa promedio (gr/cm <sup>3</sup> ) (A) / (D) | 2.55            | 2.56            | 2.53            |



|                                                        |      |
|--------------------------------------------------------|------|
| Peso Especifico de Masa Promedio (gr/cm <sup>3</sup> ) | 2.55 |
|--------------------------------------------------------|------|

Anexo D6 Absorción del agregado grueso  
Fuente: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

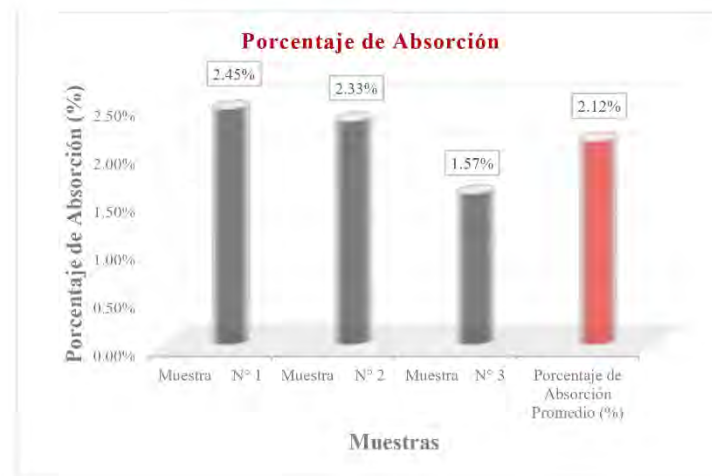
**Cantera:** Rio Apurímac (Espinar) **Fecha:** viernes, 16 de Junio de 2023

**Agregado:** Grueso

**ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO**

CLASIFICACIÓN MTC E 206/ASTM C 127

| Descripción                                              | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |
|----------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| (B) Peso del material superficialmente seca en aire (gr) | 400.00       | 400.00       | 400.00       |
| (A) Peso del material secado en horno (gr)               | 390.42       | 390.90       | 393.80       |
| (C)Peso del agua absorbida (gr) (B)-(A)                  | 9.58         | 9.10         | 6.20         |
| Porcentaje de Absorción (%) (C)x100/(A)                  | 2.45%        | 2.33%        | 1.57%        |



|                                      |       |
|--------------------------------------|-------|
| Porcentaje de Absorción Promedio (%) | 2.12% |
|--------------------------------------|-------|

Anexo D7 Contenido de humedad del agregado grueso  
Fuente: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

**Cantera:** Rio Apurímac (Espinar) **Fecha:** martes, 6 de Junio de 2023

**Agregado:** Grueso

| CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO           |         |              |              |              |
|----------------------------------------------------|---------|--------------|--------------|--------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 108/ASTM D 2216                |         |              |              |              |
| Descripción                                        |         | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |
| (A) Peso del frasco + Peso la muestra húmeda (gr)  |         | 89.95        | 89.76        | 92.73        |
| (B) Peso del frasco + Peso de la muestra seca (gr) |         | 88.98        | 89.03        | 91.92        |
| (Pa) Peso del agua (gr)                            | (1)-(2) | 0.97         | 0.73         | 0.81         |
| (Pf) Peso del frasco (gr)                          |         | 21.35        | 21.54        | 21.64        |
| (Pms) Peso de la muestra seca (gr)                 | (2)-(4) | 67.63        | 67.49        | 70.28        |
| (W) Contenido de humedad (%)                       | (3)/(5) | 1.43%        | 1.08%        | 1.15%        |



|                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| Contenido de Humedad Promedio (%) | 1.22% |
|-----------------------------------|-------|

Anexo D8 Abrasión de los ángeles del agregado grueso  
Fuente: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

**Cantera:** Rio Apurímac (Espinar) **Fecha:** martes, 6 de Junio de 2023

**Agregado:** Grueso

**ABRASIÓN DE LOS ANGELES DEL AGREGADO GRUESO**

CLASIFICACIÓN MTC E 207/ASTM C 117

| Descripción                                                              | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |
|--------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| (Pi) Peso del material secon antes del ensayo(gr)                        | 5000.00      | 5000.00      | 5000.00      |
| (A) Peso del material seco despues del ensayo + Peso del recipiente (gr) | 4011.06      | 4095.77      | 4180.91      |
| (B) Peso del recipiente (gr)                                             | 402.47       | 402.47       | 402.47       |
| (Pf) Peso del material despues del ensayo(gr) (2)-(3)                    | 3608.59      | 3693.30      | 3778.44      |
| (Pr) Peso del residuo filtrado seco (gr) (1)-(4)                         | 1391.41      | 1306.70      | 1221.56      |
| (D) Porcentaje de desgaste(%) (5)/(1)                                    | 27.83%       | 26.13%       | 24.43%       |



Porcentaje de Desgaste Promedio (%)

26.13%

Anexo D9 Método gráfico de la combinación del agregado fino + relave minero  
Fuente: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

**Cantera:** Río Apurímac (Espinar) **Fecha:** miércoles, 25 de Enero de 2023

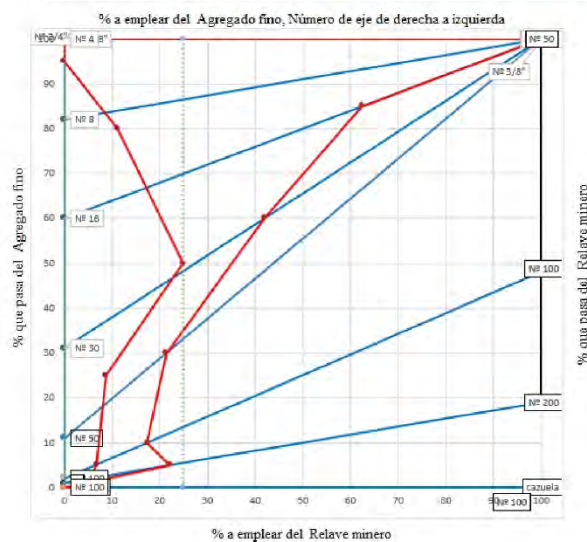
**Agregado:** Agregado Fino + Relave minero

**GRADUACIÓN DE LOS MATERIALES DISPONIBLES**

MÉTODO GRÁFICO

**Tipo de material** Agregado fino + Relave minero

| Tamices ASTM | Abertura (mm) | Porcentaje que pasa Mayores % / Menores % |                                        | Limite inferior | Limite Superior |
|--------------|---------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------|-----------------|
|              |               | % Acumulado que pasa del agregado fino    | % Acumulado que pasa del relave minero |                 |                 |
| 3/8"         | 9.5           | 100%                                      | 100%                                   | 100%            | 100%            |
| No. 4        | 4.75          | 100%                                      | 100%                                   | 95%             | 100%            |
| No. 8        | 2.36          | 82%                                       | 100%                                   | 80%             | 100%            |
| No. 16       | 1.18          | 60%                                       | 100%                                   | 50%             | 85%             |
| No. 30       | 0.600         | 31%                                       | 100%                                   | 25%             | 60%             |
| No. 50       | 0.300         | 11%                                       | 100%                                   | 5%              | 30%             |
| No. 100      | 0.150         | 2%                                        | 48%                                    | 0%              | 10%             |
| No. 200      | 0.075         | 1%                                        | 19%                                    | 0%              | 5%              |
| > No. 200    |               | 0%                                        | 0%                                     |                 |                 |



**% para la mezcla de los materiales**

| Agregado fino | Relave minero |
|---------------|---------------|
| 100 - 75      | 25 - 0        |

Anexo D10 Análisis granulométrico del agregado fino  
Fuente: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

**Cantera:** Río Apurímac (Espinar) **Fecha:** jueves, 1 de Junio de 2023

**Agregado:** Fino

**ANALISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO**

CLASIFICACIÓN MTC E 204/ASTM C 136

**Tipo de material** Agregado fino

**Peso inicial seco (gr)** 2000.00 grs

| Tamices ASTM | Abertura (mm) | Peso Retenido (gr) | % Retenido Parcial | % Retenido Acumulado | % Acumulado Que Pasa | Limite inferior | Limite Superior |
|--------------|---------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|-----------------|-----------------|
| 3/8"         | 9.5           | 0.00               | 0.00%              | 0.00%                | 100%                 | 100%            | 100%            |
| No. 4        | 4.75          | 1.38               | 0.07%              | 0.07%                | 100%                 | 95%             | 100%            |
| No. 8        | 2.36          | 366.49             | 18.32%             | 18.39%               | 82%                  | 80%             | 100%            |
| No. 16       | 1.18          | 438.10             | 21.91%             | 40.30%               | 60%                  | 50%             | 85%             |
| No. 30       | 0.600         | 575.19             | 28.76%             | 69.06%               | 31%                  | 25%             | 60%             |
| No. 50       | 0.300         | 390.42             | 19.52%             | 88.58%               | 11%                  | 5%              | 30%             |
| No. 100      | 0.150         | 188.02             | 9.40%              | 97.98%               | 2%                   | 0%              | 10%             |
| No. 200      | 0.075         | 29.84              | 1.49%              | 99.47%               | 1%                   | 0%              | 5%              |
| > No. 200    |               | 10.56              | 0.53%              | 100.00%              | 0%                   |                 |                 |
| <b>TOTAL</b> |               | <b>2000.00</b>     | <b>100.00%</b>     |                      |                      |                 |                 |



$$MF = \frac{\sum \% \text{ retenido acumulado } (6''+3''+1\frac{1}{2}'' + 3/4''+3/8''+N^{\circ}4+N^{\circ}8+N^{\circ}16+N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

2.35<MF<3.15

MF

3.14

Anexo D11 Cantidad de material fino que pasa el tamiz N° 200 del agregado fino  
Fuente: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

**Cantera:** Río Apurímac (Espinar) **Fecha:** lunes, 5 de Junio de 2023

**Agregado:** Fino

#### CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ N° 200

CLASIFICACIÓN MTC E 202/ASTM C 117

| Descripción                                                            | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |
|------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| (A) Peso del material seco antes del lavado(gr)                        | 500          | 500          | 500.00       |
| (B) Peso de recipiente(gr)                                             | 74.59        | 69.36        | 66.46        |
| (C) Peso del material seco despues del lavado+ Peso de recipiente (gr) | 572.74       | 566.35       | 563.39       |
| (D) Peso del material seco despues del lavado (gr)                     | 498.15       | 496.99       | 496.93       |
| (E) Peso del residuo filtrado seco (gr) (A)-(D)                        | 1.85         | 3.01         | 3.07         |
| (F) Porcentaje de Mat. que pasa el tamiz N° 200 (%) (E)/(A)            | 0.37%        | 0.60%        | 0.61%        |



|                                                          |       |
|----------------------------------------------------------|-------|
| Porcentaje de Mat. que pasa el tamiz N° 200 Promedio (%) | 0.53% |
|----------------------------------------------------------|-------|

