



# FACULTAD DE INGENIERÍA

---

CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS

**“MEDICIÓN DE LAS PROPIEDADES GEOQUÍMICAS Y MECÁNICAS DEL PASIVO AMBIENTAL RELAVE MINA PAREDONES PARA SU PROPUESTA DE UTILIZACIÓN COMO RELLENO EN PASTA PARA LABORES MINERAS SUBTERRÁNEAS – CAJAMARCA – SETIEMBRE 2015”.**

Tesis para optar el título profesional de:

**INGENIERO DE MINAS**

**Autor:**

Bachiller Rogger Hans Benites Mostacero

Bachiller Yanet Leiva Cercado

**Asesor:**

Ing. Víctor Eduardo Álvarez León

Cajamarca – Perú

2015

## APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por los Bachilleres **Rogger Hans Benites Mostacero y Yanet Leiva Cercado**, denominada:

**“MEDICIÓN DE LAS PROPIEDADES GEOQUÍMICAS Y MECÁNICAS DEL PASIVO AMBIENTAL RELAVE MINA PAREDONES PARA SU PROPUESTA DE UTILIZACIÓN COMO RELLENO EN PASTA PARA LABORES MINERAS SUBTERRÁNEAS – CAJAMARCA – SETIEMBRE 2015”.**

---

Ing. Víctor Eduardo Álvarez León  
**ASESOR**

---

Mg. Ing. José Alfredo Siveroni Morales  
**JURADO**

---

Ing. Roberto Severino González Yana  
**JURADO**

---

Ing. Miguel Aquino Jave  
**JURADO**

## DEDICATORIA

### ***A DIOS TODO PODEROSO***

*Por su infinita bondad y amor,  
dándome las fuerzas, la  
perseverancia de seguir adelante  
y así alcanzar mis metas y  
objetivos trazados.*

### ***A MIS PADRES***

*ROGER y VIOLETA, quienes  
creyeron que la educación es el mejor  
regalo y la mejor herencia que se le  
puede dar a un hijo, esto es para  
ustedes los adoro. Gracias, porque  
ustedes se sacrificaron y dieron todo  
para que hoy concluya una etapa más  
de mi formación.*

### ***A MIS HERMANOS***

*ALEX y JOSÉ, por ser mis buenos  
amigos y darme su apoyo siempre  
que lo he necesitado.*

### ***A MI HIJA***

*SOPHIA, por estar siempre a mi lado  
acompañándome para poder avanzar y  
motivarme con su amor y ternura en  
todo momento.*

**ROGGER BENITES**

## DEDICATORIA

### ***A DIOS TODOPODEROSO***

*Por su infinita bondad y amor,  
dándome las fuerzas y la  
perseverancia de seguir adelante  
y así alcanzar mis metas y  
objetivos trazados.*

### ***A MIS PADRES***

*AURELIO y CATALINA, por su apoyo  
incondicional durante mi vida personal y  
profesional, Gracias por su sacrificio y  
ejemplo de perseverancia y sabiduría.*

### ***A MIS HERMANOS Y HERMANAS***

*Gracias a todos ustedes por ser mis buenos  
amigos y en especial dedico este trabajo a  
mi hermano **JORGE**, por creer en mí y  
darme su apoyo siempre que lo necesité.*

**YANET LEIVA**

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Privada del Norte, por habernos permitido desarrollarnos moral e intelectualmente en sus aulas, permitiéndonos de este modo cumplir con una más de nuestras metas.

Al Ing. Víctor Eduardo Álvarez León, en calidad del asesor del proyecto por su tiempo, paciencia y aporte técnico para la elaboración de la misma.

A todos los docentes del Departamento de Ingeniería de Minas, por sus conocimientos y consejos brindados, especialmente al Ing. José Siveroni, por el apoyo constante al desarrollo de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas y por ende de todos sus estudiantes.

A nuestras familias que siempre se preocuparon por la integridad de nuestra formación moral y profesional, muchas gracias.

De la misma manera a todos nuestros amigos y compañeros de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas, que de una u otra forma nos apoyaron durante nuestra preparación universitaria y en el desarrollo de este trabajo de investigación.

Nuestra gratitud y reconocimiento por siempre.

**LOS AUTORES**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|  |             |
|--|-------------|
| <b><u>APROBACIÓN DE LA TESIS</u></b> .....     | <b>ii</b>   |
| <b><u>DEDICATORIA</u></b> .....                | <b>iii</b>  |
| <b><u>AGRADECIMIENTO</u></b> .....             | <b>v</b>    |
| <b><u>ÍNDICE DE CONTENIDOS</u></b> .....       | <b>vi</b>   |
| <b><u>ÍNDICE DE TABLAS</u></b> .....           | <b>viii</b> |
| <b><u>ÍNDICE DE GRÁFICOS</u></b> .....         | <b>ix</b>   |
| <b><u>RESUMEN</u></b> .....                    | <b>x</b>    |
| <b><u>ABSTRACT</u></b> .....                   | <b>xi</b>   |
| <b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</b> .....          | <b>12</b>   |
| 1.1. Realidad problemática.....                | 12          |
| 1.2. Formulación del problema.....             | 12          |
| 1.3. Justificación .....                       | 13          |
| 1.4. Limitaciones.....                         | 13          |
| 1.5. Objetivos.....                            | 13          |
| 1.5.1. <i>Objetivo General</i> .....           | 13          |
| 1.5.2. <i>Objetivo Específico</i> .....        | 13          |
| <b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO</b> .....         | <b>14</b>   |
| 2.1. Antecedentes.....                         | 14          |
| 2.1.1. <i>historia de mina paredones</i> ..... | 15          |
| 2.2. Bases teóricas .....                      | 15          |
| 2.2.1. <i>Relleno en pasta</i> .....           | 15          |
| 2.2.2. <i>Relaves mineros</i> .....            | 16          |
| 2.2.3. <i>Concreto</i> .....                   | 19          |
| 2.2.4. <i>Ensayos de laboratorio</i> .....     | 25          |
| 2.3. Definición de términos básicos.....       | 39          |
| <b>CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS</b> .....             | <b>42</b>   |
| 3.1. Formulación de la hipótesis.....          | 42          |
| 3.2. Operacionalización de variables .....     | 42          |
| 3.2.1. <i>Variable dependiente</i> .....       | 42          |
| 3.2.2. <i>Variables independientes</i> .....   | 42          |
| <b>CAPÍTULO 4. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....  | <b>44</b>   |
| 4.1. Tipo de diseño de investigación .....     | 44          |
| 4.2. Material de estudio. ....                 | 44          |
| 4.2.1. <i>Unidad de estudio</i> .....          | 44          |
| 4.2.2. <i>Población</i> .....                  | 44          |

|   |  |           |
|---|--|-----------|
| 4.2.3.  | <i>Muestra</i> .....   | 44        |
| 4.3.  | Técnicas, procedimientos e instrumentos.....   | 44        |
| 4.3.1.  | <i>Para recolectar datos</i> .....   | 44        |
| 4.3.2.  | <i>Para analizar información</i> :.....  | 46        |
| 4.4.  | Producto de aplicación profesional.....  | 46        |
| <b>CAPÍTULO 5.</b>  | <b>RESULTADOS</b> .....  | <b>48</b> |
| 5.1.  | Ensayos de los agregados.....  | 48        |
| 5.1.1.  | <i>Resumen de los ensayos</i> .....  | 48        |
| 5.1.2.  | <i>Diseño de mezclas</i> .....   | 48        |
| 5.1.3.  | <i>Esfuerzos y deformaciones obtenidas de la prueba a compresión de las probetas de concreto</i> ..... | 49        |
| <b>CAPÍTULO 6.</b>  | <b>DISCUSIÓN</b> .....   | <b>52</b> |
| 6.1.  | Resultados de los ensayos de los agregados.....  | 52        |
| 6.1.1.  | <i>Módulo de finura</i> .....  | 52        |
| 6.1.2.  | <i>Peso específico y absorción</i> .....   | 52        |
| 6.1.3.  | <i>Contenido de humedad</i> .....  | 53        |
| 6.1.4.  | <i>Peso unitario</i> .....   | 53        |
| 6.1.5.  | <i>Porcentaje de finos</i> .....   | 53        |
| <b>CAPÍTULO 7.</b>  | <b>CONCLUSIONES</b> .....  | <b>54</b> |
| <b>CAPÍTULO 8.</b>  | <b>RECOMENDACIONES</b> .....   | <b>55</b> |
| <b>CAPÍTULO 9.</b>  | <b>REFERENCIAS</b> .....   | <b>56</b> |
| <b>ANEXOS</b> .....   |  | <b>59</b> |
| <b>ANEXO N° 1: CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES</b> .....  |  | <b>59</b> |
| <b>ANEXO N° 2: RESULTADOS GEOQUÍMICOS DEL RELAVE</b> .....                                |  | <b>60</b> |
| <b>ANEXO N° 3: RESUMEN DE RESULTADOS GEOQUÍMICOS DEL RELAVE – REALIZADOS EN GSG</b> ..... |  | <b>61</b> |
| <b>ANEXO N° 4: PLANO DE UBICACIÓN – RELAVERA MINA PAREDONES</b> .....                     |  | <b>62</b> |
| <b>ANEXO N° 5: PLANO DE UBICACIÓN DE CALICATAS EN RELAVERA – MINA PAREDONES</b> .....     |  | <b>63</b> |
| <b>ANEXO N° 6: ENSAYOS DE LOS AGREGADOS</b> .....   |  | <b>64</b> |
| 1.  | ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C 136 – NTP 400.012).....  | 64        |
| 2.  | CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM C 566):.....  | 65        |
| <b>ANEXO N° 7: CÁLCULO DE VOLUMEN Y PESO APROXIMADO DE RELAVE MINERO</b> .....            |  | <b>66</b> |
| <b>ANEXO N° 8: ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN</b> .....                           |  | <b>67</b> |
| 1.  | ENSAYO CON PROBETAS 210 KG/CM <sup>2</sup> :.....  | 67        |
| <b>ANEXO N° 9: PANEL FOTOGRÁFICO</b> .....  |  | <b>79</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

| <b>Tabla N°</b> | <b>Descripción</b>  | <b>N° de Página</b> |
|-----------------|---|---------------------|
| Tabla N° 1      | Evolución de la mina Paredones                                    | 15                  |
| Tabla N° 2      | Propiedades granulométricas de relave minero                      | 17                  |
| Tabla N° 3      | Permeabilidad media de los relaves mineros                        | 18                  |
| Tabla N° 4      | Tipo de cementos  | 20                  |
| Tabla N° 5      | Límites de granulometría según el ASTM del agregado fino          | 21                  |
| Tabla N° 6      | Clasificación de las mezclas de concreto por consistencia         | 37                  |
| Tabla N° 7      | Operacionalización de variables                                   | 42                  |
| Tabla N° 8      | Propiedades mecánicas de relave minero                            | 48                  |
| Tabla N° 9      | Propiedades de cemento  | 48                  |
| Tabla N° 10     | Diseño de mezclas   | 49                  |
| Tabla N° 11     | Esfuerzos y deformaciones   | 49                  |
| Tabla N° 12     | Resistencia progresiva en el proceso de curado según ACI 318.2014 | 51                  |
| Tabla N° 13     | Resumen de resultados geoquímicos analizados por SGS              | 61                  |
| Tabla N° 14     | Resultado de prueba de análisis granulométrico                    | 64                  |
| Tabla N° 15     | Contenido de humedad  | 65                  |
| Tabla N° 16     | Cálculo de volumen y peso aproximado de relave minero             | 66                  |
| Tabla N° 17     | Deformación de probeta 1 para diseño de 210 Kg/cm <sup>2</sup>    | 67                  |
| Tabla N° 18     | Deformación de probeta 2 para diseño de 210 Kg/cm <sup>2</sup>    | 69                  |
| Tabla N° 19     | Deformación de probeta 3 para diseño de 210 Kg/cm <sup>2</sup>    | 71                  |
| Tabla N° 20     | Deformación de probeta 4 para diseño de 210 Kg/cm <sup>2</sup>    | 73                  |
| Tabla N° 21     | Deformación de probeta 5 para diseño de 201 Kg/cm <sup>2</sup>    | 75                  |
| Tabla N° 22     | Deformación de probeta 6 para diseño de 201 Kg/cm <sup>2</sup>    | 77                  |