Anexo D12 Peso unitario suelto del agregado fino  
Fuente: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

**Cantera:** Rio Apurímac (Espinar) **Fecha:** viernes, 2 de Junio de 2023

**Agregado:** Fino

| PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO                 |              |              |              |  |
|--------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--|
| CLASIFICACIÓN MTC E 203/ASTM C 29                      |              |              |              |  |
| Descripción                                            | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |  |
| (A) Peso del material + Peso del molde (gr)            | 5760.00      | 5760.00      | 5765.00      |  |
| (B) Peso del molde (gr)                                | 4250.00      | 4250.00      | 4250.00      |  |
| (C) Peso del material (gr) (A)-(B)                     | 1510.00      | 1510.00      | 1515.00      |  |
| (D) Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )               | 937.39       | 937.39       | 937.39       |  |
| (E) Peso unitario suelto (gr/cm <sup>3</sup> ) (C)/(D) | 1.611        | 1.611        | 1.616        |  |



|                                                     |       |
|-----------------------------------------------------|-------|
| Peso Unitario Suelto Promedio (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.613 |
|-----------------------------------------------------|-------|

Anexo D13 Peso unitario compactado del agregado fino  
Fuente: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

**Cantera:** Río Apurímac (Espinar) **Fecha:** viernes, 2 de Junio de 2023

**Agregado:** Fino

| PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO                 |              |              |              |
|------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 203/ASTM C 29                          |              |              |              |
| Descripción                                                | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |
| Número de capas                                            | 3            | 3            | 3            |
| Número de golpes                                           | 25           | 25           | 25           |
| (A) Peso del material + Peso del molde (gr)                | 5850.00      | 5860.00      | 5841.00      |
| (B) Peso del molde (gr)                                    | 4250.00      | 4250.00      | 4250.00      |
| (C) Peso del material (gr) (A)-(B)                         | 1600.00      | 1610.00      | 1591.00      |
| (D) Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )                   | 937.39       | 937.39       | 937.39       |
| (E) Peso unitario compactado (gr/cm <sup>3</sup> ) (C)/(D) | 1.707        | 1.718        | 1.697        |



|                                                         |       |
|---------------------------------------------------------|-------|
| Peso Unitario Compactado Promedio (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.707 |
|---------------------------------------------------------|-------|

Anexo D14 Gravedad específica del agregado fino  
Fuente: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

**Cantera:** Río Apurímac (Espinar) **Fecha:** viernes, 16 de Junio de 2023

**Agregado:** Fino

| PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO                                                      |              |              |              |
|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 205/ASTM C 128                                                     |              |              |              |
| Descripción                                                                            | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |
| Tipo de frasco utilizado                                                               | Picnómetro   |              |              |
| (A) Vol. Picnómetro (ml)                                                               | 500.00       | 500.00       | 500.00       |
| (B) Peso de la muestra seca en el horno + Peso recipiente (g)                          | 566.48       | 559.04       | 556.38       |
| (C) Peso recipiente (gr)                                                               | 74.69        | 69.36        | 66.46        |
| (D) Peso de la muestra seca en el horno (gr) (B)-(C)                                   | 491.79       | 489.68       | 489.92       |
| (E) Peso del picnómetro + agua hasta la marca (gr)                                     | 638.57       | 639.34       | 638.58       |
| (F) Peso del picnómetro con agua +Peso de la muestra saturada con superficie seca (gr) | 944.50       | 943.72       | 944.81       |
| (G) Peso de la muestra saturada con superficie seca (gr)                               | 500.00       | 500.00       | 500.00       |
| (H) Densidad relativa (Gravedad específica OD) (D)/(E+G-F)                             | 2.53         | 2.50         | 2.53         |
| (I) Densidad relativa (Gravedad específica SSD) (G)/(E+G-F)                            | 2.58         | 2.56         | 2.58         |
| (J) Densidad relativa aparente (Gravedad específica) (D)/(E+D-F)                       | 2.65         | 2.64         | 2.67         |



|                                                    |      |
|----------------------------------------------------|------|
| Gravedad Especifica Promedio (gr/cm <sup>3</sup> ) | 2.57 |
|----------------------------------------------------|------|

Anexo D15 Absorción del agregado fino  
Fuente: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

**Cantera:** Rio Apurímac (Espinar) **Fecha:** viernes, 16 de Junio de 2023

**Agregado:** Fino

| ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO                              |                 |                 |                 |  |
|----------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|--|
| CLASIFICACIÓN MTC E 205/ASTM C 128                       |                 |                 |                 |  |
| Descripción                                              | Muestra<br>Nº 1 | Muestra<br>Nº 2 | Muestra<br>Nº 3 |  |
| (D) Peso de la muestra seca en el horno (gr)             | 491.79          | 489.68          | 489.92          |  |
| (G) Peso de la muestra saturada con superficie seca (gr) | 500.00          | 500.00          | 500.00          |  |
| (K) Peso del agua absorbida (gr) (G)-(D)                 | 8.21            | 10.32           | 10.08           |  |
| (Ab) Porcentaje de Absorción (%) (K)x100/(D)             | 1.67%           | 2.11%           | 2.06%           |  |



|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| Porcentaje de Absorción Promedio | 1.89% |
|----------------------------------|-------|

Anexo D16 Contenido de humedad del agregado fino  
Fuente: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

**Cantera:** Río Apurímac (Espinar) **Fecha:** lunes, 5 de Junio de 2023

**Agregado:** Fino

| CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO               |              |              |              |  |
|------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--|
| CLASIFICACIÓN MTC E 108/ASTM D 2216                  |              |              |              |  |
| Descripción                                          | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |  |
| (A) Peso del frasco + Peso de la muestra húmeda (gr) | 90.49        | 90.32        | 90.3         |  |
| (B) Peso del frasco + Peso de la muestra seca (gr)   | 89.61        | 89.38        | 89.63        |  |
| (Pa) Peso del agua (gr) (A)-(B)                      | 0.88         | 0.94         | 0.67         |  |
| (Pf) Peso del frasco (gr)                            | 21.65        | 21.56        | 21.47        |  |
| (Pms) Peso de la muestra seca (gr) (B)-(Pf)          | 67.96        | 67.82        | 68.16        |  |
| <b>(W) Contenido de Humedad (%)</b> (Pa)/(Pms)       | <b>1.29%</b> | <b>1.39%</b> | <b>0.98%</b> |  |



|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| Contenido de Humedad Promedio | 1.22% |
|-------------------------------|-------|

Anexo D17 Análisis granulométrico del agregado fino + 5% relave  
Fuente: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

**Cantera:** Rio Apurímac (Espinar) **Fecha:** jueves, 11 de Enero de 2024

**Agregado:** fino + 5% de adición de relave minero en peso de material cementante

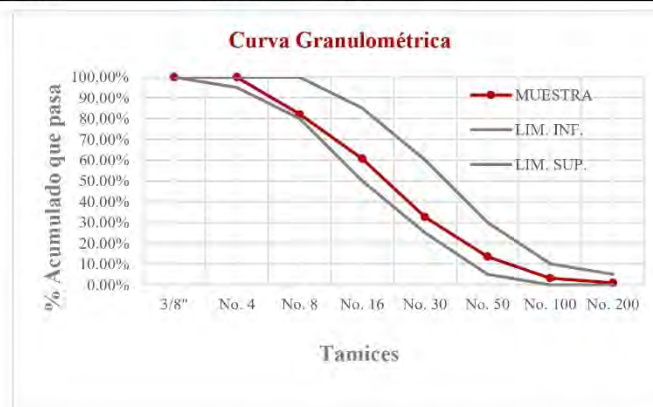
**ANALISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO +5% RELAVE**

CLASIFICACIÓN MTC E 204/ASTM C 136

**Tipo de material** Agregado fino + 5% de Adicion de relave minero

**Peso inicial seco (gr)** 2000.00 grs

| Tamices ASTM | Abertura (mm) | Peso Retenido (gr) | % Retenido Parcial | % Retenido Acumulado | % Acumulado Que Pasa | Limite inferior | Limite Superior |
|--------------|---------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|-----------------|-----------------|
| 3/8"         | 9.5           | 0.00               | 0.00%              | 0.00%                | 100%                 | 100%            | 100%            |
| No. 4        | 4.75          | 1.35               | 0.07%              | 0.07%                | 100%                 | 95%             | 100%            |
| No. 8        | 2.36          | 357.80             | 17.89%             | 17.96%               | 82%                  | 80%             | 100%            |
| No. 16       | 1.18          | 427.72             | 21.39%             | 39.34%               | 61%                  | 50%             | 85%             |
| No. 30       | 0.600         | 561.56             | 28.08%             | 67.42%               | 33%                  | 25%             | 60%             |
| No. 50       | 0.300         | 381.17             | 19.06%             | 86.48%               | 14%                  | 5%              | 30%             |
| No. 100      | 0.150         | 208.25             | 10.41%             | 96.89%               | 3%                   | 0%              | 10%             |
| No. 200      | 0.075         | 43.05              | 2.15%              | 99.04%               | 1%                   | 0%              | 5%              |
| > No. 200    |               | 19.10              | 0.96%              | 100.00%              | 0%                   |                 |                 |
| <b>TOTAL</b> |               | 2000.00            | 100.00%            |                      |                      |                 |                 |



$$MF = \frac{\sum \% \text{ retenido acumulado } (6''+3''+1\frac{1}{2}'' + 3/4''+3/8''+N^{\circ}4+N^{\circ}8+N^{\circ}16+N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

2.35<MF<3.15

MF

3.08

Anexo D18 Cantidad de material fino que pasa el tamiz N° 200 del agregado fino +5% relave  
Fuente: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

**Cantera:** Rio Apurímac (Espinar) **Fecha:** jueves, 11 de Enero de 2024

**Agregado:** fino + 5% de adición de relave minero en peso de material cementante

#### CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ N° 200

CLASIFICACIÓN MTC E 202/ASTM C 117

| Descripción                                                            | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |
|------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| (A) Peso del material seco antes del lavado(gr)                        | 500.39       | 500.58       | 500.00       |
| (B) Peso de recipiente(gr)                                             | 67.32        | 77.1         | 67.21        |
| (C) Peso del material seco despues del lavado+ Peso de recipiente (gr) | 556.64       | 566.92       | 556.34       |
| (D) Peso del material seco despues del lavado (gr)                     | 489.32       | 489.82       | 489.13       |
| (E) Peso del residuo filtrado seco (gr) (A)-(D)                        | 11.07        | 10.76        | 10.87        |
| (F) Porcentaje de Mat. que pasa el tamiz N° 200 (%) (E)/(A)            | 2.21%        | 2.15%        | 2.17%        |



|                                                                 |              |
|-----------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>Porcentaje de Mat. que pasa el tamiz N° 200 Promedio (%)</b> | <b>2.18%</b> |
|-----------------------------------------------------------------|--------------|