## ÍNDICE DE GRÁFICOS

| <b>Gráfico N°</b> | <b>Descripción</b>  | <b>N° de Página</b> |
|-------------------|---|---------------------|
| Gráfico N° 1      | Cono de Abrams  | 37                  |
| Gráfico N° 2      | Ensayo con el cono de Abrams                                  | 39                  |
| Gráfico N° 3      | Esfuerzo vs deformación de probetas                           | 50                  |
| Gráfico N° 4      | Diseño para la resistencia 210 Kg/cm <sup>2</sup>             | 50                  |
| Gráfico N° 5      | Resistencia según tiempo de curado                            | 51                  |
| Gráfico N° 6      | Porcentaje de dosificación según diseño                       | 51                  |
| Gráfico N° 7      | Promedio de módulo de finura                                  | 52                  |
| Gráfico N° 8      | Cronograma de actividades                                     | 59                  |
| Gráfico N° 9      | Resultados geoquímicos analizados por SGS                     | 60                  |
| Gráfico N° 10     | Plano de Ubicación de la relavera de mina Paredones           | 62                  |
| Gráfico N° 11     | Plano de ubicación de calicatas en relavera de mina Paredones | 63                  |
| Gráfico N° 12     | Esfuerzo de deformación probeta 1                             | 68                  |
| Gráfico N° 13     | Esfuerzo de deformación probeta 2                             | 70                  |
| Gráfico N° 14     | Esfuerzo de deformación probeta 3                             | 72                  |
| Gráfico N° 15     | Esfuerzo de deformación probeta 4                             | 74                  |
| Gráfico N° 16     | Esfuerzo de deformación probeta 5                             | 76                  |
| Gráfico N° 17     | Esfuerzo de deformación probeta 6                             | 78                  |

## RESUMEN

La presente tesis hace referencia al estudio de los parámetros geoquímicos y mecánicos del relave minero que se tiene acumulado en la relavera de la Mina Paredones, para su posible aplicación como relleno en pasta para labores mineras subterráneas.

El estudio se ha enfocado solo en **uno** de los 8 tipos de rellenos que existen actualmente: el relleno en pasta. Este tipo de relleno es una mezcla de agua con sólidos de alta densidad que contiene abundante partícula fina con un bajo contenido de agua y cemento; se han realizado dos estudios de investigación, estudios geoquímicos y estudios mecánicos.

Los análisis geoquímicos del relave minero se realizaron en una empresa especializada (SGS del Perú) y nos arrojó resultados muy bajos de metales valiosos lo que indica que no es económicamente rentable para su reaprovechamiento.

Los estudios mecánicos del relave minero se realizaron en el laboratorio de escuela de Ing. Civil de la UPN, donde se obtuvo los siguientes resultados que sirven para cuantificar el factor de resistencia utilizando un diseño de concreto ACI (Instituto Americano del concreto) de  $210 \text{ Kg/cm}^2$ , donde se incluyeron los siguientes parámetros: Volúmenes absolutos de los componentes, la cantidad de cemento utilizado para este diseño fue de  $286.73 \text{ Kg/cm}^2$  (18% de cemento), la cantidad de relave utilizado para este diseño fue de  $1019.52 \text{ Kg/cm}^2$  (54% de relave) y la cantidad de agua utilizada para este diseño fue de  $521.17 \text{ L/m}^3$  (28% de agua); en la prueba de Slump obtenido del diseño de mezcla fue de 8.9 cm. (Consistencia plástica), obteniéndose un factor de resistencia promedio de las seis probetas de  $266.13 \text{ Kg/cm}^2$ , con un curado de 07 días y con una proyección de  $380.19 \text{ Kg/cm}^2$  como factor de resistencia de curado a los 28 días, lo que nos indica que el uso de relave como relleno en pasta es factible.

Para obtener estos resultados se realizaron los siguientes ensayos en laboratorio según las normas ASTM (American Society for Testing Materials): Análisis granulométrico (ASTM C 136), Módulo de finura (ASTM C 136), Determinación de secado del agregado fino (ASTM C 136), Contenido de humedad (ASTM C 566), Peso unitario (ASTM C 29), Porcentaje de fino (ASTM C 117), elaboración de probetas para la prueba de resistencia a la compresión (ASTM C 31), prueba de Slump (ASTM C 143-78) y prueba de resistencia a la compresión (ASTM C 39).

## ABSTRACT

The study focused on only one of the 8 types of fillers that currently exist: the filling paste. This type of filler is a mixture of water with high density solids abundant fine particle containing a low water content; there have been two research studies, geochemical studies and mechanistic studies.

For geochemical analysis of mine tailings were conducted in a specialized company (SGS Peru) for which threw us very low scores of valuable metals which indicates that it is not economically viable for reuse.

For mechanical studies of mining waste they were analyzed in the laboratory Ing. Civil UPN, where the following was obtained to quantify the resistance factor design concrete ACI (American Concrete Institute) of 210 kg/cm<sup>2</sup> was used where the following parameters is included: absolute volumes of the components, the amount of cement used for this design was 286.73 kg/cm<sup>2</sup> (18% of cement), the amount of tailings used for this design was 1019.52 kg/cm<sup>2</sup> (tailings 54%) and the amount of water used for this design was 521.17 L/m<sup>3</sup> (28% water); Slump test in design obtained mixture was 8.9 cm. (Plastic consistency), yielding a factor of average strength of six specimens of 266.13 kg/cm<sup>2</sup>, cured 07 days and a projection of 380.19 Kg/cm<sup>2</sup> resistance factor curing at 28 days, which we It indicates that the use of tailings as backfill paste is feasible.

To get these results the following tests were conducted in laboratory according to ASTM standards (American Society for Testing Materials): Sieve analysis (ASTM C 136), fineness modulus (ASTM C 136), Determination of drying the fine aggregate (ASTM C 136 ) Moisture content (ASTM C 566), unit weight (ASTM C 29) Percentage fine (ASTM C 117), preparation of test specimens for compressive strength (ASTM C 31) Slump test (ASTM C 143-78) test and compressive strength (ASTM C 39).

## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo de tesis se basa en un proceso de análisis y descripción de componentes de las probetas a nivel de laboratorio en relación a la determinación de los parámetros geoquímicos y mecánicos empleados para ser utilizado como componente de relleno en pasta, demostrando la hipótesis de investigación, que establece que el relave minero en abandono (relavera de Paredones) posee características técnicas adecuadas para ser utilizadas como relleno en pasta en labores de minería subterránea como son galerías principales, chimeneas y tajeos, así como otras que requieren sostenimiento y proteger al medio geológico circundante de los futuros hundimientos y fallas causadas por estas labores mineras.

Se obtuvo el resultado de las pruebas en laboratorio y se procedió a determinar la factibilidad de que el relave minero sea considerado para poder procesarlo como relleno en pasta en labores mineras.

### **1.1. Realidad problemática**

En las últimas décadas, los volúmenes de residuos de la actividad minero-metalúrgica son significativamente mayores que los residuos domésticos e industriales juntos. (Anicama, 2008).

Un ejemplo claro es la relavera de la mina Paredones, ubicado a 1.5 horas de la ciudad de Cajamarca, la cual ha sido abandonada por aproximadamente 47 años por la empresa “Northern Perú Mining Corporation” que realizó sus explotaciones y dejando gran cantidad de relaves mineros acumulados a la intemperie, sin ningún tipo de protección y sin tomar ninguna precaución sobre las consecuencias que estos desechos pueden generar en las personas que viven cerca, es preciso señalar que los desechos se encuentran depositados a pocos metros del Río San Pablo, es por ello que se hace indispensable buscar un método de utilización de este material para evitar problemas con el medio ambiente y la comunidad.

### **1.2. Formulación del problema**

¿Midiendo las propiedades geoquímicas y mecánicas podremos utilizar el pasivo ambiental del relave minero como relleno en pasta en labores mineras subterráneas?

### **1.3. Justificación**

Mediante la presente tesis, se busca dar una posible solución a la problemática ambiental del relave minero de la mina Paredones, puesto que abarca una gran extensión de terreno (6.3 ha.) y está a orillas del río San Pablo. Es en ese sentido, es importante promover la reutilización del relave del depósito minero como relleno en pasta para labores subterráneas hasta eliminar progresivamente esta relavera.

### **1.4. Limitaciones**

Las limitaciones del proyecto son las siguientes:

- Se tuvo que ingresar a la zona de relaves con permiso de la comunidad ya que el ingreso está restringido por ser un pasivo ambiental.
- La no existencia de normas técnicas que clasifique a los relaves mineros para ser utilizadas en diseño de mezclas.

### **1.5. Objetivos**

#### **1.5.1. Objetivo General**

- Medir las propiedades geoquímicas y mecánicas del relave minero en la Mina Paredones para su viabilidad de uso como relleno en pasta en minas subterráneas.

#### **1.5.2. Objetivo Específico**

- Medir de las propiedades geoquímicas.
- Medir de las propiedades mecánicas.
- Determinar su viabilidad de uso como relleno en pasta en minas subterráneas.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

- Céspedes, J (2012). Relave de alta ley, este artículo publicado en la Universidad Andrés Bello (Chile), se investigó el uso del reciclaje de relave minero, de acuerdo a los estudios mineralógicos y químicos, la presencia de alúmina (AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), sílice (SiO<sub>2</sub>) y un activador alcalino tal como hidróxido de sodio (NaOH) permiten la creación de geo polímeros; estos son cementos que se caracterizan por presentar resistencia química y térmica, buenas propiedades mecánicas, bajos niveles de emisiones de CO<sub>2</sub> y menores costos de producción, sin embargo se aclara que no existe una sola técnica de reciclaje si no que cada tipo de relave tiene sus propias características, por ellos las técnicas de uso como cemento serán distintas.
- Romero, A. y Flores, S (2010). Investigaron el rehúso de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillo y baldosas. Este artículo hace referencia al rehúso de relave mediante la forma de un agregado de construcción para la fabricación de ladrillos y agregados de construcción tomando como referencia la relavera en Ticapampa ubicada en Huaraz, la cual constituye un pasivo ambiental minero de grandes proporciones, por el gran volumen que ocupa en el área aledaña a la cuenca media del río Santa, por ello en medio de esta problemática se propone como una alternativa de solución dándole valor al agregado al relave mediante su uso bajo la forma de un agregado de construcción, para ello se hicieron pruebas de toxicología, estableciéndose que el producto final, que es el agregado de construcción obtenido a partir de los relaves mineros, no es contaminante.
- Putzmeister Solid Pumps GmbH (2001). En este artículo se investigó el rehúso de relaves mineros en la mina de oro de Bulyanhulu en Tanzania, para ser utilizado como relleno en pasta en minería subterránea.

## 2.1.1. Historia de mina paredones

### 2.1.1.1. Historia de las actividades en mina paredones

La unidad minera Paredones ha presentado desde el inicio y a lo largo de estos años la siguiente evolución:

**Tabla Nº 01: Evolución de las operaciones en mina Paredones**

| <b>EVOLUCIÓN DE OPERACIONES MINA PAREDONES</b> |   |
|--|---|
| -  | Se iniciaron los trabajos en la época del incanato                      |
| -  | Posteriormente lo trabajaron los españoles en la época de la conquista  |
| -  | Posteriormente lo trabajaron portugueses.                               |
| 1950 – 1968                                    | Northern Peru Mining Corporation  |
| 1968 – Hoy                                     | La concesión lo tiene la Empresa Minera SMRL Occidental 2 de Cajamarca. |

**Fuente:** Administración SMRL Occidental 2 de Cajamarca

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Relleno en pasta

El relleno en pasta es un fluido con alta concentración de sólidos y está compuesto por una mezcla de cemento y escoria metalúrgica molida, para obtener una pasta con valores de resistencia a la compresión. Las cavidades que se originan en la explotación de yacimientos subterráneos de mineral se comportan como un alto potencial de peligro bajo tierra y en superficie. Si en el pasado el material de relleno se descargaba a menudo por gravedad desde la superficie al interior a través de pozos y chimeneas, desde donde se distribuían mediante equipos de carga, hoy en día las bombas de pulpas y/o lodos, combinadas con sistemas de tuberías cerrados, desempeñan una función importante en el llenado y la introducción de material de relleno en cavidades subterráneas. (Contorín, 2013).

## **2.2.2. Relaves mineros**

El relave minero es un conjunto de desechos tóxicos de procesos mineros y concentración de minerales, usualmente constituido por una mezcla de tierra, minerales y agua.