Anexo D19 Peso unitario suelto del agregado fino +5% relave  
Fuente: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

**Cantera:** Rio Apurímac (Espinar) **Fecha:** viernes, 12 de Enero de 2024

**Agregado:** fino + 5% de adición de relave minero en peso de material cementante

| PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO +5% RELAVE      |                 |                 |                 |  |
|--------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|--|
| CLASIFICACIÓN MTC E 203/ASTM C 29                      |                 |                 |                 |  |
| Descripción                                            | Muestra<br>N° 1 | Muestra<br>N° 2 | Muestra<br>N° 3 |  |
| (A) Peso del material + Peso del molde (gr)            | 5737.00         | 5762.00         | 5743.00         |  |
| (B) Peso del molde (gr)                                | 4236.60         | 4236.60         | 4236.60         |  |
| (C) Peso del material (gr) (A)-(B)                     | 1500.40         | 1525.40         | 1506.40         |  |
| (D) Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )               | 918.92          | 918.92          | 918.92          |  |
| (E) Peso unitario suelto (gr/cm <sup>3</sup> ) (C)/(D) | 1.633           | 1.660           | 1.639           |  |



|                                                     |       |
|-----------------------------------------------------|-------|
| Peso Unitario Suelto Promedio (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.644 |
|-----------------------------------------------------|-------|

Anexo D20 Peso unitario compactado del agregado fino +5% relave  
Fuente: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

**Cantera:** Río Apurímac (Espinar) **Fecha:** viernes, 12 de Enero de 2024

**Agregado:** fino + 5% de adición de relave minero en peso de material cementante

| PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO +5% RELAVE      |              |              |              |
|------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 203/ASTM C 29                          |              |              |              |
| Descripción                                                | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |
| Número de capas                                            | 3            | 3            | 3            |
| Número de golpes                                           | 25           | 25           | 25           |
| (A) Peso del material + Peso del molde (gr)                | 5835.00      | 5850.00      | 5865.00      |
| (B) Peso del molde (gr)                                    | 4236.60      | 4236.60      | 4236.60      |
| (C) Peso del material (gr) (A)-(B)                         | 1598.40      | 1613.40      | 1628.40      |
| (D) Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )                   | 918.92       | 918.92       | 918.92       |
| (E) Peso unitario compactado (gr/cm <sup>3</sup> ) (C)/(D) | 1.739        | 1.756        | 1.772        |



|                                                         |       |
|---------------------------------------------------------|-------|
| Peso Unitario Compactado Promedio (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.756 |
|---------------------------------------------------------|-------|

Anexo D21 Gravedad específica del agregado fino +5% relave  
Fuente: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

**Cantera:** Río Apurímac (Espinar) **Fecha:** viernes, 12 de Enero de 2024

**Agregado:** fino + 5% de adición de relave minero en peso de material cementante

**PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO +5% RELAVE**

CLASIFICACIÓN MTC E 205/ASTM C 128

| Descripción                                                                            | Muestra<br>Nº 1 | Muestra<br>Nº 2 | Muestra<br>Nº 3 |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Tipo de frasco utilizado                                                               | Picnómetro      |                 |                 |
| (A) Vol. Picnómetro (ml)                                                               | 500.00          | 500.00          | 500.00          |
| (B) Peso de la muestra seca en el horno + Peso recipiente (g)                          | 539.76          | 544.94          | 539.58          |
| (C) Peso recipiente (gr)                                                               | 67.32           | 69.36           | 66.46           |
| (D) Peso de la muestra seca en el horno (gr) (B)-(C)                                   | 472.44          | 475.58          | 473.12          |
| (E) Peso del picnómetro + agua hasta la marca (gr)                                     | 675.91          | 675.91          | 675.91          |
| (F) Peso del picnómetro con agua +Peso de la muestra saturada con superficie seca (gr) | 972.31          | 974.52          | 974.78          |
| (G) Peso de la muestra saturada con superficie seca (gr)                               | 500.00          | 500.00          | 500.00          |
| (H) Densidad relativa (Gravedad específica OD) (D)/(E+G-F)                             | 2.32            | 2.36            | 2.35            |
| (I) Densidad relativa (Gravedad específica SSD) (G)/(E+G-F)                            | 2.46            | 2.48            | 2.49            |
| (J) Densidad relativa aparente (Gravedad específica) (D)/(E+D-F)                       | 2.68            | 2.69            | 2.72            |



**Gravedad Específica Promedio (gr/cm<sup>3</sup>)**

**2.47**

Anexo D22 Absorción del agregado fino +5% relave  
Fuente: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

**Cantera:** Rio Apurimac (Espinar) **Fecha:** viernes, 16 de Junio de 2023

**Agregado:** fino + 5% de adición de relave minero en peso de material cementante

| ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO +5% RELAVE                   |              |              |              |  |
|----------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--|
| CLASIFICACIÓN MTC E 205/ASTM C 128                       |              |              |              |  |
| Descripción                                              | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |  |
| (D) Peso de la muestra seca en el horno (gr)             | 472.44       | 475.58       | 473.12       |  |
| (G) Peso de la muestra saturada con superficie seca (gr) | 500.00       | 500.00       | 500.00       |  |
| (K) Peso del agua absorbida (gr) (G)-(D)                 | 27.56        | 24.42        | 26.88        |  |
| (Ab) Porcentaje de Absorción (%) (K)x100/(D)             | 5.83%        | 5.13%        | 5.68%        |  |



|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| Porcentaje de Absorción Promedio | 5.48% |
|----------------------------------|-------|

Anexo D23 Contenido de humedad del agregado fino +5% relave  
Fuente: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

**Cantera:** Rio Apurímac (Espinar) **Fecha:** jueves, 11 de Enero de 2024

**Agregado:** fino + 5% de adición de relave minero en peso de material cementante

| CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO +5% RELAVE    |                   |              |              |              |
|------------------------------------------------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 108/ASTM D 2216                  |                   |              |              |              |
| Descripción                                          |                   | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |
| (A) Peso del frasco + Peso de la muestra húmeda (gr) |                   | 152.83       | 163.45       | 161.4        |
| (B) Peso del frasco + Peso de la muestra seca (gr)   |                   | 151.99       | 162.53       | 160.55       |
| (Pa) Peso del agua (gr)                              | (A)-(B)           | 0.84         | 0.92         | 0.85         |
| (Pf) Peso del frasco (gr)                            |                   | 51.76        | 59.2         | 57.92        |
| (Pms) Peso de la muestra seca (gr)                   | (B)-(Pf)          | 100.23       | 103.33       | 102.63       |
| <b>(W) Contenido de Humedad (%)</b>                  | <b>(Pa)/(Pms)</b> | <b>0.84%</b> | <b>0.89%</b> | <b>0.83%</b> |



|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| Contenido de Humedad Promedio | 0.85% |
|-------------------------------|-------|

Anexo D24 Análisis granulométrico del agregado fino + 10% relave  
Fuente: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

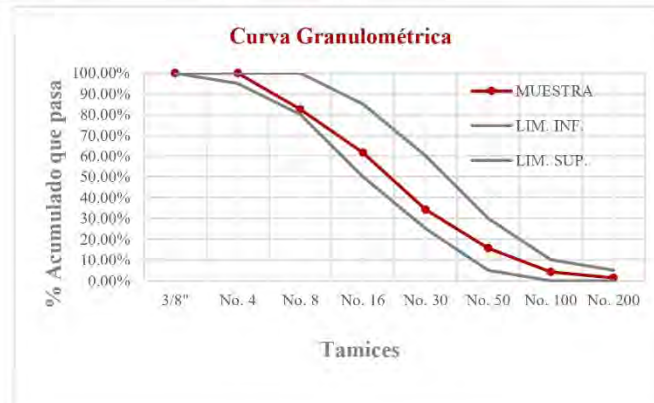
**Cantera:** Río Apurímac (Espinar) **Fecha:** jueves, 11 de Enero de 2024

**Agregado:** fino + 10% de adición de relave minero en peso de material cementante

**ANALISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO + 10% RELAVE**

CLASIFICACIÓN MTC E 204/ASTM C 136

| <b>Tipo de material</b>       | Agregado fino |                    |                    |                      |                      |                 |                 |
|-------------------------------|---------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|-----------------|-----------------|
| <b>Peso inicial seco (gr)</b> | 2000.00 grs   |                    |                    |                      |                      |                 |                 |
| Tamices ASTM                  | Abertura (mm) | Peso Retenido (gr) | % Retenido Parcial | % Retenido Acumulado | % Acumulado Que Pasa | Limite inferior | Limite Superior |
| 3/8"                          | 9.5           | 0.00               | 0.00%              | 0.00%                | 100%                 | 100%            | 100%            |
| No. 4                         | 4.75          | 1.31               | 0.07%              | 0.07%                | 100%                 | 95%             | 100%            |
| No. 8                         | 2.36          | 349.08             | 17.45%             | 17.52%               | 82%                  | 80%             | 100%            |
| No. 16                        | 1.18          | 417.29             | 20.86%             | 38.38%               | 62%                  | 50%             | 85%             |
| No. 30                        | 0.600         | 547.87             | 27.39%             | 65.78%               | 34%                  | 25%             | 60%             |
| No. 50                        | 0.300         | 371.88             | 18.59%             | 84.37%               | 16%                  | 5%              | 30%             |
| No. 100                       | 0.150         | 228.57             | 11.43%             | 95.80%               | 4%                   | 0%              | 10%             |
| No. 200                       | 0.075         | 56.32              | 2.82%              | 98.62%               | 1%                   | 0%              | 5%              |
| > No. 200                     |               | 27.68              | 1.38%              | 100.00%              | 0%                   |                 |                 |
| <b>TOTAL</b>                  |               | 2000.00            | 100.00%            |                      |                      |                 |                 |



$$MF = \frac{\sum \% \text{ retenido acumulado } (6''+3''+\frac{1}{2}'' + 3/4''+3/8''+N^{\circ}4+N^{\circ}8+N^{\circ}16+N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

2.35 < MF < 3.15

MF

3.02

Anexo D25 Cantidad de material fino que pasa el tamiz N° 200 del agregado fino + 10% relave  
Fuente: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f_c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

**Cantera:** Rio Apurímac (Espinar) **Fecha:** jueves, 11 de Enero de 2024

**Agregado:** fino+10% de adición de relave minero en peso de material cementante

#### CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ N° 200

CLASIFICACIÓN MTC E 202/ASTM C 117

| Descripción                                                            |         | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |
|------------------------------------------------------------------------|---------|--------------|--------------|--------------|
| (A) Peso del material seco antes del lavado(gr)                        |         | 500.14       | 500.15       | 500.00       |
| (B) Peso de recipiente(gr)                                             |         | 67.21        | 49.99        | 66.46        |
| (C) Peso del material seco despues del lavado+ Peso de recipiente (gr) |         | 553.98       | 537.10       | 553.25       |
| (D) Peso del material seco despues del lavado (gr)                     |         | 486.77       | 487.11       | 486.79       |
| (E) Peso del residuo filtrado seco (gr)                                | (A)-(D) | 13.37        | 13.04        | 13.21        |
| (F) Porcentaje de Mat. que pasa el tamiz N° 200 (%)                    | (E)/(A) | 2.67%        | 2.61%        | 2.64%        |



|                                                          |       |
|----------------------------------------------------------|-------|
| Porcentaje de Mat. que pasa el tamiz N° 200 Promedio (%) | 2.64% |
|----------------------------------------------------------|-------|

Anexo D26 Peso unitario suelto del agregado fino + 10% relave  
Fuente: Elaboración Propia



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

**Cantera:** Río Apurímac (Espinar) **Fecha:** viernes, 12 de Enero de 2024

**Agregado:** fino+10% de adición de relave minero en peso de material cementante

| <b>PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO + 10% RELAVE</b>  |                 |                 |                 |  |
|-------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|--|
| CLASIFICACIÓN MTC E 203/ASTM C 29                           |                 |                 |                 |  |
| Descripción                                                 | Muestra<br>Nº 1 | Muestra<br>Nº 2 | Muestra<br>Nº 3 |  |
| (A) Peso del material + Peso del molde (gr)                 | 5756.00         | 5765.00         | 5758.00         |  |
| (B) Peso del molde (gr)                                     | 4236.60         | 4236.60         | 4236.60         |  |
| (C) Peso del material (gr) (A)-(B)                          | 1519.40         | 1528.40         | 1521.40         |  |
| (D) Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )                    | 918.92          | 918.92          | 918.92          |  |
| (E) <b>Peso unitario suelto (gr/cm<sup>3</sup>)</b> (C)/(D) | <b>1.653</b>    | <b>1.663</b>    | <b>1.656</b>    |  |



|                                                          |              |
|----------------------------------------------------------|--------------|
| <b>Peso Unitario Suelto Promedio (gr/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>1.657</b> |
|----------------------------------------------------------|--------------|

Anexo D27 Peso compactado del agregado fino + 10% relave  
Fuente: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

**Cantera:** Río Apurímac (Espinar) **Fecha:** viernes, 12 de Enero de 2024

**Agregado:** fino+10% de adición de relave minero en peso de material cementante

| PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO + 10% RELAVE    |              |              |              |
|------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 203/ASTM C 29                          |              |              |              |
| Descripción                                                | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |
| Número de capas                                            | 3            | 3            | 3            |
| Número de golpes                                           | 25           | 25           | 25           |
| (A) Peso del material + Peso del molde (gr)                | 5874.00      | 5855.00      | 5873.00      |
| (B) Peso del molde (gr)                                    | 4236.60      | 4236.60      | 4236.60      |
| (C) Peso del material (gr) (A)-(B)                         | 1637.40      | 1618.40      | 1636.40      |
| (D) Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )                   | 918.92       | 918.92       | 918.92       |
| (E) Peso unitario compactado (gr/cm <sup>3</sup> ) (C)/(D) | 1.782        | 1.761        | 1.781        |



|                                                         |       |
|---------------------------------------------------------|-------|
| Peso Unitario Compactado Promedio (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.775 |
|---------------------------------------------------------|-------|

Anexo D28 Gravedad específica del agregado fino + 10% relave  
Fuente: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

**Cantera:** Rio Apurímac (Espinar) **Fecha:** viernes, 12 de Enero de 2024

**Agregado:** fino+10% de adición de relave minero en peso de material cementante

**PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO + 10% RELAVE**

CLASIFICACIÓN MTC E 205/ASTM C 128

| Descripción                                                                            | Muestra<br>N° 1 | Muestra<br>N° 2 | Muestra<br>N° 3 |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Tipo de frasco utilizado                                                               | Picnómetro      |                 |                 |
| (A) Vol. Picnómetro (ml)                                                               | 500.00          | 500.00          | 500.00          |
| (B) Peso de la muestra seca en el horno + Peso recipiente (g)                          | 521.52          | 542.12          | 538.38          |
| (C) Peso recipiente (gr)                                                               | 49.99           | 69.36           | 66.46           |
| (D) Peso de la muestra seca en el horno (gr) (B)-(C)                                   | 471.53          | 472.76          | 471.92          |
| (E) Peso del picnómetro + agua hasta la marca (gr)                                     | 675.91          | 675.91          | 675.91          |
| (F) Peso del picnómetro con agua +Peso de la muestra saturada con superficie seca (gr) | 971.25          | 973.16          | 971.81          |
| (G) Peso de la muestra saturada con superficie seca (gr)                               | 500.00          | 500.00          | 500.00          |
| (H) Densidad relativa (Gravedad específica OD) (D)/(E+G-F)                             | 2.30            | 2.33            | 2.31            |
| (I) Densidad relativa (Gravedad específica SSD) (G)/(E+G-F)                            | 2.44            | 2.47            | 2.45            |
| (J) Densidad relativa aparente (Gravedad específica) (D)/(E+D-F)                       | 2.68            | 2.69            | 2.68            |



**Gravedad Especifica Promedio (gr/cm<sup>3</sup>)**

**2.45**

Anexo D29 Absorción del agregado fino + 10% relave  
Fuente: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

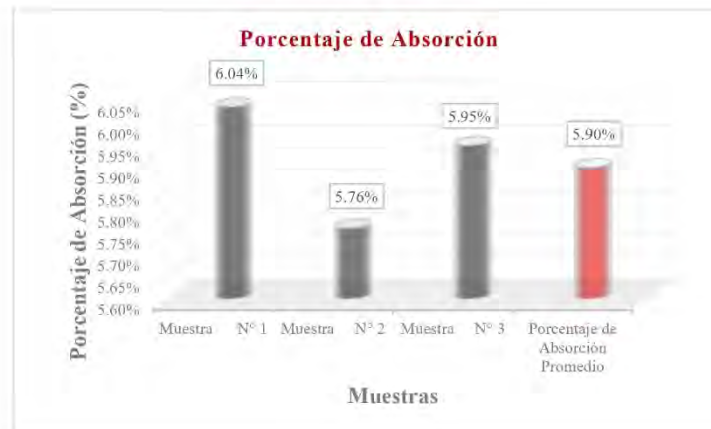
**Cantera:** Río Apurímac (Espinar) **Fecha:** viernes, 16 de Junio de 2023

**Agregado:** fino+10% de adición de relave minero en peso de material cementante

**ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO + 10% RELAVE**

CLASIFICACIÓN MTC E 205/ASTM C 128

| Descripción                                              | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |
|----------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| (D) Peso de la muestra seca en el horno (gr)             | 471.53       | 472.76       | 471.92       |
| (G) Peso de la muestra saturada con superficie seca (gr) | 500.00       | 500.00       | 500.00       |
| (K) Peso del agua absorbida (gr) (G)-(D)                 | 28.47        | 27.24        | 28.08        |
| (Ab) Porcentaje de Absorción (%) (K)x100/(D)             | 6.04%        | 5.76%        | 5.95%        |



|                                         |              |
|-----------------------------------------|--------------|
| <b>Porcentaje de Absorción Promedio</b> | <b>5.90%</b> |
|-----------------------------------------|--------------|

Anexo D30 Contenido de humedad del agregado fino + 10% relave  
Fuente: Elaboración Propia



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

**Cantera:** Río Apurímac (Espinar) **Fecha:** jueves, 11 de Enero de 2024

**Agregado:** fino+10% de adición de relave minero en peso de material cementante

**CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO + 10% RELAVE**

CLASIFICACIÓN MTC E 108/ASTM D 2216

| Descripción                                          | Muestra<br>N° 1 | Muestra<br>N° 2 | Muestra<br>N° 3 |
|------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| (A) Peso del frasco + Peso de la muestra húmeda (gr) | 169.97          | 174.67          | 160.78          |
| (B) Peso del frasco + Peso de la muestra seca (gr)   | 169.05          | 173.71          | 159.93          |
| (Pa) Peso del agua (gr) (A)-(B)                      | 0.92            | 0.96            | 0.85            |
| (Pf) Peso del frasco (gr)                            | 57.72           | 57.52           | 58.14           |
| (Pms) Peso de la muestra seca (gr) (B)-(Pf)          | 111.33          | 116.19          | 101.79          |
| <b>(W) Contenido de Humedad (%)</b> (Pa)/(Pms)       | <b>0.83%</b>    | <b>0.83%</b>    | <b>0.84%</b>    |



|                                      |              |
|--------------------------------------|--------------|
| <b>Contenido de Humedad Promedio</b> | <b>0.83%</b> |
|--------------------------------------|--------------|

Anexo D31 Análisis granulométrico del agregado fino + 15% relave  
Fuente: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

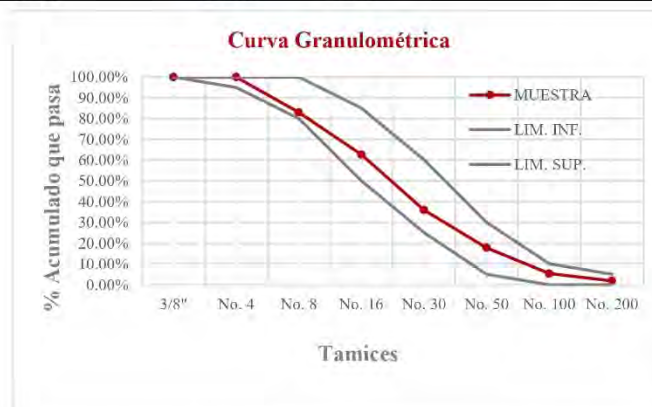
**Cantera:** Río Apurímac (Espinar) **Fecha:** jueves, 11 de Enero de 2024