Los relaves contienen altas concentraciones de químicos y elementos que alteran el medio ambiente, por lo que deben ser transportados y almacenados en «tanques o pozas de relaves» donde lentamente los contaminantes se van decantando en el fondo y el agua es recuperada o evaporada. El material queda dispuesto como un depósito estratificado de materiales sólidos finos. El manejo de relaves es una operación clave en la recuperación de agua y para evitar filtraciones hacia el suelo y capas subterráneas, ya que su almacenamiento es la única opción. (Wikipedia, 2015).

### **2.2.2.1. Propiedades físicas de los relaves**

El comportamiento de los relaves mineros están determinados por sus propiedades físicas y también por la naturaleza del depósito. La depositación de los relaves mineros puede dar lugar a dos clases fundamentales de material: arenas depositadas mediante mecanismos hidráulicos y limos depositados mediante procesos de sedimentación. (Rojas, 2012).

Las propiedades de los relaves arenosos suelen ser similares a la de los suelos naturales tamaño arena, mientras que la de los relaves limosos presentan un comportamiento más complejo. Entre las propiedades de estos, destacaremos las siguientes:

#### **2.2.2.1.1 Granulometría**

Los residuos mineros tienen como característica principal el tamaño de las partículas sólidas porque va a determinar sus posibilidades de aprovechamiento y recuperación. La granulometría va a depender de los procesos mineralúrgicos empleados para concentrar o extraer los minerales, por ejemplo en el caso del carbón la separación por gravedad lleva consigo estériles más gruesos que la flotación. En operaciones con minerales de cobre, donde la recuperación se hace por lixiviación,



los residuos tienen una granulometría gruesa del tamaño de grano de una grava. Por tanto, podemos decir que la granulometría de las partículas sólidas va a determinar el posible aprovechamiento o la calidad de los residuos. (Llique, 2014).

**Tabla N° 2: Propiedades granulométricas de los relaves mineros**

| Granulometría | %de Paso                                    | Calidad                                    |
|---------------|---|--|
| Gruesos       | 0-15% menor de 74ppm<br>(micrómetro)        | Buenos                                     |
| Medios        | 15 – 50% menor de 74<br>ppm                 | Generalmente buenos                        |
| Finos         | 50 – 80% menor de<br>74ppm                  | Cuestionables                              |
| Limos         | 100% menor de 74ppm y<br>25%menor de 200ppm | Almacenado por<br>presas<br>convencionales |

**Fuente:** Ingeniería Ambiental (2006). Residuos Mineros. Perú

### 2.2.2.1.2 Plasticidad

Es la propiedad que permite al material sufrir deformaciones sin recuperación elástica perceptible y sin resquebrajarse ni desmenuzarse. También la podemos definir como la capacidad que tienen ciertos materiales para cambiar de formar, bajo una carga constante, sin cambio apreciable de volumen.

La plasticidad de los relaves mineros procedentes de las plantas de tratamiento de mineral viene dada en función del porcentaje de finos que presenten. (Rojas, 2012).

### 2.2.2.1.3 Peso específico

Generalmente los relaves mineros están saturados, es decir todo el volumen de vacíos entre partículas sólidas están ocupados por el medio acuoso, por lo que de esta forma, podemos hablar de la

proporción de sólidos respecto a la mezcla total y que se denomina concentración.

El peso específico de los lados es muy variable, en función de las concentraciones de mineral estéril, de la granulometría de la presencia de los elementos secundarios. En caso de relaves secos, su peso específico depende de las condiciones de consolidación de los relaves. (Rojas, 2012).

#### 2.2.2.1.4 Permeabilidad

Un material se considera permeable cuando está situado entre otros menos permeables que él, por lo que podemos decir que todos los materiales son más o menos permeables. En este sentido podemos afirmar que el agua filtra a través de todos los materiales, con la única diferencia de la magnitud o intensidad. Aquí hablamos es del grado de permeabilidad de cada material, que va a depender de la amplitud de los huecos o vacíos continuos que existan entre sus partículas.

Por lo tanto, la variación de la permeabilidad es función de la granulometría de los relaves, de su plasticidad, del modo de deposición y su profundidad en el depósito.

Algunos valores típicos de permeabilidad de los residuos mineros se muestran en la siguiente tabla: (Rojas, 2012).

**Tabla N°3: Permeabilidad media de los relaves mineros**

| Material   | Permeabilidad media |
|--|---------------------|
| Arenas ciclonadas gruesas con menos del 15% de finos           | $10^{-2}$ $10^{-3}$ |
| Arenas depositadas en la playa de la bolsa con 15-30% de finos | $10^{-3}$ $10^{-4}$ |
| Lodos limosos no plásticos o con poca plasticidad              | $10^{-7}$ $10^{-6}$ |
| Lodos limosos con alta plasticidad                             | $10^{-7}$ $10^{-8}$ |

**Fuente:** Ingeniería Ambiental (2006). Residuos mineros. Perú

### **2.2.3. Concreto**

El concreto es una mezcla homogénea de pasta y materiales inertes que tiene la propiedad de endurecer con el tiempo adquiriendo su resistencia a compresión máxima a los de 28 días. La pasta es una combinación de cemento y agua, en determinadas propiedades, en la que se produce una reacción química que libera calor en el proceso de mezclado e incorpora aire naturalmente (en una proporción del 1% al 2%). Esta pasta constituye el material ligante.

#### **2.2.3.1. Agua**

Si bien es imprescindible la presencia del agua para producir la reacción química del cemento, su exceso durante el proceso de fragüe es perjudicial para la resistencia final del hormigón. Cuando menos agua se incorpora a la mezcla, más resistencia y más impermeabilidad se obtendrá y por lo tanto el hormigón será de más durabilidad. Pero al mismo tiempo, cuanto menos agua se utiliza, menos trabajabilidad tendrá la mezcla, dificultando el proceso de llenado de los encofrados. En cambio, durante el endurecimiento del hormigón, es necesario mantener la presencia de agua para que se siga produciendo la reacción química.

Este procedimiento se denomina “curado” del hormigón y debe prolongarse el mayor tiempo posible a fin de incrementar la resistencia y durabilidad.

Si las aguas de mezclado contienen compuestos solubles o expansivos, pueden destruir el hormigón. El agua también es nociva en los procesos de congelación por bajas temperaturas, ya que el aumento de volumen resultante puede resultar en la destrucción del hormigón.

Las condiciones que debe reunir el agua de mezclado son el ser químicamente pura, potable, no contener azúcares, aceites ni sales.

#### **2.2.3.2. Cementos**

Al descubrirse la cal hidráulica, que con su contenido de sílice se combinan con el óxido de calcio reaccionando con el agua, se inició el proceso que llevó a la aparición del hormigón, mediante una

dosificación de minerales de origen calcáreo (65%) y arcilloso (35%) finamente pulverizados y cocidos a alta temperatura (1500 °C), obteniéndose así un material granular poroso, el “Clinker”, compuesto de silicato bicálcico, silicato tricálcico, aluminato tricálcico y ferro aluminato tetracálcico que, mezclados con un 4% de yeso dihidratado, da origen al cemento “Portland”. Estos compuestos del cemento, en sus distintas proporciones en su composición, son los que le dan sus propiedades características.

El cemento es el ingrediente activo que intervienen en menor cantidad, sin embargo es el que define las tendencias del comportamiento, la mayoría de beneficios que obtenemos del concreto provienen del cemento así como la mayoría de problemas.

**Tabla N°4: Tipo de cementos**

| TIPO DE CEMENTO | DENOMINACIÓN   |
|-----------------|--|
| I               | Uso general, alto calor f'c rápido                       |
| II              | Mediana Resistencia Sulfatos, calor moderado, f'c lento. |
| III             | Alto calor, f'c muy rápido, baja resistencia sulfatos    |
| IV              | Muy bajo calor, f'c muy lento                            |
| V               | Muy resistente sulfatos bajo calor, f'c lento            |

Fuente: Norma ASTM C 150

### 2.2.3.3. Agregados

Los agregados pueden ser de origen natural, como son las rocas, tanto en el estado en que se encuentran (canto rodado) como procesadas por trituración (piedra partida), o artificiales como las arcillas expandidas o las escorias de altos hornos.

Por su forma, los agregados pueden ser esféricos o poliédricos, debiendo desecharse aquellos de forma alargada, por su menor resistencia. Por su textura, son mejores aquellos de superficies rugosas por brindar mejor adherencia. En cambio, los de superficies lisas mejoran la trabajabilidad del hormigón.

Por su tamaño, los agregados pueden clasificarse en gruesos y finos.

Son gruesos aquellos cuyos tamaños están comprendidos entre 4,8 mm y 150 mm y finos los comprendidos entre 0,75 mm y 4,8 mm.

Deben clasificarse por zarandeo y tener una granulometría adecuada. Esta se determina midiendo los porcentuales de partículas que pasan por cada tamiz, de una serie prefijada, según normas ASTM.

Las curvas granulométricas son características de los agregados y los definen. Se han fijado límites de tolerancia dentro de los cuales debe encontrarse una granulometría específica a utilizar en la elaboración de un hormigón determinado.

Son características de los agregados, su peso específico, su peso unitario compactado y suelto (incluyendo los espacios vacíos). Los agregados se suponen limpios, secos, saturados y sueltos. Su absorción puede llegar al 25% de su propio peso. No deben contener partículas sueltas, ni deben ser chatos, alargados o blandos.

Los agregados deben cumplir con la condición de que su tamaño máximo sea menor o igual que la quinta parte de la menor dimensión transversal del elemento estructural y las tres cuartas partes de la menor separación entre barras de armadura. (Abanto, 2013).

**Tabla N°5: Límites de granulometría según el ASTM del agregado fino.**

| <b>Malla</b>   | <b>Porcentaje que pasa (Acumulativo)</b> |
|----------------|--|
| 3/8"(9.5mm)    | 100%                                     |
| N°4 (4.75mm)   | 95 a 100%                                |
| N° 8 (2.36mm)  | 80 a 100%                                |
| N° 16 (1.18mm) | 50 a 85%                                 |
| N° 30 (600µm)  | 25 a 60%                                 |
| N° 40 (425µm)  | 15 a 35%                                 |
| N° 50 (300µm)  | 10 a 15%                                 |
| N°60 ( 250 µm) | 5 a 10%                                  |
| N° 100(300µm)  | 2 a 5%                                   |
| N° 200 (75 µm) | 1 a 2%                                   |

**Fuente:** Norma ASTM C 136.

## **2.2.3.4. Estados del concreto**

### **2.2.3.4.1 Mezcla fresca**

Al tomar contacto con el agua y durante su proceso de mezclado, su estado es líquido; luego del tiempo necesario para obtener una buena mezcla (90 segundos), toma una consistencia cremosa.

Es importante la trabajabilidad del hormigón fresco, su transporte hasta los lugares de moldeo sin producir segregación y llenar los moldes sin que queden huecos ni vacíos, llenando totalmente las armaduras.

La trabajabilidad está relacionado con la consistencia de la mezcla fresca y ésta es medida por su asentamiento a través del cono de Abrams, dependiendo del tipo de elemento estructural a llenar.

### **2.2.3.4.2 Fraguado**

A las dos o tres horas comienza el período de fraguado durante el cual comienza la reacción química del agua con el cemento que inicia el periodo de endurecimiento.

Este proceso debe comenzar lo más tardíamente posible de fraguado del hormigón, durante el cual comienza la reacción química del agua con el cemento que inicia el periodo de endurecimiento. Para permitir el total llenado de los moldes con mezcla en estado fresco y debe terminar lo antes posible a fin de poder desencofrar las estructuras cuando éstas han alcanzado su punto de resistencia.

### **2.2.3.4.3 Endurecimiento**

La mezcla endurecida debe cumplir con una cierta resistencia a determinado tiempo y al menor costo posible, brindando la suficiente durabilidad a lo largo del tiempo mediante su impermeabilidad, evitando así la acción destructora de los agentes externos.

El proceso de endurecimiento se sigue produciendo en presencia de humedad, de manera que la resistencia a compresión aumenta con el transcurso del tiempo, aunque no con la misma velocidad que durante los primeros veintiocho días.