**Agregado:** fino+15% de adición de relave minero en peso de material cementante

**ANALISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO + 15% RELAVE**

CLASIFICACIÓN MTC E 204/ASTM C 136

| <b>Tipo de material</b>       | Agregado fino |                    |                    |                      |                      |                 |                 |
|-------------------------------|---------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|-----------------|-----------------|
| <b>Peso inicial seco (gr)</b> | 2000.00 grs   |                    |                    |                      |                      |                 |                 |
| Tamices ASTM                  | Abertura (mm) | Peso Retenido (gr) | % Retenido Parcial | % Retenido Acumulado | % Acumulado Que Pasa | Limite inferior | Limite Superior |
| 3/8"                          | 9.5           | 0.00               | 0.00%              | 0.00%                | 100%                 | 100%            | 100%            |
| No. 4                         | 4.75          | 1.28               | 0.06%              | 0.06%                | 100%                 | 95%             | 100%            |
| No. 8                         | 2.36          | 340.25             | 17.01%             | 17.08%               | 83%                  | 80%             | 100%            |
| No. 16                        | 1.18          | 406.73             | 20.34%             | 37.41%               | 63%                  | 50%             | 85%             |
| No. 30                        | 0.600         | 534.01             | 26.70%             | 64.11%               | 36%                  | 25%             | 60%             |
| No. 50                        | 0.300         | 362.47             | 18.12%             | 82.24%               | 18%                  | 5%              | 30%             |
| No. 100                       | 0.150         | 249.14             | 12.46%             | 94.69%               | 5%                   | 0%              | 10%             |
| No. 200                       | 0.075         | 69.76              | 3.49%              | 98.18%               | 2%                   | 0%              | 5%              |
| > No. 200                     |               | 36.37              | 1.82%              | 100.00%              | 0%                   |                 |                 |
| <b>TOTAL</b>                  |               | 2000.00            | 100.00%            |                      |                      |                 |                 |



$$MF = \frac{\sum \% \text{ retenido acumulado } (6''+3''+1\frac{1}{2}'' + 3/4''+3/8''+N^{\circ}4+N^{\circ}8+N^{\circ}16+N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

2.35<MF<3.15

MF

2.96

Anexo D32 Cantidad de material fino que pasa el tamiz N° 200 del agregado fino + 15% relave  
Fuente: Elaboración Propia



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

**Cantera:** Río Apurímac (Espinar) **Fecha:** jueves, 11 de Enero de 2024

**Agregado:** fino+15% de adición de relave minero en peso de material cementante

**CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ N° 200**

CLASIFICACIÓN MTC E 202/ASTM C 117

| Descripción                                                            |         | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |
|------------------------------------------------------------------------|---------|--------------|--------------|--------------|
| (A) Peso del material seco antes del lavado(gr)                        |         | 500.14       | 500          | 500.00       |
| (B) Peso de recipiente(gr)                                             |         | 49.94        | 69.36        | 66.46        |
| (C) Peso del material seco despues del lavado+ Peso de recipiente (gr) |         | 529.97       | 549.17       | 546.60       |
| (D) Peso del material seco despues del lavado (gr)                     |         | 480.03       | 479.81       | 480.14       |
| (E) Peso del residuo filtrado seco (gr)                                | (A)-(D) | 20.11        | 20.19        | 19.86        |
| (F) Porcentaje de Mat. que pasa el tamiz N° 200 (%)                    | (E)/(A) | 4.02%        | 4.04%        | 3.97%        |



|                                                                 |              |
|-----------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>Porcentaje de Mat. que pasa el tamiz N° 200 Promedio (%)</b> | <b>4.01%</b> |
|-----------------------------------------------------------------|--------------|

Anexo D33 Peso unitario suelto del agregado fino + 15% relave  
Fuente: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f_c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

**Cantera:** Rio Apurímac (Espinar) **Fecha:** viernes, 12 de Enero de 2024

**Agregado:** fino+15% de adición de relave minero en peso de material cementante

| PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO + 15% RELAVE    |              |              |              |  |
|--------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--|
| CLASIFICACIÓN MTC E 203/ASTM C 29                      |              |              |              |  |
| Descripción                                            | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |  |
| (A) Peso del material + Peso del molde (gr)            | 5785.00      | 5782.00      | 5774.00      |  |
| (B) Peso del molde (gr)                                | 4236.60      | 4236.60      | 4236.60      |  |
| (C) Peso del material (gr) (A)-(B)                     | 1548.40      | 1545.40      | 1537.40      |  |
| (D) Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )               | 918.92       | 918.92       | 918.92       |  |
| (E) Peso unitario suelto (gr/cm <sup>3</sup> ) (C)/(D) | 1.685        | 1.682        | 1.673        |  |



|                                                     |       |
|-----------------------------------------------------|-------|
| Peso Unitario Suelto Promedio (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.680 |
|-----------------------------------------------------|-------|

Anexo D34 Peso compactado suelto del agregado fino + 15% relave  
Fuente: Elaboración Propia



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

**Cantera:** Rio Apurimac (Espinar) **Fecha:** viernes, 12 de Enero de 2024

**Agregado:** fino+15% de adición de relave minero en peso de material cementante

| <b>PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO + 15% RELAVE</b>         |              |              |              |
|------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| CLASIFICACIÓN MTC E 203/ASTM C 29                                      |              |              |              |
| Descripción                                                            | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |
| Número de capas                                                        | 3            | 3            | 3            |
| Número de golpes                                                       | 25           | 25           | 25           |
| (A) Peso del material + Peso del molde (gr)                            | 5880.00      | 5902.00      | 5915.00      |
| (B) Peso del molde (gr)                                                | 4236.60      | 4236.60      | 4236.60      |
| (C) Peso del material (gr) <b>(A)-(B)</b>                              | 1643.40      | 1665.40      | 1678.40      |
| (D) Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )                               | 918.92       | 918.92       | 918.92       |
| <b>(E) Peso unitario compactado (gr/cm<sup>3</sup>) <b>(C)/(D)</b></b> | <b>1.788</b> | <b>1.812</b> | <b>1.827</b> |



|                                                              |              |
|--------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>Peso Unitario Compactado Promedio (gr/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>1.809</b> |
|--------------------------------------------------------------|--------------|

Anexo D35 Gravedad específica del agregado fino + 15% relave  
Fuente: Elaboración Propia



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

**Cantera:** Río Apurímac (Espinar) **Fecha:** viernes, 12 de Enero de 2024

**Agregado:** fino+15% de adición de relave minero en peso de material cementante

**PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO + 15% RELAVE**

CLASIFICACIÓN MTC E 205/ASTM C 128

| Descripción                                                                            | Muestra<br>N° 1 | Muestra<br>N° 2 | Muestra<br>N° 3 |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Tipo de frasco utilizado                                                               | Picnómetro      |                 |                 |
| (A) Vol. Picnómetro (ml)                                                               | 500.00          | 500.00          | 500.00          |
| (B) Peso de la muestra seca en el horno + Peso recipiente (g)                          | 519.37          | 539.04          | 540.38          |
| (C) Peso recipiente (gr)                                                               | 49.94           | 69.36           | 66.46           |
| (D) Peso de la muestra seca en el horno (gr) (B)-(C)                                   | 469.43          | 469.68          | 473.92          |
| (E) Peso del picnómetro + agua hasta la marca (gr)                                     | 675.91          | 675.91          | 675.91          |
| (F) Peso del picnómetro con agua +Peso de la muestra saturada con superficie seca (gr) | 969.16          | 970.15          | 968.91          |
| (G) Peso de la muestra saturada con superficie seca (gr)                               | 500.00          | 500.00          | 500.00          |
| (H) Densidad relativa (Gravedad específica OD) (D)/(E+G-F)                             | 2.27            | 2.28            | 2.29            |
| (I) Densidad relativa (Gravedad específica SSD) (G)/(E+G-F)                            | 2.42            | 2.43            | 2.42            |
| (J) Densidad relativa aparente (Gravedad específica) (D)/(E+D-F)                       | 2.66            | 2.68            | 2.62            |



|                                                         |             |
|---------------------------------------------------------|-------------|
| <b>Gravedad Específica Promedio (gr/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>2.42</b> |
|---------------------------------------------------------|-------------|

Anexo D36 Absorción del agregado fino + 15% relave  
Fuente: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

**Cantera:** Rio Apurimac (Espinar) **Fecha:** viernes, 16 de Junio de 2023

**Agregado:** fino+15% de adición de relave minero en peso de material cementante

| ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO + 15% RELAVE                 |              |              |              |  |
|----------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--|
| CLASIFICACIÓN MTC E 205/ASTM C 128                       |              |              |              |  |
| Descripción                                              | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |  |
| (D) Peso de la muestra seca en el horno (gr)             | 469.43       | 469.68       | 473.92       |  |
| (G) Peso de la muestra saturada con superficie seca (gr) | 500.00       | 500.00       | 500.00       |  |
| (K) Peso del agua absorbida (gr) (G)-(D)                 | 30.57        | 30.32        | 26.08        |  |
| (Ab) Porcentaje de Absorción (%) (K)x100/(D)             | 6.51%        | 6.46%        | 5.50%        |  |



|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| Porcentaje de Absorción Promedio | 6.48% |
|----------------------------------|-------|

Anexo D37 Contenido de humedad del agregado fino + 15% relave  
Fuente: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Tesis:** Análisis de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023

**Laboratorio:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

**Tesista:** Bach. Alvis Favio Quispe Puma

**Cantera:** Rio Apurimac (Espinar) **Fecha:** jueves, 11 de Enero de 2024

**Agregado:** fino+15% de adición de relave minero en peso de material cementante

| CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO + 15% RELAVE  |              |              |              |  |
|------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--|
| CLASIFICACIÓN MTC E 108/ASTM D 2216                  |              |              |              |  |
| Descripción                                          | Muestra N° 1 | Muestra N° 2 | Muestra N° 3 |  |
| (A) Peso del frasco + Peso de la muestra húmeda (gr) | 174.2        | 172.73       | 176.83       |  |
| (B) Peso del frasco + Peso de la muestra seca (gr)   | 173.35       | 171.8        | 175.84       |  |
| (Pa) Peso del agua (gr) (A)-(B)                      | 0.85         | 0.93         | 0.99         |  |
| (Pf) Peso del frasco (gr)                            | 63.04        | 56.04        | 58.86        |  |
| (Pms) Peso de la muestra seca (gr) (B)-(Pf)          | 110.31       | 115.76       | 116.98       |  |
| (W) Contenido de Humedad (%) (Pa)/(Pms)              | 0.77%        | 0.80%        | 0.85%        |  |



|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| Contenido de Humedad Promedio | 0.81% |
|-------------------------------|-------|