La elaboración de concreto pasa por varias etapas y estados, que se deben tener en cuenta para generar buenas propiedades dentro de este, por ello se deben realizar de forma cuidadosa, teniendo en cuenta las cantidades de material utilizado según la dosificación, además la mezcla de concreto no deben contaminarse con tierra, por eso hay que prepararlas en una superficie limpia, esto se hace para evitar que el concreto se contamine y no adquiera la resistencia adecuada según la dosificación utilizada, inmediatamente después de la mezcla del concreto este se coloca en moldes cilíndricos, donde se deja el concreto por 24 horas se seca la muestra y se procede al curado es el proceso por el cual se busca mantener saturado el concreto hasta que los espacios de cemento fresco, originalmente llenos de agua sean reemplazados por los productos de la hidratación del cemento. El curado pretende controlar el movimiento de temperatura y humedad hacia dentro y hacia fuera del concreto.

#### **2.2.3.5. Propiedades Del Concreto Fresco (ASTM C 172)**

El estado de mezcla fresca del hormigón dura entre una a tres horas, tiempo que permite su traslado al lugar de colocación, el llenado de los moldes y su compactación.

La trabajabilidad se verifica con ensayos, a través de su consistencia.

El ensayo utilizado es con el cono de Abrams, un molde troncocónico de 20 cm de diámetro de base y 10 cm de diámetro superior, con una altura de 30 cm.

Este molde se llena con mezcla en tres capas sucesivas compactas con 25 golpes cada una. Al desmoldar, la mezcla desciende y se mide su asentamiento. El asentamiento deseado varía con el tipo de estructura y la forma de compactación, según sea varillado manual o mecánico por medio de vibradores, entre 2 cm y 18 cm. El ensayo a través del cono

de Abrams también determina el grado de cohesión de la mezcla, verificándose si esta se disgrega o no al ser levantado el molde.

Abrams enunció también la ley de la relación agua – cemento como responsable de la resistencia final del hormigón, demostrando que distintos hormigones con diferente contenido de agua pueden alcanzar la misma resistencia mecánica, según su contenido de cemento. Las resistencias son las mismas, con distinto grado de fluidez, permitiendo la consistencia adecuada al tipo de compactación disponible. Sin embargo, los hormigones más fluidos son menos durables pues el agua incorporada forma conductos capilares, por la “exudación”, que son vías de acceso para los agentes agresivos exteriores, pudiendo lograrse mayor fluidez a través de la incorporación intencional de aire en forma de burbujas microscópicas que actúan como cojines lubricantes. (Manual de concejos prácticos sobre concreto, 2006).

#### **2.2.3.6. Propiedades del concreto endurecido (astm c 31)**

Como la hidratación de la pasta cementicia no es instantánea, el comportamiento del hormigón va variando a lo largo del tiempo, incrementando su resistencia, cambiando volumétricamente bajo la acción de la temperatura, la humedad y las cargas de larga duración (Abanto, 2013).

#### **2.2.3.7. Resistencia mecánica**

Es la capacidad de resistir cargas de compresión que se miden en ensayos hechos con probetas cilíndricas, generalmente de diámetro de 15 cm y 30 cm de alto. Estas probetas deben curarse por lo menos 24 horas en sus moldes hasta 7,14 o 28 días desmoldadas. (Abanto, 2013).

#### **2.2.3.8. Durabilidad**

La durabilidad está directamente relacionada con la existencia de canales capilares formados por exudación. Los líquidos con los que puede entrar en contacto pueden contener sustancias químicas en solución que resten cohesión a la pasta (aguas ácidas o carbónicas) o que formen compuestos expansivos (sulfatos) o que aumenten de



volumen por congelación. En estos casos deberá dosificarse el hormigón con poca agua.

El aire, los humos ácidos, amoniacales, salitre, o los líquidos residuales, aceites, azúcares o materia orgánica en descomposición, suelos con humus y sales solubles, atacan al hormigón endurecido a través de las grietas producidas por la exudación. Debe evitarse el agrietamiento eligiendo agregados de baja absorción (no livianos), evitando el uso de cementos de alta resistencia inicial, con un alto contenido de cemento y por sobre todo, efectuar un curado prolongado de las estructuras, de modo tal que la reacción química continúe produciéndose el mayor tiempo posible. (Rivva, 2013).

## **2.2.4. Ensayos de laboratorio**

### **2.2.4.1. Ensayos para agregados**

#### **2.2.4.1.1 Análisis granulométrico (ASTM c 136 – NTP 400.012)**

La granulometría se refiere a la distribución de las partículas del agregado. El análisis granulométrico divide la muestra en fracciones, de elementos del mismo tamaño, según la abertura de los tamices utilizados.

Este análisis determina la distribución del tamaño de las partículas o granos que constituyen un material. Esta distribución se analiza en base a su porcentaje de su peso total.

##### **2.2.4.1.1.1 Método de ensayo**

Mediante este ensayo se determina la granulometría tanto del agregado fino, como del agregado grueso

##### **a) equipos**

- Una balanza de alta precisión de 0.1 gr.
- Recipientes para muestras de más de 1000 gr.
- Juego de tamices conformados por las mallas: N° 200, N° 100, N°60, N° 40, N° 30, N° 20 y N°10.

- Brochas.
- Cucharones.
- Palana.
- Bandejas de metal.
- Horno de secado termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de  $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**b) Preparación de la muestra**

- Se homogeniza y cuartea el agregado fino en estudio para separarlo en 05 grupos de 500 gr cada uno, con la finalidad de realizar 05 pruebas de tamizado.

**c) Procedimiento**

- Se pesan las muestras requeridas según la tabla N°3, para luego colocarla en la estufa a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , por un lapso de 24 horas y con la finalidad de extraer la humedad presente en la muestra (9% de humedad presente en la muestra).
- Se coloca la muestra en la malla superior del juego de tamices, dispuestos en forma decreciente, según abertura, se procede al tamizado en forma manual y se toma nota de los pesos que se obtiene.
- Si el tamizado se realiza en forma mecánica, se toma cada tamiz con tapa y base, imprimiéndoles diferentes movimientos de vaivén. No se permite en ningún caso, presionar las partículas con la mano para que éstas pasen a través del tamiz
- Si en el transcurso de un minuto no pasa más de 1% en peso del tamizado se dará por concluida.

#### **2.2.4.1.2 Módulo de finura (ASTM C 136 – NTP 400.012)**

Este método de ensayo se utiliza para determinar la graduación de materiales propuestos para su uso como agregados o que están siendo utilizados como agregados. Los resultados se usan para determinar la conformidad de la distribución por tamaños de partículas con los requisitos aplicables de la especificación requerida y para proporcionar los datos necesarios para el control de la producción de varios productos de agregados y de mezclas que contengan agregados. Los datos también pueden ser útiles para desarrollar relaciones concernientes a la porosidad y al acomodo de partículas.

##### **2.2.4.1.2.1 Especificaciones técnicas**

Las especificaciones que a continuación se dan, están referidas exclusivamente al agregado fino, puesto que en la estimación de proporciones de los agregados se emplea únicamente el módulo de finura del agregado fino.

- El módulo de finura varían entre 2.2 y 2.8 con este ensayo se obtienen concretos de buena trabajabilidad y reducida segregación.
- Los módulos de finura que tienen valores entre 2.8 y 3.2 son los más indicados para producir concretos de alta resistencia.
- Donde un valor menor que 2,0 indica una arena fina 2,5 una arena de finura media y más de 3,0 una arena gruesa.

Para nuestro tema de investigación se tiene un módulo de finura de 2.04, la que corresponde a arena fina.

### 2.2.4.1.3 Determinación de secado del agregado fino (ASTM C 136)

#### a) Equipos

- Balanza con sensibilidad de 0.1 gr y capacidad no menor de 1 kg.
- Frasco volumétrico, cuya capacidad sea 1000 cm<sup>3</sup> calibrado hasta 0.10 cm<sup>3</sup> a 20° C.
- Molde cónico, metálico, diámetro menor 4 cm, diámetro mayor 9 cm y altura 7.5 cm.
- Varilla de metal, con un extremo redondeado de (25+-) gr de peso.

#### b) Preparación de la muestra

Se coloca aproximadamente 1000 gr de agregado fino, obteniendo del agregado que se desea ensayar a través de un cuarteo, después se seca al horno y luego se satura.

Luego de saturado se extiende sobre una superficie plana expuesta a una corriente suave de aire tibio y remuévala con frecuencia hasta lograr un secado uniforme, se continuará esta operación hasta que los granos finos no se adhieran marcadamente entre sí.

Luego se coloca el agregado fino en forma suelta en el molde cónico se golpea la superficie suavemente 25 veces con varilla de metal y se levanta el molde verticalmente. Si existe humedad libre, el cono del agregado fino mantendrá su forma. Se sigue secando, revolviendo constantemente y se prueba a intervalos frecuentes hasta que el cono se derrumbe al quitar el molde.

#### c) Procedimiento

- Se extrae una mezcla 500 gr de este material, se introduce con cuidado en una fiola de capacidad de 1000 ml, a continuación se llena con agua hasta la marca indicada, determinado previamente la cantidad de agua añadida. Se somete a la acción de la bomba de vacíos para eliminar las burbujas de aire y para luego completar con agua hasta la marca.
- Después de la bomba de vacíos y de haber enrasado hasta los 1000 cm<sup>3</sup>, con cuidado se saca el agregado fino del frasco, se seca hasta peso constante a una temperatura de 100° C - ||0° C, se enfría a temperatura ambiente en un secador y se pesa

#### 2.2.4.1.3.1 Expresión de resultados agregado fino

##### a) Peso específico de masa

$$Pe = \frac{W_o}{V - V_a} \dots (1)$$

Pe = Peso específico de masa.

V = Volumen del frasco (cm<sup>3</sup>).

Wo = Peso en el aire de la muestra secada en estufa (gr)

Va = Peso en (gr) o volumen (cm<sup>3</sup>) del agua añadida al frasco

##### b) Peso específico de masa saturada con superficie seca

$$P_{esss} = \frac{500}{V - V_a} \dots (2)$$

P<sub>esss</sub> = Peso específico del material saturado con superficie seca.

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

Wo = Peso en el aire de la muestra secada en estufa (gr)

Va = Peso en (gr) o volumen (cm<sup>3</sup>) del agua añadida al frasco

**c) Peso específico aparente**

$$Pea = \frac{W_o}{(V-Va)-(500-W_o)} \dots (3)$$

Pea = Peso específico aparente.

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

Wo = Peso en el aire de la muestra secada en estufa (gr)

Va = Peso en (gr) o volumen (cm<sup>3</sup>) del agua añadida al frasco

**d) Porcentaje de absorción**

$$Abs = \frac{500-W_o}{W_o} * 100 \dots (4)$$

Abs = Porcentaje de absorción.

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

Wo = Peso en el aire de la muestra secada en estufa (gr)

Va = Peso en (gr) o volumen (cm<sup>3</sup>) del agua añadida al frasco

**2.2.4.1.4 Contenido de humedad (ASTM C 566)**

Es la cantidad de agua que contiene el agregado en un momento dado. Los agregados generalmente se los encuentra húmedos y varían con el estado del tiempo, razón por la cual se debe determinar frecuentemente el contenido de humedad.

- Seco.- no existe humedad en el agregado.
- Seco al aire: Cuando existe algo de humedad en el interior del árido, es característica en los agregados que se han dejado secar al medio ambiente.
- Saturado y superficialmente seco: estado en el cual todos los poros del agregado se encuentran llenos de agua.
- Húmedo: en este estado existe una película de agua que rodea el agregado llamado agua libre, que viene a ser la

cantidad de exceso respecto al estado saturado superficialmente seco.

#### **2.2.4.1.4.1 Especificaciones técnicas**

El contenido de humedad es una de las propiedades físicas del agregado que no se encuentra limitada en especificaciones, pero se puede manifestar que en los agregados finos el contenido de humedad puede llegar a representar el 8% o más, mientras que en el agregado grueso dichos contenidos puede representar un 4%.

#### **2.2.4.1.4.2 Método de ensayo**

##### **a) Equipo**

- Balanza con sensibilidad de 0.1 gr.
- Recipiente adecuado para colocar la muestra de ensayo
- Estufa capaz de mantener una temperatura de 105° C a 110° C

##### **b) Procedimiento**

- Se coloca la muestra húmeda a ensayar en un depósito adecuado determinándose dicho peso.
- Llevar el recipiente con muestra húmeda a la estufa y dejarlo allí por 24 horas.
- Luego sacar la muestra dejar enfriar y finalmente pesarlo nuevamente

##### **c) Contenido de humedad**

El contenido de humedad se expresa así:

$$W\% = \frac{H}{M_s} * 100 \dots (5)$$

Donde:

$H = \text{Peso del agua evaporada ((peso del recipiente + Muestra húmeda) - (peso del recipiente + muestra seca))}$

$MS = \text{Peso de la muestra seca.}$

#### **2.2.4.1.5 Peso unitario (ASTM C 29 – NTP 400. 017)**

Es el peso del material seco que se necesita para llenar cierto recipiente de volumen unitario.

El peso unitario de los agregados está en función directa del tamaño, forma y distribución de las partículas y el grado de compactación (suelto o compacto).

##### **2.2.4.1.5.1 Especificaciones técnicas**

En las arenas el peso unitario compacto varía entre 1550 kg/m<sup>3</sup> y 1750 kg/m<sup>3</sup> disminuyendo cerca de un 20% para el peso unitario suelto.

##### **2.2.4.1.5.2 Método de ensayo**

###### **a) Equipo**

- Balanza que permite lecturas de por lo menos 0.1% del peso de la muestra.
- Barra compactadora de acero, circular, recta, de 5/8" de diámetro y 60 cm de largo con un extremo redondeado.
- Recipiente cilíndrico y de metal suficientemente rígido para condiciones duras de trabajo.

###### **b) Preparación de la muestra**

Para la determinación del peso unitario, la muestra deberá estar completamente mezclada y seca a temperatura ambiente.

###### **c) Procedimiento**



### **Peso unitario compactado**

Existen dos procedimientos para determinar el peso unitario compactado.

El método de apisonado para agregado cuyo tamaño máximo no sea mayor de 5cm y el método de percusión, para agregado cuyo tamaño máximo está comprendido entre 5cm y 10cm.

A continuación se describe el primer método por ser el más utilizado.

### **Peso unitario suelto**

El siguiente procedimiento se empleada en agregados que tengan un tamaño máximo no mayor de 10 cm.

Se llena el recipiente con una pala hasta rebosar, se deja caer el agregado desde una altura no mayor de 5 cm. Por encima del borde superior del recipiente.

Se toma las precauciones necesarias para impedir en lo posible la segregación de las partículas. Se elimina el excedente del agregado con una reglilla. Se elimina el recipiente ( $W_s$ ).

Se obtiene el peso unitario suelto del agregado, multiplicando por el factor ( $f$ )

#### **d) Peso unitario**

El peso unitario del agregado es el producto del peso neto de la muestra por el factor ( $f$ ) o entre el volumen interior del molde, producto de la medida de sus dimensiones.

$$P. U. = W_s * (f) = \frac{W_s}{V_r} \dots (6)$$

**Dónde:**

$W_s$  = Peso neto del agregado (seco o compacto)

$F$  = Factor ( $f$ ) = 313

$V_r$  = Volumen del recipiente

P.U. = Peso Unitario

#### **2.2.4.1.6 Porcentaje de finos (ASTM C 117 – NTP 400.018)**

Son elementos perjudiciales que cuando se hallan presentes en los agregados disminuyen las propiedades fundamentales del concreto, tanto en la elaboración como en su comportamiento posterior.

##### **2.2.4.1.6.1 Especificaciones técnicas**

Según la norma ASTM C – 33 los materiales muy finos como: la arcilla, limo y el polvo de trituración que pasa la malla N° 200.

##### **2.2.4.1.6.2 Método de ensayo**

###### **a) Equipo**

- Balanza que permita la lectura por lo menos el 0.1 del peso de la muestra a ensayar
- Tamices para determinar la muestra de ensayo.
- Envase de tamaño suficiente para contener la muestra cubierta por agua.
- Estufa de tamaño máximo adecuado y capaz de mantener una temperatura de  $100^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$ .

###### **b) Muestra de ensayo**

Separación de los agregados por la malla N° 4 y luego puestas a la estufa por 24 horas. Después de ello se realiza una selección del material a ensayar por el método del cuarteo.

###### **c) Procedimiento**

- Después de secar y pesar se coloca la muestra de ensayo en el envase y se agrega agua en cantidad suficiente para separar las partículas más finas que el tamiz N° 200 y hacer que estas queden en suspensión.

- Se vierte el agua que contienen los sólidos suspendidos y sueltos en el tamiz N° 200, evitando en lo posible la decantación de las partículas más gruesas de la muestra.
- Se agrega agua nuevamente a la muestra que se halle en el envase, se agita y decanta como en el caso anterior.
- Se repite esta operación hasta que el agua de lavado sea clara.
- Se devuelve todo el material retenido en el tamiz N° 200 a la muestra lavada.
- Se seca el agregado hasta un peso constante a temperatura de 110° C +- 5°C y se pesa con aproximación de 0.1% de peso de la muestra.

#### d) PORCENTAJE DE FINOS

La cantidad de material que pasa el tamiz N° 200 se calcula de la siguiente manera:

$$F = \frac{W_0 - W_1}{W_0} * 100 \dots (7)$$

Dónde:

F = Porcentaje de material que pasa el tamiz N° 200

W<sub>0</sub> = Peso seco de la muestra original

W<sub>1</sub> = Peso seco de la muestra después del lavado.

### 2.2.4.2. Ensayos para el concreto fresco

#### 2.2.4.2.1 Elaboración de las probetas de concreto para prueba de resistencia a la compresión (NORMA: ASTM C 31, NTP 339.033)

##### a) Material y equipo

- Mezcla de concreto.
- 1 molde cilíndrico de 6 pulg. X 12 pulg.

- Varilla metálica de 5/8 pulg. X 60 cm.
- Palana pequeña.

#### **b) Procedimiento**

- Se coloca el molde de concreto sobre una superficie plana.
- Se vierte una capa de concreto hasta un tercio del volumen del molde.
- Se apisona con la varilla de acero liso dando 25 golpes distribuidos uniformemente sobre toda la mezcla.
- En seguida se coloca otras dos capas con el mismo procedimiento a 1/3 del volumen y consolidado, de manera que la barra penetre en la capa inmediata inferior en aproximadamente 1”
- En la última capa se coloca material en exceso para luego enraizar con la barra de acero.
- Con la ayuda de un mazo de plástico se golpea con 25 golpes el molde alrededor de esta manera eliminaremos los espacios vacíos y se distribuirá uniformemente la mezcla, para evitar cangrejeras al desmoldar las muestras de concreto.
- Se coloca en un lugar seguro y a la sombra a temperatura ambiente durante 24 horas.
- Transcurrido este tiempo se procede a desmoldar el espécimen, para luego colocar en agua para el respectivo curado, cubriendo por completo todas sus caras.

#### **2.2.4.2.2 Asentamiento (SLUMP) – (ASTM C 143-78)**

El ensayo de consistencia del concreto o “slump test”, sirve para evaluar su capacidad para adaptarse con facilidad al encontrado que lo va a contener manteniéndolo homogéneo con un mínimo de vacíos. El procedimiento se explica ampliamente en la norma ASTM C 143 – 78 “Slump of Portland Cement Concret”, la clasificación de la mezcla según consistencia se describe en la siguiente tabla.

**Tabla N° 6: Clasificación de las mezcla de concreto por consistencia.**

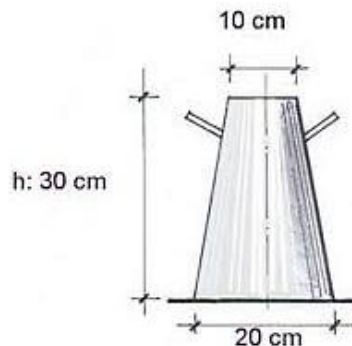
| Consistencia    | Asentamiento (cm) | Observaciones                   |
|-----------------|-------------------|---------------------------------|
| Seca o rígida   | 0 – 3             | Difícil de trabajar             |
| Medianamente    | 3 – 8             | Apropiada para zapatas          |
| Plástica        | 8 – 12            | Encofrados amplios y pavimentos |
| Fluida o suelta | 12 – 15           | Compactación por chuseado       |

**Fuente:** Abanto (2013)

#### a) Equipo

- El molde tiene forma de tronco de cono.
- El molde se construye con plancha de acero galvanizado, para facilitar la operación.
- Para compactar el concreto se utiliza una barra lisa de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud y punta semiesférica.

**Gráfico N° 1: Cono de Abrams**



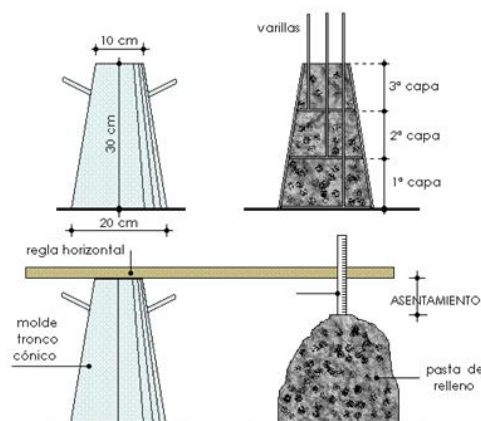
**Fuente:** Elaboración de los investigadores

#### b) Procedimiento

- Se coloca el cono sobre una superficie lisa (plancha metálica) horizontal no absorbente.
- Se humedece el interior del cono.
- Se coloca las manos en las asas superiores del cono y se ejerce presión y de la misma manera pisando las aletas inferiores y manteniéndolo inmóvil.

- Se vierte una capa de concreto hasta un tercio del volumen.
- Con la barra de acero de 60 cm de larga x 3/8” de diámetro se apisona aplicando dos capas con el mismo procedimiento a 1/3 del volumen y consolidando de manera que la barra en la capa inmediata inferior en aproximadamente 1”
- En la última capa se llena con pasta de cemento de la mezcla que exceda el borde superior para luego enrazar con la barra de acero.
- Levantar suavemente el cono verticalmente.
- Se coloca el cono al costado de la muestra, se pone la barra en la parte superior del cono y con una regla graduada se mide el asentamiento.
- Se estima que desde el inicio de la operación hasta el término no deben transcurrir más de 2 minutos; de los cuales el proceso de desmote no toma más de 5 segundos.
- Si se presenta falla o corte con separación de la mezcla se rechaza el ensayo y se repite la operación.

**Gráfico N° 2: Ensayo con el cono de Abrams**



**Fuente:** Elaboración de los investigadores

### 2.2.4.3. Ensayos para el concreto endurecido

#### 2.2.4.3.1 Resistencia a la compresión (ASTM C 39)

La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) a una edad de 28 días se le designa con el símbolo  $f'c$ . Para determinar la resistencia a la compresión, se realizan pruebas especímenes de mortero o de concreto.

##### a) Equipo

- Máquina universal para ensayo de compresión.
- Bases para probeta de placas circulares.

##### b) Procedimiento

- Se ubica el espécimen de concreto endurecido en la máquina de resistencia a la compresión se cubre sus extremos (superior e inferior), con placas cilíndricas para uniformizar la fuerza en toda el área de contacto.
- Se somete a la compresión aplicando cargas graduales hasta que la muestra llegue a fallar.
- Con la carga de rotura se calcula el esfuerzo a la compresión.

### 2.3. Definición de términos básicos

- **Propiedad Geoquímica:** Son las propiedades químicas que modifican la composición del suelo. (SGS).
- **Propiedad Mecánica:** Propiedades de un material, como la resistencia, que describe que tanto resiste la fuerza aplicada, incluyendo fuerzas de tensión o de compresión, de impacto, cíclicas o de fatiga, o las fuerzas de altas temperaturas.([www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com))
- **Pasivo ambiental:** sitio geográfico contaminado por la liberación de materiales, residuos extraños o aleatorios, que no fueron remediados oportunamente y siguen causando efectos negativos al ambiente. Frente a la existencia

de Pasivos ambientales es necesario recurrir no solo a una remediación o mitigación sino también a resarcir los daños causados en el pasado. (www.wikipedia.com).