ANEXOS E MATRIZ DE CONSISTENCIA

Anexo E1 Matriz de consistencia  
Fuente: Elaboración Propia

| N° | Objetivo                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Problema                                                                                                                                                                                                                                                                              | Hipótesis                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Variables                                                                   | Factores                                                                                                                                                                                    | Indicadores                                                                               | Metodología                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | <b>OG:</b> Analizar la influencia de la adición de relaves mineros a 5%,10% y 15% en el diseño de concreto f´c=210kg/cm² de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023.                                                                                                                           | <b>PG:</b> ¿De qué manera influye la adición de relaves mineros a 5%,10% y 15% en el diseño de concreto f´c=210kg/cm² de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023?                                                                                                                  | <b>HG:</b> Se espera con la adición de relaves mineros a 5%, 10% y 15% en peso del material cementante en el diseño de concreto f´c=210 kg/cm² mejorará la resistencia mecánica en un 5% respecto al del concreto patrón (concreto tradicional sin adición de relaves mineros) en estudio de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023.                                 | <b>Variable independiente</b><br><b>X1:</b> Adición de relaves mineros      | <b>FX1:</b> Porcentaje de relave minero<br><b>FX2:</b> Composición química de relave minero                                                                                                 | <b>IX1:</b> (5%, 10% y 15%)<br><b>IX2:</b> (%)                                            | La investigación de tipo cuantitativa porque se basa en la recopilación de datos bajo una escala numérica, tal es el caso en la obtención de la resistencia a compresión de concreto f´c = 210 kg/cm² con adición de relaves mineros de las unidades mineras del Espinar, con la finalidad de contestar las preguntas y probar las hipótesis previamente formuladas en nuestra matriz de consistencia. Esta investigación se considera                                                                                                                                                                                                                       |
| 2  | <b>OE1:</b> Determinar la composición química en laboratorio de los relaves mineros de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023.                                                                                                                                                                | <b>PE1:</b> ¿Cuál es la composición química en laboratorio de los relaves mineros de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023?                                                                                                                                                      | <b>HE1:</b> La composición química en laboratorio de relaves mineros de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023 contenga cobre, plata, plomo, hierro, cloruros y sulfatos.                                                                                                                                                                                            |                                                                             |                                                                                                                                                                                             |                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 3  | <b>OE2:</b> Precisar la incidencia de la adición de relaves mineros en el diseño de concreto f´c= 210 kg/cm² en las proporciones propuestas de 5%,10% y 15% en peso del material cementante de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023, en la consistencia del concreto.                       | <b>PE2:</b> ¿Cómo incide la adición de relaves mineros en el diseño de concreto f´c=210 kg/cm² en las proporciones propuestas de 5%,10% y 15% en peso del material cementante de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023 en la consistencia del concreto?                          | <b>HE2:</b> Se presume con la adición de relaves mineros en el diseño de concreto f´c=210 kg/cm² en las proporciones propuestas de 5%,10% y 15% en peso del material cementante de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023, aumente en un 5% la consistencia del concreto                                                                                             | <b>Variable dependiente</b><br><b>Y1:</b> Diseño de concreto f´c=210 kg/cm² | <b>FY1:</b> Resistencia a la compresión (f´c= 210 kg/cm2)<br><b>FY2:</b> Consistencia del concreto<br><b>FY3:</b> Resistencia a la flexión (Mr)<br><b>FY4:</b> Costo de producción unitaria | <b>IY1:</b> (kg/cm²)<br><b>IY2:</b> (pulg.)<br><b>IY3:</b> (MPa)<br><b>IY4:</b> (S/. /m²) | con un nivel correlacional, ya que permite medir el grado de relación existente entre cada variable, es decir, la asociación que presenta la variable independiente (X1: Adición de relaves mineros) con respecto a la variable dependiente (Y1: Diseño de concreto f´c = 210 kg/cm²), y así establecer la relación causa-efecto. El diseño de la presente investigación se considera experimental, al tener como fin realizar el control y manipulación de la variable independiente (X1: Adición de relaves mineros) durante el experimento, para generar los efectos que se producen en la variable dependiente (Y1: Diseño de concreto f´c = 210kg/cm²). |
| 4  | <b>OE3:</b> Establecer la adición relaves mineros en el diseño de concreto f´c=210 kg/cm² en las proporciones propuestas de 5%,10% y 15% en peso del material cementante de las unidades mineras de Espinar -Cusco 2023, en la resistencia a la flexión.                                          | <b>PE3:</b> ¿Cómo influye la adición de relaves mineros en el diseño de concreto f´c=210 kg/cm² en las proporciones propuestas de 5%,10% y 15% en peso del material cementante de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023 en la resistencia a la flexión del concreto?             | <b>HE3:</b> Se estima con la adición de relaves mineros en el diseño de concreto f´c=210 kg/cm² en las proporciones propuestas de 5%, 10% y 15% en peso del material cementante de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023, aumente en un 10% la resistencia a la flexión.                                                                                            |                                                                             |                                                                                                                                                                                             |                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 5  | <b>OE4:</b> Identificar el análisis comparativo de costo de producción unitaria de concreto patrón (concreto estándar) y el concreto con adición de relaves mineros en las proporciones propuestas de 5%,10% y 15% en peso del material cementante de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023. | <b>PE4:</b> ¿Cuál es la diferencia de costo de producción unitaria del concreto patrón (concreto estándar) y el concreto con adición de relaves mineros en las proporciones propuestas de 5%,10% y 15% en peso del material cementante de las unidades mineras de Espinar-Cusco 2023? | <b>HE4:</b> Se espera que el costo de producción unitaria del diseño del concreto con adición de relaves mineros en las proporciones propuestas de 5%,10% y 15% en peso del material cementante de las unidades mineras de Espinar -Cusco 2023 sean menor en un rango de 5% a 10% del análisis del costo de producción unitaria del concreto patrón (concreto estándar). |                                                                             |                                                                                                                                                                                             |                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

Fuente: Elaboración propia

## ANEXOS F PANEL FOTOGRÁFICO

Anexo F1 Fotografías de la cantera de los agregados pétreos /relave minero

Fuente: Elaboración Propia

### Fotografías de ensayos de los agregados pétreos



Embolsado y traslado de agregado grueso de la cantera rio Apurímac de la provincia de Espinar



Embolsado y traslado de agregado fino de la cantera rio Apurímac de la provincia de Espinar



Embolsado y traslado de relave minero del relave minero Ccamacmayo de la provincia de Espinar



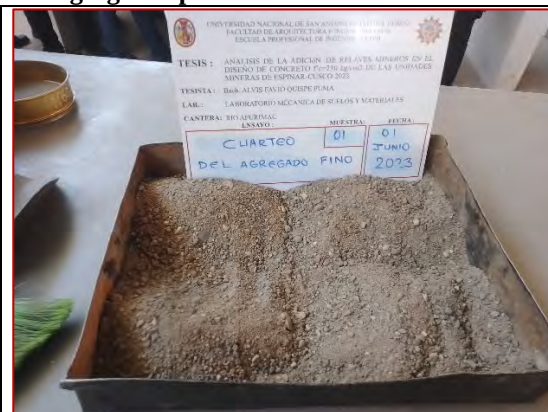
Material de relave Ccamacmayo de la provincia de Espinar

### Fotografías de ensayos de los agregados pétreos

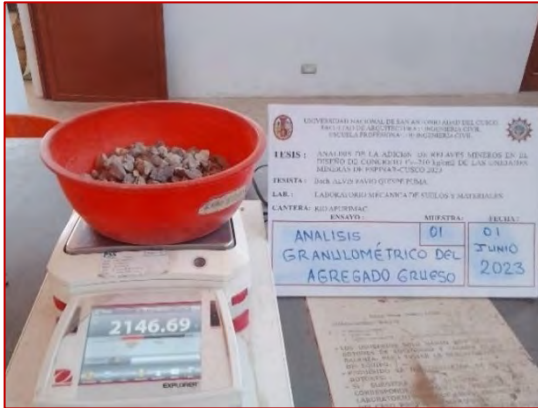
#### Fotografías de ensayos de los agregados pétreos



Cuarteo del agregado grueso



Cuarteo del agregado fino



Ensayo del análisis granulométrico del agregado grueso (MTC E204)



Ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso (MTC E204)



Ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso (MTC E204)



Ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso (MTC E204)



Ensayo de análisis granulométrico del agregado fino (MTC E204)



Ensayo de análisis granulométrico del agregado fino (MTC E204)



Ensayo de análisis granulométrico del agregado fino (MTC E204)



Ensayo de análisis granulométrico del agregado fino (MTC E204)



Ensayo de peso unitario suelto y vacíos del agregado grueso (MTC E205)



Ensayo de peso unitario suelto y vacíos del agregado grueso (MTC E205)



Ensayo de peso unitario compactado y vacíos del agregado grueso (MTC E205)



Ensayo de peso unitario compactado y vacíos del agregado grueso (MTC E205)



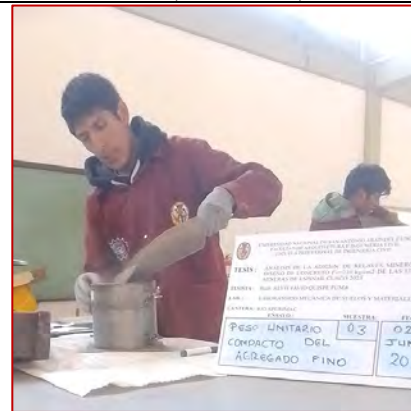
Ensayo de peso unitario compactado y vacíos del agregado grueso (MTC E205)



Ensayo de peso unitario suelto y vacíos del agregado fino (MTC E205)



Ensayo de peso unitario suelto y vacíos del agregado fino (MTC E205)



Ensayo de peso unitario compactado y vacíos del agregado fino (MTC E205)



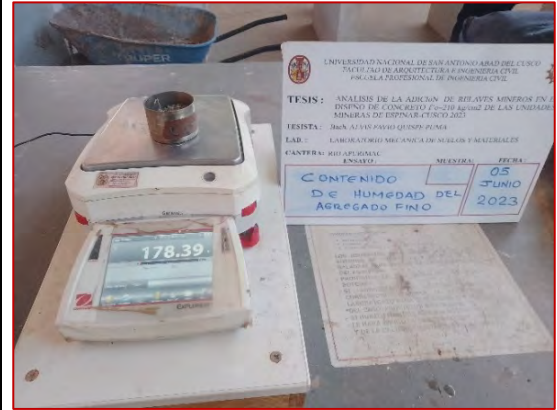
Ensayo de peso unitario compactado y vacíos del agregado fino (MTC E205)



Ensayo de peso unitario compactado y vacíos del agregado fino (MTC E205)