- **Relleno en pasta:** El relleno en pasta es un fluido con alta concentración de sólidos, se compone por una mezcla con cemento y escoria metalúrgica molida, para obtener una pasta con valores de resistencia a la compresión para el relleno de labores subterráneas, (www.wikipedia.com).
- **Agua:** elemento fundamental en la preparación del concreto, permite la trabajabilidad del mismo, la cantidad a utilizar depende también del diseño de mezclas. (Rivva,2013).
- **Cemento:** producto comercial que tiene propiedades hidratantes al actuar con el agua, la cantidad se especifica en el diseño de mezclas. (Abanto, 2013).
- **Concreto:** es la mezcla de cemento, agregados, agua y aire en adecuadas proporciones para obtener propiedades de resistencia cuando este endurezca (Abanto, 2013).
- **Consistencia:** grado de humedecimiento de la mezcla, depende de la cantidad de agua usada y se mide a través del ensayo de Slump. (Gómez, 2012).
- **Compresión:** la resistencia a la compresión es la carga máxima para una unidad de área soportada por una muestra antes de fallar (agrietamiento, rotura), se medirá en valores de  $F'c$  expresados en  $kg/cm^2$  (Rivva, 2013).
- **Dosificación:** Proceso de medición, por peso o por volumen de los ingredientes y su introducción en la mezcladora para una cantidad de concreto, cada cantidad se obtiene en el diseño de mezclas elaborado. (Gómez, 2012).
- **Granulometría:** Distribución del tamaño de las partículas de agregado, que se determina por la separación a través de tamices normalizados. (Abanto, 2013).
- **Mezclado:** Proceso que tiene por finalidad cubrir la superficie de los agregados con la pasta de cemento, para producir una masa homogénea. (Rivva, 2013).
- **Relave Minero:** Son desechos tóxicos subproductos de procesos mineros y concentración de minerales, usualmente una mezcla de tierra, minerales, agua y rocas, la cantidad de relave a utilizar depende de la dosificación del agregado fino. (Gómez, 2012).
- **Relación agua cemento (a/c):** es la relación principal que influye en la resistencia del concreto, siendo determinada en el diseño de mezclas (Gómez, 2012).



- **Resistencia a la compresión:** es el máximo esfuerzo que puede soportar las probetas de concreto, el cual se mide en  $\text{kg/cm}^2$  (Abanto, 2013).
- **Tamaño máximo nominal (TMN):** es la menor abertura de la malla a través de la cual puede pasar el agregado. (Rivva, 2013).
- **Tamizado:** método por donde se pasan los agregados por tamiz de un tamaño concreto para producir una mezcla homogénea con un tamaño de granulo específico. (Gómez, 2012).
- **Agregados:** (gruesos o finos) materiales inertes que se combinan con los aglomerantes y el agua para formar el concreto, la cantidad a utilizar en cada diseño se define según lo especificado en el diseño de mezclas. (Rivva, 2013)

## CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS

### 3.1. Formulación de la hipótesis

Las mediciones de las propiedades geoquímicas y mecánicas determinarán la viabilidad de uso del relave minero como relleno en pasta en labores mineras subterráneas.

### 3.2. Operacionalización de variables

#### 3.2.1. Variable dependiente

- Pasta de relleno

#### 3.2.2. Variables independientes

- Análisis geoquímico del relave minero.
- Conjunto de pruebas de laboratorio del relave minero.

Tabla N° 7: Operacionalización de variables

| VARIABLE DEPENDIENTE                   | DEFINICIÓN CONCEPTUAL   | DIMENSIONES                         | INDICADORES  |
|--|---|-------------------------------------|--|
| Relleno en pasta                       | Es un fluido con alta concentración de sólidos, se compone por una mezcla de cemento y escoria metalúrgica molida, para obtener una pasta con valores de resistencia a la compresión. | Resistencia a la compresión (f'c)   | Valor de f'c de las probetas de concreto, expresadas en kg/cm <sup>2</sup> |
| VARIABLE INDEPENDIENTE                 | DEFINICIÓN CONCEPTUAL   | DIMENSIONES                         | INDICADORES  |
| Análisis geoquímico del relave minero. | Son las propiedades químicas que modifican la composición del suelo. (SGS)  | Propiedades geoquímicas del relave. | Los valores son: %, gr/TM y Oz/TM.   |

|  |   |             |   |
|--|---|-------------|---|
| <p>Conjunto de pruebas de laboratorio del relave minero.</p> | <p>Se apoya en el estudio de distintas muestras mediante su análisis en laboratorio y brinda un resultado objetivo, que puede ser cuantitativo o cualitativo (positivo o negativo). (Wikipedia)</p> | <p>ASTM</p> | <p>Análisis granulométrico, módulo de finura, determinación de secado, contenido de humedad, peso unitario y porcentaje de finos,</p> |
|--|---|-------------|---|

**Fuente:** Elaboración de los investigadores

## **CAPÍTULO 4. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1. Tipo de diseño de investigación**

El tipo de diseño de investigación del presente estudio es No experimental, Transversal, Descriptivo.

### **4.2. Material de estudio.**

#### **4.2.1. Unidad de estudio.**

60 kg. de relave minero de la mina Paredones.

#### **4.2.2. Población.**

Relave minero de la mina Paredones, que tiene una extensión de 6,3 hectáreas y volumen aproximado de 4.40 millones de toneladas.

#### **4.2.3. Muestra.**

300 kg de relave minero de 6 calicatas. Para obtener estas muestras se realizaron las calicatas, en una malla de muestreo de 50 m x 50 m en el plano de la relavera.

### **4.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos**

#### **4.3.1. Para recolectar datos.**

Para recolectar se realizaron las mediciones de las pruebas y posteriormente ingresadas a una base de datos para su procesamiento, el procedimiento se detalla a continuación:

##### **a) Procedimiento**

- De los 60 Kg. de muestra obtenida, se procede a secar, cuartear, homogenizar y separar de acuerdo al diseño de establecido para cada tipo de prueba a realizar.
- Después de obtener las muestras de agregados se procede a los ensayos necesarios según norma para el diseño de mezclas, considerando el relave en lugar del agregado, comenzando con el

análisis granulométrico el relave minero según la Norma ASTM C 136, este ensayo nos indicó la distribución de partículas del relave minero, el cual nos indicara la cantidad de finos que contiene el agregado según la Norma ASTM C 117; se procedió con el ensayo de peso unitario seco y compactado establecido por la Norma ASTM C 29, el otro ensayo requerido es el del peso específico y absorción, establecido por la Norma ASTM C 127, se continuó con el ensayo de contenido de humedad especificado en la Norma ASTM C 566 el cual indica la cantidad de agua que tiene los agregados en un momento dado.

- Después de determinar las propiedades del relave según las Normas establecidas se procedió a la elaboración de las probetas de concreto para la prueba de la resistencia a la compresión según la Norma ASTM C 31, la cual describe los materiales, condiciones, precauciones y procedimientos para una adecuada elaboración de la mezcla de concreto.
- Durante el proceso de elaboración de las probetas de concreto se realizó el ensayo de asentamiento o Slump establecido por la Norma ASTM C 143 – 78 el cual nos indicó la consistencia de la mezcla de concreto, este ensayo se efectuó para el diseño establecido.
- Finalmente cuando el concreto endureció y fue sometido al curado se realizó el ensayo de resistencia a la compresión según la norma ASTM C 39.

**b) Materiales:**

- Cemento portland tipo I
- Relave minero
- Agua
- Molde de acero de 15 cm x 30 cm (Slump)
- Varilla de fierro liso diámetro 5/8”, de 60 cm de largo y con una de sus extremos boleados
- Mazo de goma de 0.80 kg
- Badilejo
- Baldes de plástico

- Cono de acero para determinar humedad
- Bandejas de acero para realizar las mezclas
- Balanza a precisión

#### **4.3.2. Para analizar información:**

De las mediciones realizadas en laboratorio, se realizaron cuadros comparativos para obtener que los resultados se encuentren dentro de la norma ASTM C 128 y ASTM C 36.

Después de la prueba de compresión se anotaron en cuadros comparativos las cargas últimas obtenidas de las probetas, de esta manera se determinaron las resistencias de cada probeta pudiendo cerciorar la veracidad de la hipótesis planteada.

#### **4.4. Producto de aplicación profesional**

La metodología involucrada para el desarrollo de la investigación consistió en realizar el diseño de mezclas para obtener una dosificación con una resistencia a la compresión de  $210 \text{ kg/cm}^2$ . Se reemplazó la dosificación del agregado fino por relave minero, luego se realizaron 06 probetas y finalmente se realizó el ensayo a compresión de cada probeta comparando las resistencias obtenidas, para ello se siguieron los siguientes pasos:

- Se recolectó un aproximado de 60 Kg. de relave minero proveniente de la ex unidad minera Paredones,
- Se procedió a realizar el diseño de mezclas en computadora, utilizando el método ACI.
- Se realizó las mezclas reemplazando el agregado fino por el relave minero.
- Se elaboró 6 probetas para la dosificación del concreto, es decir 6 probetas para una resistencia de  $210 \text{ kg/cm}^2$ .
- Se secó por 24 horas todas las muestras de concreto, donde permanecieron sin ser perturbados durante el periodo de curado inicial.
- Se identificó cada muestra de concreto, colocando el nombre, fecha de elaboración y factor de resistencia.
- Se desmoldó cada probeta.

- Después de desmoldar las probetas y antes de que transcurran 30 minutos después de haber removido los moldes, se almacenó las probetas en condiciones adecuadas de humedad, siempre cubiertas por agua a una temperatura de entre 23 y 25° C por 07 días.
- Se secó superficialmente cada probeta y se procedió al ensayo de compresión.
- Se registró cada uno de los resultados.

## CAPÍTULO 5. RESULTADOS

### 5.1. Ensayos de los agregados

#### 5.1.1. Resumen de los ensayos

**Tabla N° 8: Propiedades mecánicas de relave minero**

|                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|
| Peso específico de masa | 2.87 gr/cm <sup>3</sup> |
| Densidad                | 3.08 gr/cm <sup>3</sup> |
| Humedad natural         | 9%                      |
| Absorción               | 2.5%                    |
| Módulo de finura        | 3.79 $\mu$ m            |
| Partículas < # 200      | 12.2%                   |

**Fuente:** Elaboración de los investigadores.

**Tabla N° 9: Propiedades de cemento**

|                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|
| Peso específico de masa | 2.44 gr/cm <sup>3</sup> |
| Densidad                | 3.15 gr/cm <sup>3</sup> |

**Fuente:** Elaboración de los investigadores.

#### 5.1.2. Diseño de mezclas

De acuerdo a los ensayos de agregados se hizo el diseño de mezclas utilizando el método ACI. Este método es el más utilizado actualmente para diferentes diseños de resistencias.



**Tabla N° 10: Diseño de mezclas**

| Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> ) |           | Dosificación c – r – H <sub>2</sub> O |       |
|-----------------------------------|-----------|---------------------------------------|-------|
| 210                               |           | 1:2:1.5                               |       |
| Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> ) | Prueba    | Dosificación c – r – a                | Slump |
| 210                               | Probeta 1 | 1:2:1.5                               | 3.5"  |
| 210                               | Probeta 2 | 1:2:1.5                               | 3.5"  |
| 210                               | Probeta 3 | 1:2:1.5                               | 3.5"  |
| 210                               | Probeta 4 | 1:2:1.5                               | 3.5"  |
| 210                               | Probeta 5 | 1:2:1.5                               | 3.5"  |
| 210                               | Probeta 6 | 1:2:1.5                               | 3.5"  |

**Fuente:** Elaboración de los investigadores.

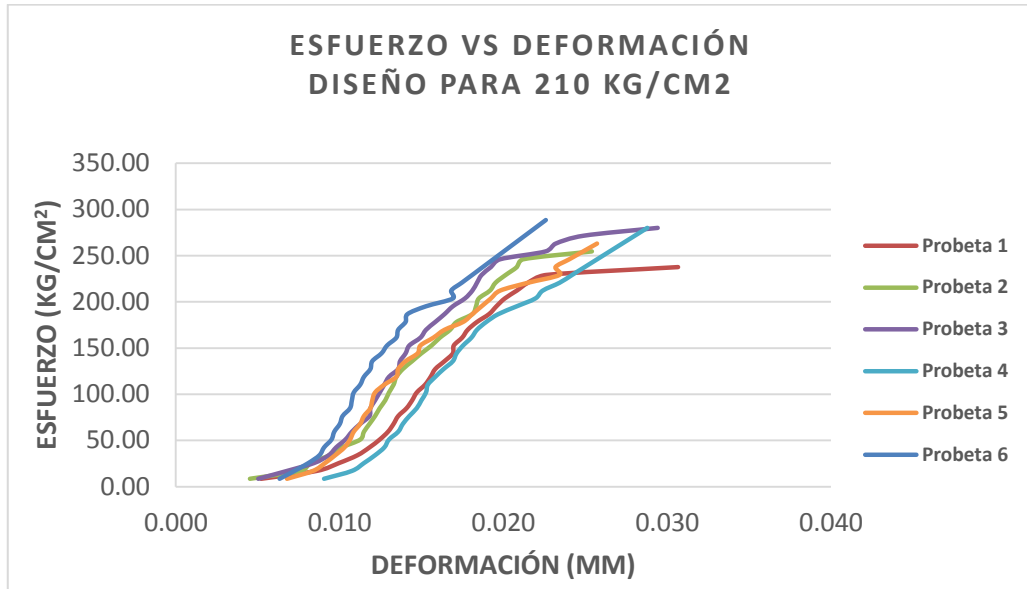
### 5.1.3. Esfuerzos y deformaciones obtenidas de la prueba a compresión de las probetas de concreto