Ensayo de contenido de humedad del agregado grueso (MTC E108)



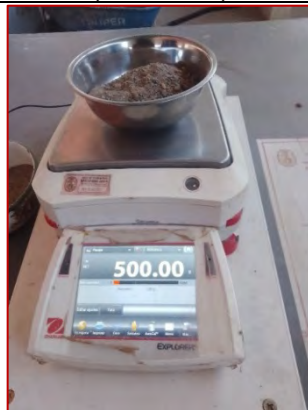
Ensayo de contenido de humedad del agregado fino (MTC E108)



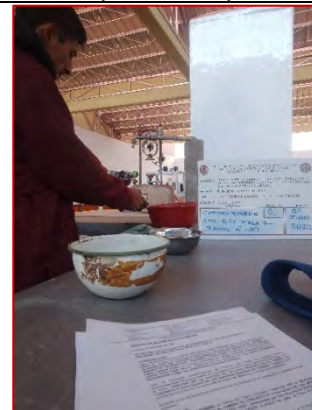
Ensayo de contenido de humedad del agregado grueso (MTC E108)



Ensayo de contenido de humedad del agregado fino (MTC E108)



Ensayo de cantidad de material que pasa el tamiz de 75µm (No 200) por lavado del agregado fino (MTC E202)



Ensayo de cantidad de material que pasa el tamiz de 75µm (No 200) por lavado del agregado fino (MTC E202)



Ensayo de cantidad de material que pasa el tamiz de 75µm (No 200) por lavado del agregado fino (MTC E202)



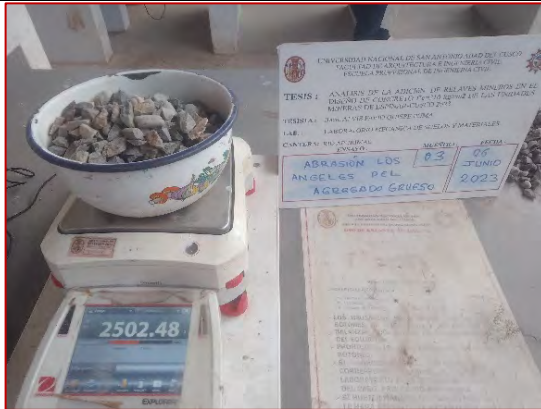
Ensayo de cantidad de material que pasa el tamiz de 75µm (No 200) por lavado del agregado fino (MTC E202)



Ensayo de abrasión de los ángeles del agregado grueso (MTC E207)



Ensayo de abrasión de los ángeles del agregado grueso (MTC E207)



Ensayo de abrasión de los ángeles del agregado grueso (MTC E207)



Ensayo de abrasión de los ángeles del agregado grueso (MTC E207)



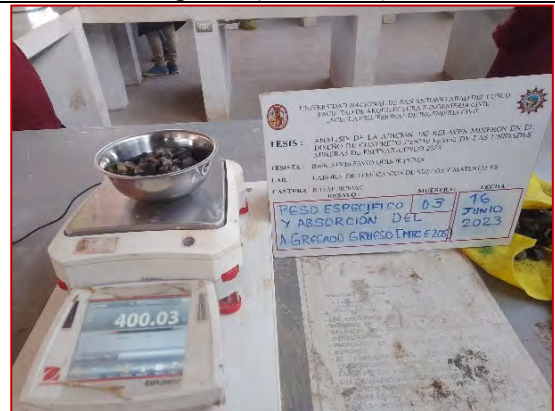
Ensayo de abrasión de los ángeles del agregado grueso (MTC E207)



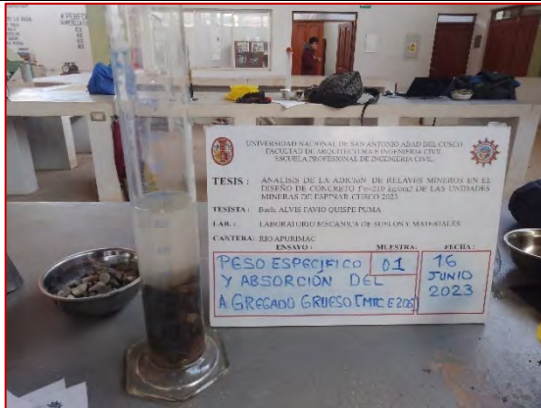
Ensayo de abrasión de los ángeles del agregado grueso (MTC E207)



Ensayo de abrasión de los ángeles del agregado grueso (MTC E207)



Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso (MTC E206)



Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso (MTC E206)



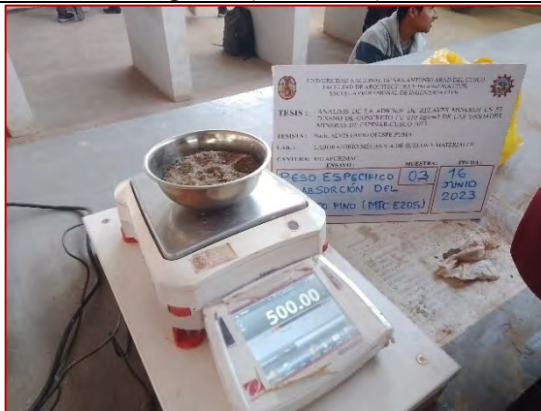
Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso (MTC E206)



Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso (MTC E206)



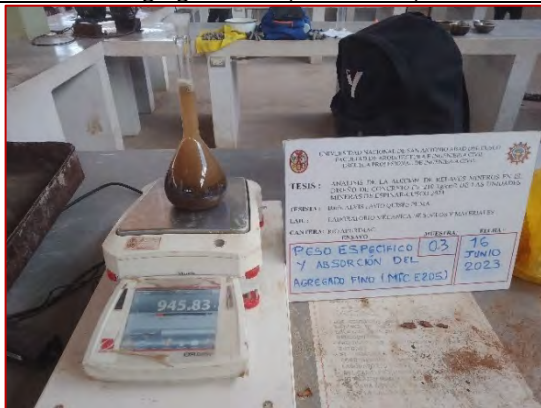
Ensayo de gravedad específica y absorción del agregado fino (MTC E205)



Ensayo de gravedad específica y absorción del agregado fino (MTC E205)



Ensayo de gravedad específica y absorción del agregado fino (MTC E205)



Ensayo de gravedad específica y absorción del agregado fino (MTC E205)



Ensayo de gravedad específica y absorción del agregado fino (MTC E205)

Anexo F2 Fotografías de elaboración y curado en el laboratorio de especímenes de concreto para ensayos (Método ASTM C192)

Anexo F3 Fotografías de revenimiento del concreto de cemento hidráulico (Método ASTM C143)

Fuente: Elaboración Propia

**Fotografías de elaboración y curado en el laboratorio de especímenes de concreto para ensayos (Método ASTM C192)**

**Fotografías de revenimiento del concreto de cemento hidráulico (Método ASTM C143)**



Componentes de concreto patrón de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>



Ensayo de consistencia de la mezcla de concreto patrón de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>



Sacado del cono de Abrams en forma perpendicular de la mezcla de concreto patrón de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>



Medición de la consistencia de la mezcla de concreto patrón de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>



Componentes de concreto patrón de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> + 5% de adición de relave minero



Componentes de concreto patrón de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> + 5% de adición de relave minero



Adición de 5% de relave minero a la mezcla de concreto patrón  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$



Mezcla de concreto patrón  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 5% de adición de relave minero



Ensayo de consistencia de la mezcla de concreto patrón  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 5% de adición de relave minero



Medición de la consistencia de la mezcla de concreto patrón  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 5% de adición de relave minero



Componentes de concreto patrón  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 10 % de adición de relave minero



Componentes de concreto patrón  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 10 % de adición de relave minero



Mezclado de concreto patrón  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 10% de adición de relave minero



Ensayo de consistencia de la mezcla de concreto patrón  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 10% de adición de relave minero



Ensayo de consistencia de la mezcla de concreto patrón  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 10% de adición de relave minero



Ensayo de consistencia de la mezcla de concreto patrón  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 10% de adición de relave minero



Medición de la consistencia de la mezcla de concreto patrón  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 10% de adición de relave minero



Componentes de concreto patrón  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 15 % de adición de relave minero



Componentes de concreto patrón  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 15 % de adición de relave minero



Ensayo de consistencia de la mezcla de concreto patrón  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 10% de adición de relave minero



Medición de la consistencia de la mezcla de concreto patrón  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 15% de adición de relave minero



Medición de la consistencia de la mezcla de concreto patrón  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 15% de adición de relave minero



Briquetas elaboradas en el laboratorio de mecánica de suelos y materiales de la escuela profesional de Ingeniería Civil



Curado de briquetas en el laboratorio de mecánica de suelos y materiales de la escuela profesional de Ingeniería Civil



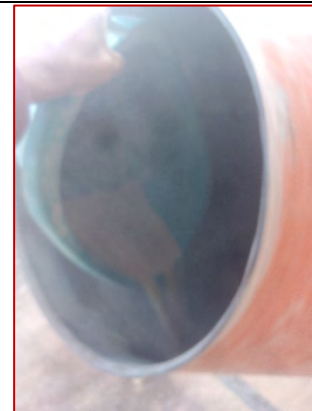
Mezcla de concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  para elaboración de 3 vigas



3 vigas de concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$



Componentes para la elaboración de 3 vigas de concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 5% de adición de relave minero



Adición de relave minero a la mezcla de concreto en un 5% del peso del material cementante



Muestras de 3 vigas de concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 5% de adición de relave minero



Componentes para la elaboración de 3 vigas de concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 10% de adición de relave minero



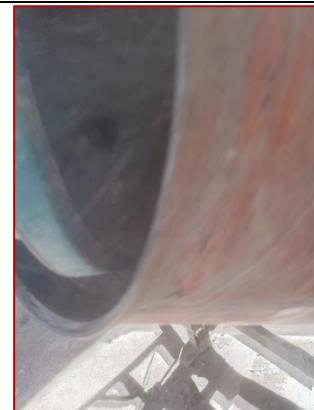
Adición de relave minero a la mezcla de concreto en un 10% del peso del material cementante



Ensayo de consistencia del diseño de mezcla de concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 10% de adición de relave minero



Componentes para la elaboración de 3 vigas de concreto patrón de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  + 15% de adición de relave minero

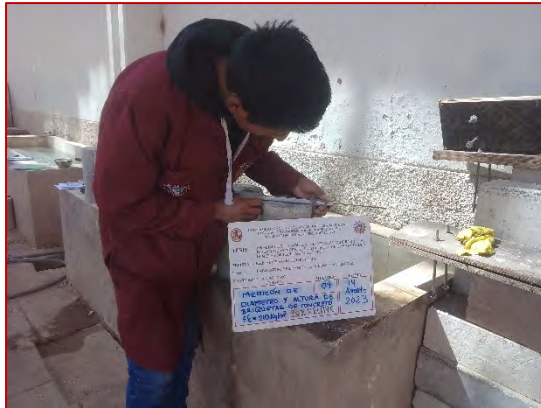


Adición de relave minero a la mezcla de concreto en un 15% del peso del material cementante

Anexo F4 Fotografías de ensayo estándar para esfuerzo de compresión en especímenes cilíndricos de concreto (Método ASTM C39)

Fuente: Elaboración Propia

**Fotografías de ensayo estándar para esfuerzo de compresión en especímenes cilíndricos de concreto (Método ASTM C39)**



Control del diámetro de las briquetas en estudio de esta investigación



Control de la altura de las briquetas en estudio de esta investigación



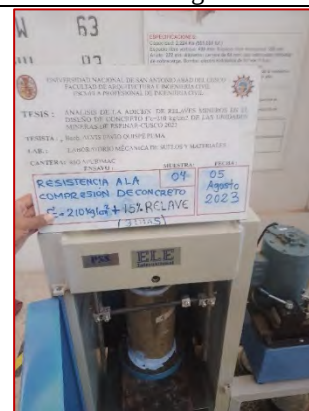
Control de peso de las briquetas en estudio de esta investigación



Colocación de caping a las briquetas en estudio de esta investigación



Ensayo de resistencia a la compresión de concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2 + 10\% \text{ ARM}$  (3 días)



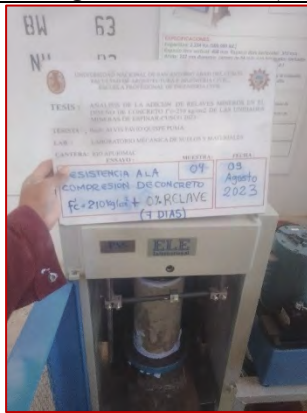
Ensayo de resistencia a la compresión de concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2 + 15\% \text{ ARM}$  (3 días)



Ensayo de resistencia a la compresión de concreto  
 $f'c=210 \text{ kg/cm}^2 + 0\% \text{ ARM}$  (3 días)



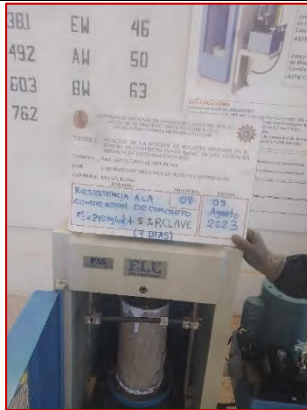
Ensayo de resistencia a la compresión de concreto  
 $f'c=210 \text{ kg/cm}^2 + 5\% \text{ ARM}$  (3 días)



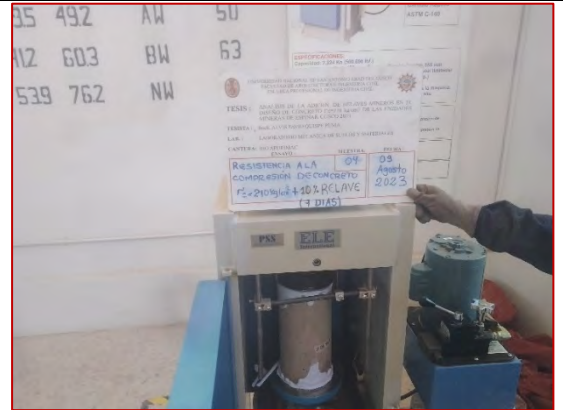
Ensayo de resistencia a la compresión de concreto  
 $f'c=210 \text{ kg/cm}^2 + 0\% \text{ ARM}$  (7 días)



Ensayo de resistencia a la compresión de concreto  
 $f'c=210 \text{ kg/cm}^2 + 15\% \text{ ARM}$  (7 días)



Ensayo de resistencia a la compresión de concreto  
 $f'c=210 \text{ kg/cm}^2 + 5\% \text{ ARM}$  (7 días)



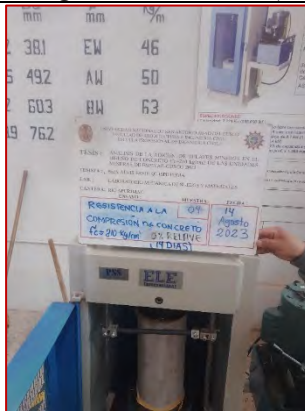
Ensayo de resistencia a la compresión de concreto  
 $f'c=210 \text{ kg/cm}^2 + 10\% \text{ ARM}$  (7 días)



Ensayo de resistencia a la compresión de concreto  
 $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2 + 10\% \text{ ARM (14 días)}$



Ensayo de resistencia a la compresión de concreto  
 $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2 + 5\% \text{ ARM (14 días)}$



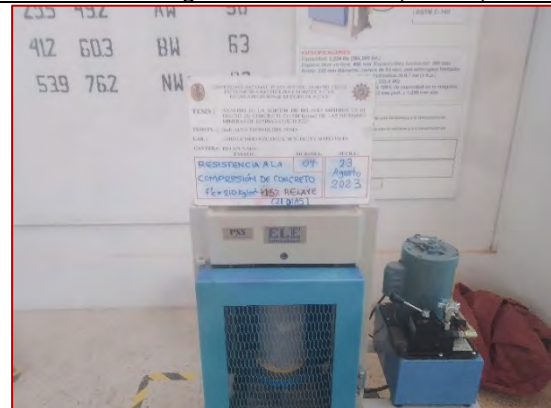
Ensayo de resistencia a la compresión de concreto  
 $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2 + 0\% \text{ ARM (14 días)}$



Ensayo de resistencia a la compresión de concreto  
 $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2 + 15\% \text{ ARM (14 días)}$



Ensayo de resistencia a la compresión de concreto  
 $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2 + 5\% \text{ ARM (21 días)}$



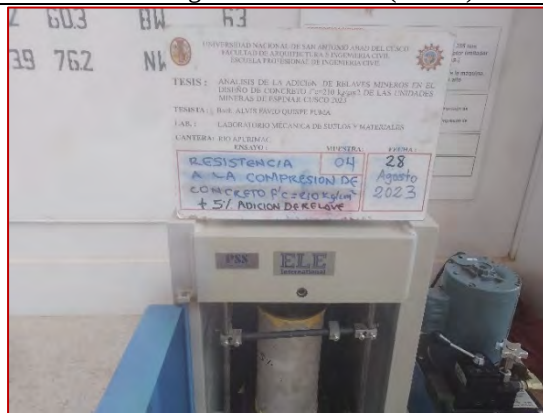
Ensayo de resistencia a la compresión de concreto  
 $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2 + 15\% \text{ ARM (21 días)}$



Ensayo de resistencia a la compresión de concreto  
 $f'c=210 \text{ kg/cm}^2 + 0\% \text{ ARM}$  (21días)



Ensayo de resistencia a la compresión de concreto  
 $f'c=210 \text{ kg/cm}^2 + 10\% \text{ ARM}$  (21días)



Ensayo de resistencia a la compresión de concreto  
 $f'c=210 \text{ kg/cm}^2 + 5\% \text{ ARM}$  (28días)



Ensayo de resistencia a la compresión de concreto  
 $f'c=210 \text{ kg/cm}^2 + 15\% \text{ ARM}$  (28días)



Ensayo de resistencia a la compresión de concreto  
 $f'c=210 \text{ kg/cm}^2 + 0\% \text{ ARM}$  (28días)



Ensayo de resistencia a la compresión de concreto  
 $f'c=210 \text{ kg/cm}^2 + 10\% \text{ ARM}$  (28días)



---

96 muestras ensayas en laboratorio para la resistencia a la compresión según el método ASTM C39

---

Anexo F5 Fotografías de ensayo de resistencia a la flexión del concreto (usando viga simple con carga a los tercios del claro) (Método ASTM C78)

Fuente: Elaboración Propia

**Fotografías de Resistencia a la flexión del concreto (Usando viga simple con carga a los tercios del claro) (Método ASTM C78)**



(V01+ 15% ARM) Ensayo de resistencia a la flexión de concreto  $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2 + 15\% \text{ ARM}$  (28 días)



(V02 + 15 % ARM) Ensayo de resistencia a la flexión de concreto  $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2 + 15\% \text{ ARM}$  (28 días)



(V03+ 15% ARM) Ensayo de resistencia a la flexión de concreto  $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2 + 15\% \text{ ARM}$  (28 días)



(V01+ 5% ARM) Ensayo de resistencia a la flexión de concreto  $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2 + 5\% \text{ ARM}$  (28 días)



(V02 + 5% ARM) Ensayo de resistencia a la flexión de concreto  $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2 + 5\% \text{ ARM}$  (28 días)



(V03 +5% ARM) Ensayo de resistencia a la flexión de concreto  $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2 + 5\% \text{ ARM}$  (28 días)



(V01+ 10% ARM) Ensayo de resistencia a la flexión de concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2 + 10\% \text{ ARM}$  (28 días)



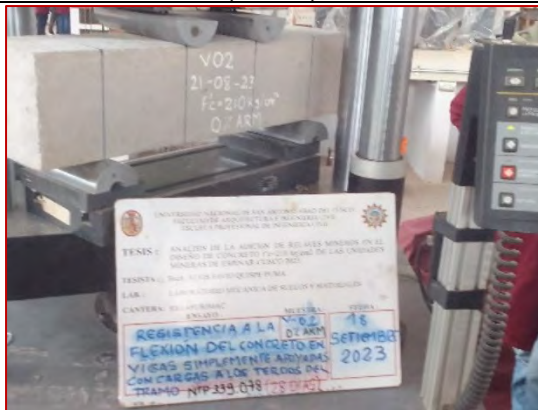
(V02 +10% ARM) Ensayo de resistencia a la flexión de concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2 + 10\% \text{ ARM}$  (28 días)



(V03 + 10% ARM) Ensayo de resistencia a la flexión de concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2 + 10\% \text{ ARM}$  (28 días)



(V01 + 0% ARM) Ensayo de resistencia a la flexión de concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2 + 0\% \text{ ARM}$  (28 días)



(V02 + 0% ARM) Ensayo de resistencia a la flexión de concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2 + 0\% \text{ ARM}$  (28 días)



(V03 + 0% ARM) Ensayo de resistencia a la flexión de concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2 + 0\% \text{ ARM}$  (28 días)



---

12 muestras ensayas en laboratorio para la resistencia a la flexión según el método ASTM C78

---