**Tabla N° 11: Esfuerzos y deformaciones**

| Resistencia según diseño (F <sub>c</sub> ) Kg/cm <sup>2</sup> | Probeta   | Resistencia obtenida en laboratorio (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|---|-----------|---|
| 210   | Probeta 1 | 236.85  |
|   | Probeta 2 | 253.95  |
|   | Probeta 3 | 280.81  |
|   | Probeta 4 | 272.07  |
|   | Probeta 5 | 263.82  |
|   | Probeta 6 | 289.30  |
| <b>Deformación Promedio</b>                                   |           | <b>266.13</b>   |

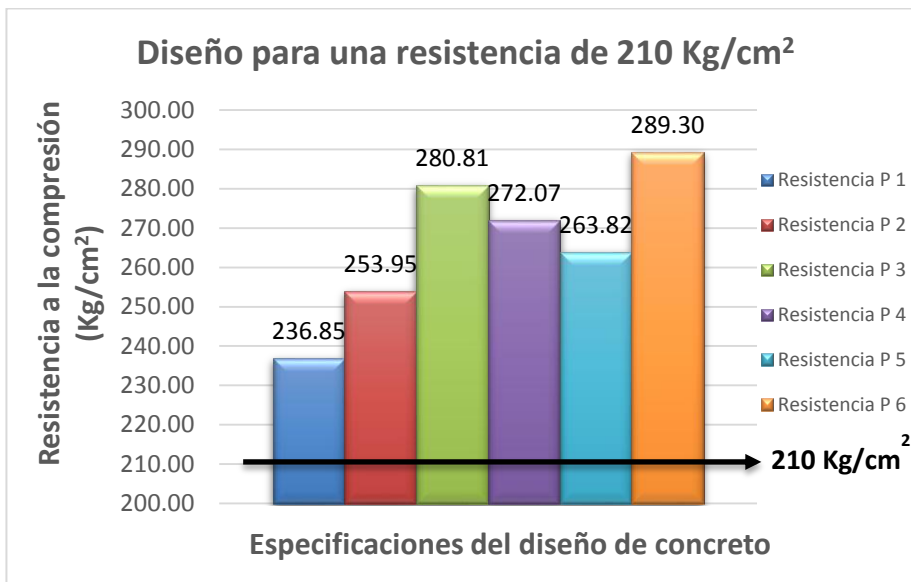
**Fuente:** Elaboración de los investigadores.

**Gráfico N° 3: Esfuerzo vs deformación de probetas**



Fuente: Elaboración de los investigadores.

**Gráfico N° 4: Diseño para la resistencia 210 kg/cm<sup>2</sup>**



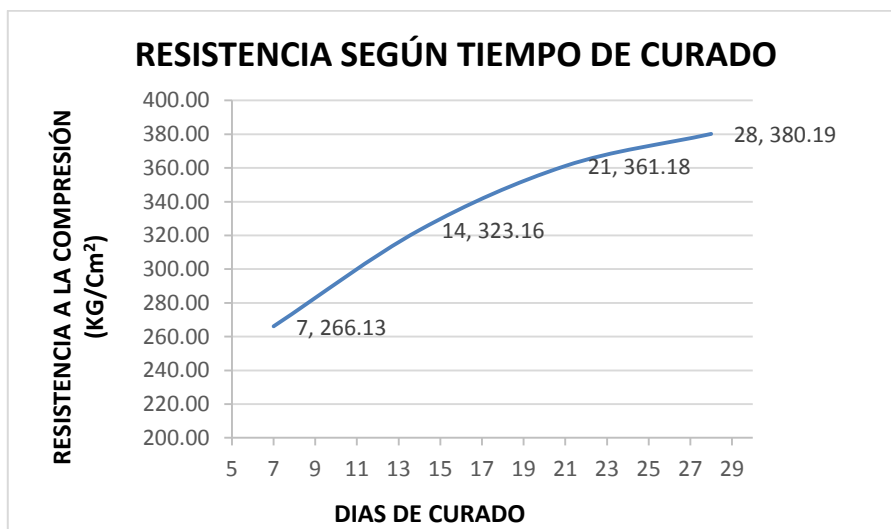
Fuente: Elaboración de los investigadores.

**Tabla N° 12: Resistencia progresiva en el proceso de curado según ACI 318.2014**

| Días de curado | Porcentaje de curado | Resistencia F'c |
|----------------|----------------------|-----------------|
| 7              | 70%                  | 266.13          |
| 14             | 85%                  | 323.16          |
| 21             | 95%                  | 361.18          |
| 28             | 100%                 | 380.19          |

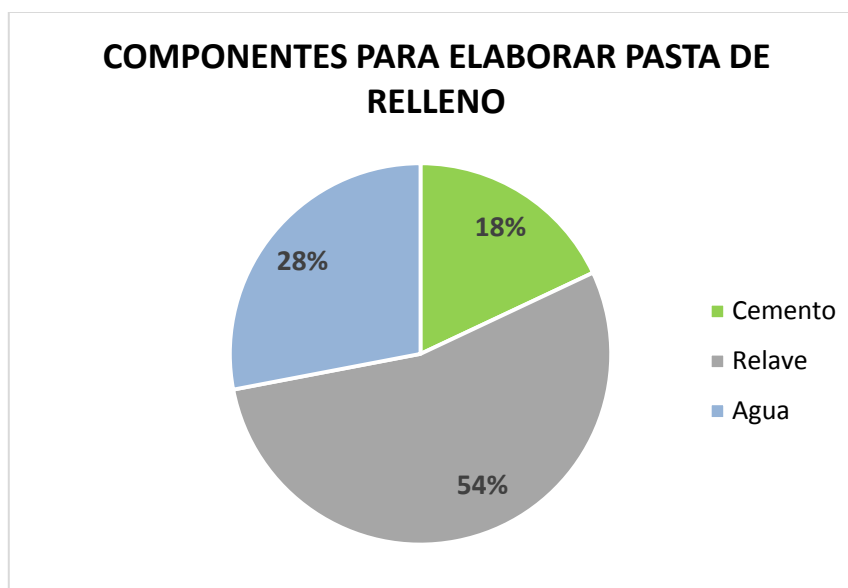
Fuente: Elaboración de los investigadores.

**Gráfico N° 5: Resistencia según tiempo de curado**



Fuente: Elaboración de los investigadores.

**Gráfico N° 6: Porcentaje de dosificación según diseño**



Fuente: Elaboración de los investigadores.

## CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN

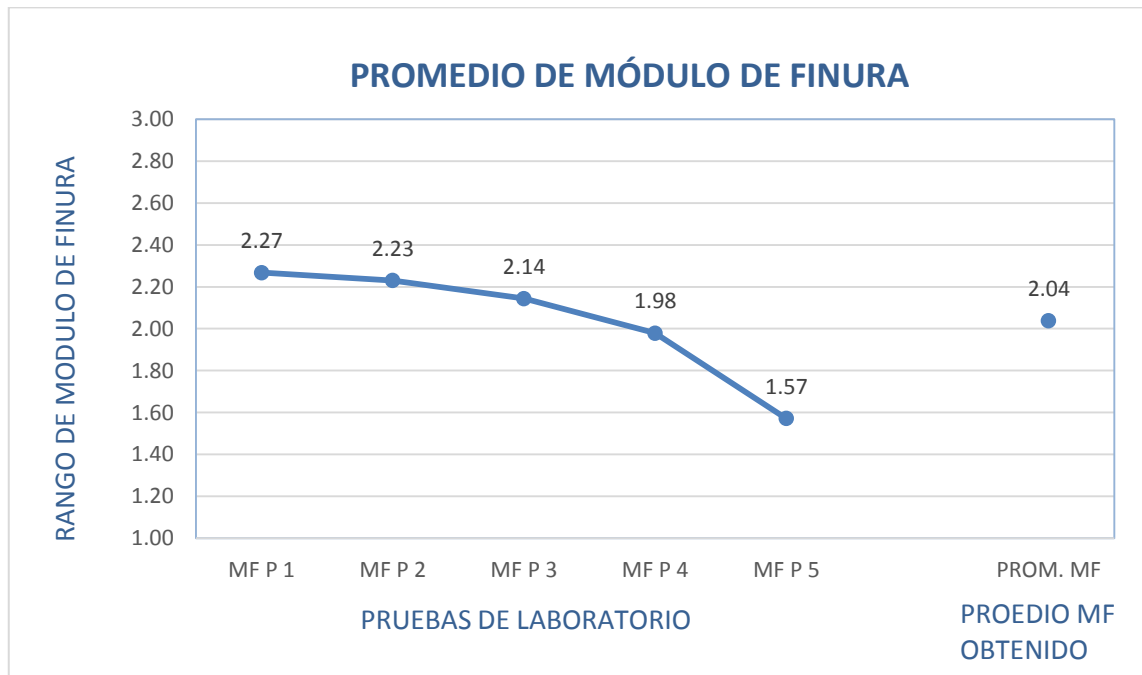
Al no existir ninguna norma que indique el método para los ensayos del relave minero se realizaron las pruebas tomando en cuenta las normas aplicadas a agregado fino.

### 6.1. Resultados de los ensayos de los agregados

#### 6.1.1. Módulo de finura

Según la NTP 400.012 el valor del módulo de finura de agregado fino ensayado debe indicar una variación comprendida  $2.3 < mf < 3$ , el módulo de finura es un tamaño ponderado mientras mayor sea el valor menor será la necesidad de agua. Observamos que el valor de 2.04 obtenido del ensayado con relave minero, el cual cumple con las especificaciones.

**Gráfico N° 7: Promedio de módulo de finura**



**Fuente:** Elaboración de los investigadores

#### 6.1.2. Peso específico y absorción

Las normas NTP 400.021 y NTP 400.022, indican que los valores para el agregado fino para el peso específico varían entre  $2.3 \text{ gr/cm}^3 < pe < 2.9 \text{ gr/cm}^3$  para concretos normales y absorción debe variar entre 0.87% a

2.75%. Según los ensayos realizados, el valor del peso específico del relave minero es de  $2.87 \text{ gr/cm}^3$ ; la norma indica también que el porcentaje de absorción debe variar entre 0.87% a 2.75%, cumpliendo con este requerimiento el relave minero presentando 2.5% de absorción, indicándonos que el relave minero es un material que cumple los requerimientos para ser reemplazado por el agregado fino.

#### **6.1.3. Contenido de humedad**

La norma ATM C 566 indica que el agregado fino deberá tener un contenido de humedad de 8% a más, los resultados de los ensayos nos arrojan una humedad de 8.92% del relave minero, el cual nos indica la gran cantidad de absorción de agua que tiene a través de sus poros.

#### **6.1.4. Peso unitario**

La norma NTP 400.017 indica el peso unitario del agregado fino debe variar entre  $1400 \text{ kg/m}^3$  y en el relave minero tiene un peso unitario de  $3084.52 \text{ kg/m}^3$ .

#### **6.1.5. Porcentaje de finos**

La norma NTP 400.018 indica que el porcentaje de fino máximo para el agregado fino es de 7%, sin embargo el relave minero contiene más de la mitad de su proporción compuesta de finos con un total de 12%, lo que lo hace un material aparentemente poco resistente y que requiere mayor cantidad de agua, haciendo la mezcla de concreto menos resistente y que requiere mayor cantidad de agua haciendo la mezcla de concreto menos resistente, por ello en primera instancia se diría que la hipótesis planteada no funcionaría, sin embargo, según los resultados obtenidos después del ensayo de compresión a las probetas de concreto con relave minero después 7 días de curado, se pudo observar que la hipótesis plantada se cumple, si bien las probetas elaboradas con un factor de resistencia de  $210 \text{ Kg/m}^2$ , lo que nos lleva a concluir que las propiedades geoquímicas y mecánicas del pasivo ambiental (relave minero) se puede utilizar como relleno en pasta para labores mineras subterráneas.

## CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

- Con los resultados obtenidos podemos concluir de que las propiedades geoquímicas y mecánicas del relave minero ubicado en Paredones cumple las condiciones idóneas para elaborar relleno en pasta.
- Los resultados obtenidos en el análisis geoquímico del relave minero realizado por SGS, indica que no contiene elementos re aprovechables con valor económico.
- La prueba de Slump con los que se trabaja actualmente está en el rango de 3 - 3.5 pulgadas, obteniendo una resistencia plástica que es el requerido para el relleno en pasta.
- El control de calidad de la mezcla (granulometría) y la prueba de Slump (consistencia) nos proporcionan una información adecuada para obtener una óptima resistencia a la compresión.
- La incorporación de relave por el agregado fino hizo posible tener como resultado una resistencia a la compresión mayor a 210 Kg/cm<sup>2</sup>.

## **CAPÍTULO 8. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar otros estudios del relave minero, para identificar las propiedades del material con características muy distintas al agregado fino para que sea adecuado para utilizarlo en una mezcla de concreto.
- Se propone realizar estudios que analicen el comportamiento del concreto con relave minero en construcciones civiles.
- Es recomendable realizar un estudio analítico previo que permita conocer las propiedades de los relaves cuando participan en una mezcla con cemento y luego proyectar los costos operativos.

## CAPÍTULO 9. REFERENCIAS

- Abanto, C: (2013). Tecnología del concreto – Perú, extraído de la siguiente dirección: [https://www.academia.edu/4700777/Tecnologia\\_del\\_Concreto\\_Flavio\\_Abanto](https://www.academia.edu/4700777/Tecnologia_del_Concreto_Flavio_Abanto).
- Anicama, A: (2008) estudio experimental del empleo de materiales de desecho de procesos mineros en aplicaciones prácticas con productos cementicos (tesis de titulación). Pontificia Universidad Católica, Perú.
- Cantorín, O (2013). Método de relleno en pasta en la Unidad Minera San Rafael, Minsur, por Ing. Óscar Cantorín – Jefe de la Planta de Relleno en pasta.
- Céspedes, J. (2012). Relave de alta ley. En revista de la Universidad Andrés Bello, 4 (2) PP. 150 – 158.
- Chile. (2008). Reportaje de relaves mineros (en línea) Recuperado el 25 de octubre de 2012, de <http://www.youtube.com>.
- Cooperación (2011). El instituto Fraser y la Minería en el Perú. (en línea). Recuperando el 12 de octubre de 12 de octubre 2012 de [http://www.cooperacion.org.pe/actualidad – minera – nd 143](http://www.cooperacion.org.pe/actualidad-minera-nd-143).
- García, C.A. (2005). Evaluación técnico – económica de diversas alternativas de pavimentación del sector alto guacamayo. (Tesis de titulación). Universidad Austral. Chile.
- Ingeniería Ambiental (2006). Residuos Mineros. Perú, extraído de: <http://www.uhu.es/emilio.romero/docencia/Residuos%20Mineros.pdf>
- Llique (2014). Tesis “Comparación de la resistencia a compresión de concreto común y otros concreto usando relaves mineros en proporciones del 25 % y 50% de la dosificación del agregado fino.
- Marco Arana Zegarra. (2007). Agua y minería en Cajamarca. (en línea ) Recuperando el 25 octubre de 2012 de [http://www.scribd.com/doc/1993/minera – consumo humano y agricultura – Cajamarca – marco – Arana – GRUPOFIDES](http://www.scribd.com/doc/1993/minera-consumo-humano-y-agricultura-Cajamarca-marco-Arana-GRUPOFIDES).
- Ministerio de energía y minas. (2012). Decreto supremo que aprueba el reglamento de seguridad y salud ocupacional y otras medidas complementarias en minería. (en línea). Recuperado el 9 de octubre de 2012, de <http://www.minen.gob.pe/descripcion.php>



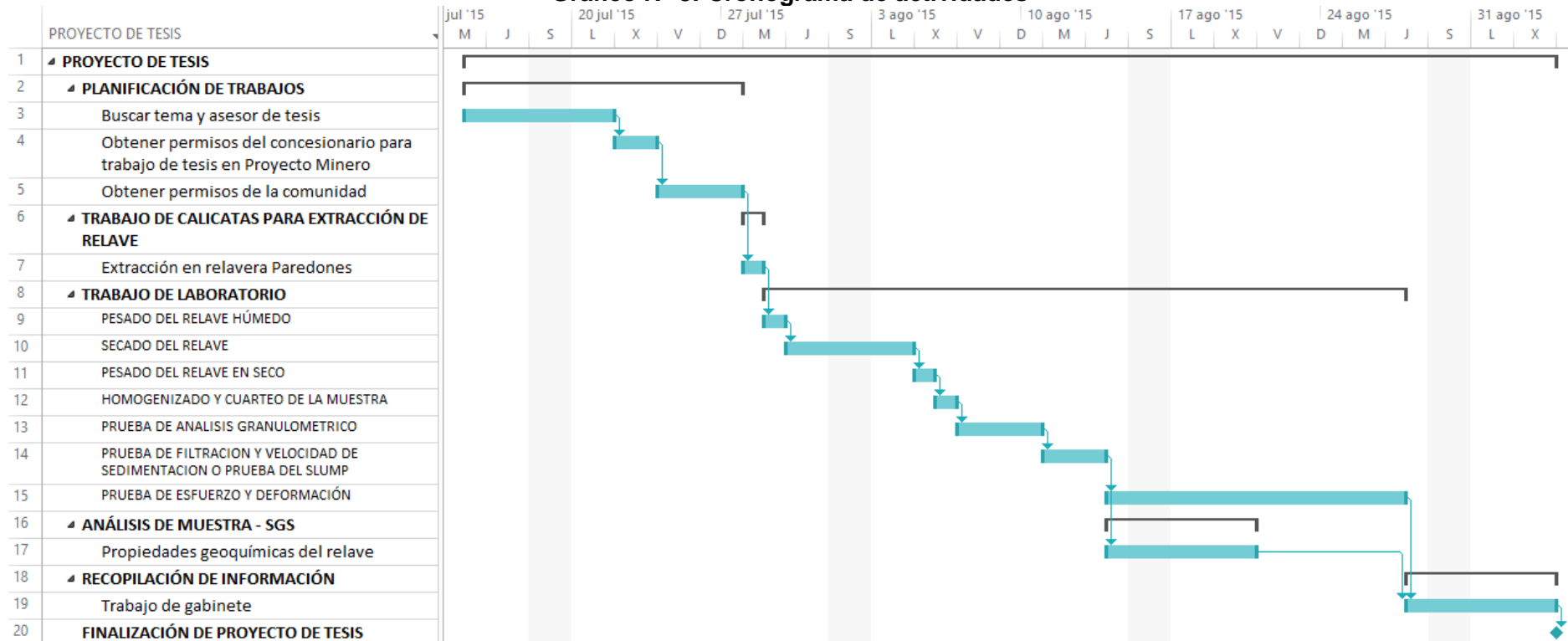
- Norma ASTM C 29. (2004). Método de ensaye estándar para determinar la densidad en masa (peso) e índice de huecos en los agregados.
- Norma ASTM C 117. (2003). Método de ensayo normalizado para materiales más finos que una riba N° 200 (75 um) en Agregados Mineros mediante lavado.
- Norma ASTM C 128.(2004). Método de Ensayo Normalizado para determinar la densidad, la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción de Agregados finos.
- Normas ASRM C 131. (2002). Método de Ensayo Estándar para Resistencia al desgaste del agregado grueso de tamaño menor por abrasión e impacto en maquina Los Ángeles
- Norma ASTM C 136. (2005). Método de ensayo normalizado para determinar la granulometría de Agregado Finos y Gruesos.
- Norma ASTM C 150. (2005). Especificación Normalizada para Cemento Portland.
- Norma ASTM C 566. (2004). Método de Ensayo normalizado para medir el contenido total de humedad evaporable en Agregados Mediante Secado.
- Norma NTP 400.012. (2011). Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. 2ª.ed.
- Norma NTP 400.017. (1999). Agregado. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado.2ª.ed.
- Norma NTP. (2002). Agregados. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 um (200) por lavado en agregados. 2ª.ed.
- Norma NTP 400.019. (2002). Agregados. Método de ensayo normalizado para determinar la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamañas menores por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles. 2a.ed.
- Norma NTP 400.021. (2002). Agregados. Métodos de ensayo normalizado para peso específico y absorción de agregado grueso. 2ª.ed.
- Putzmeister Solid Pumps GmbH (2001). Trabajo de investigación Rehúso de relaves mineros como pasta de, extraído de la siguiente dirección: [http://www.pmsolid.com/psp/data/TS\\_3881\\_ES.pdf](http://www.pmsolid.com/psp/data/TS_3881_ES.pdf)

- Rivva, L. (2013). Naturaleza y Materiales del Concreto. Extraído de la siguiente dirección: <http://eeea.ca/wp-content/uploads/2013/09/Concrete-Materials-NATURALEZA-Y-MATERIALES-DEL-CONCRETO.pdf>
- Rojas (2012). Tesis “Comparación de la resistencia a compresión de concreto común y otros concreto usando relaves mineros en proporciones del 25 % y 50% de la dosificación del agregado fino.
- Romero, A. y Flores, S (2010). Trabajo de investigación Rehúso de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas, extraído de la siguiente dirección: [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/indata/v13\\_n2/pdf/a10v13n2.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/indata/v13_n2/pdf/a10v13n2.pdf).

## ANEXOS

### ANEXO N° 1: CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Gráfico N° 8: Cronograma de actividades



Fuente: Elaboración de los investigadores

## ANEXO N° 2: RESULTADOS GEOQUÍMICOS DEL RELAVE

### Gráfico N° 9: Resultados geoquímicos analizados por SGS

#### INFORME DE ENSAYO GQ1503078

Página 1 de 2

|  |   |                            |                                 |
|--|---|----------------------------|---------------------------------|
| <b>A solicitud de:</b>                                   | Rogger Benites Mostacero<br>Pasaje Pedro Ruiz N° 163 - Cajamarca                  | <b>Cantidad Muestras:</b>  | 1                               |
| <b>Por cuenta de:</b>                                    | Rogger Benites Mostacero<br>Pasaje Pedro Ruiz N° 163 - Cajamarca                  | <b>Fecha de Recepción:</b> | 21/08/2015                      |
| <b>Producto descrito como:</b>                           | ROCAS - Muestra Exploración Geoquímica y/o Menas                                  | <b>Fecha de Ensayo:</b>    | Del 21/08/2015<br>Al 26/08/2015 |
| <b>Tipo de Análisis:</b>                                 | PREPARACION Y ANALISIS QUIMICO  |                            |                                 |
| <b>Localidad de preparación:</b>                         | CAJAMARCA   |                            |                                 |
| <b>Descripción del Estado y Condición de la Muestra:</b> | En bolsas de plástico con nudo<br><br>Muestras a ±10 mesh<br>Peso 830 gr húmedas. |                            |                                 |
| <b>Referencia Cliente:</b>                               | Solicitud 17-08-2015  |                            |                                 |

| Esquema  | Método   |
|----------|--|
| PRP93    | Pesado, secado 100°C, chancado - 10 mesh >90%, cuarteo, pulverizado de 250 g -140 mesh >95 %                                     |
| FAA313   | SGS-EF-ME-02 / Enero 2015 Rev.08 / Determinación de Oro en dorés por AAS.  |
| ICP40B   | SGS-MN-ME-41 / Julio 2013 Rev.06 / Muestras de Exploración Geoquímica - Digestión Total - ICPOES                                 |
| PMI_CH   | Peso de Muestra Recibido   |
| PMI_M10  | ASTM E 389-69 / Particle Size or screen analysis at N°4 (4.75-mm) Sieve and coarser for Metal bearing ores and related materials |
| PMI_M140 | ASTM E 276-68 / Particle Size or screen analysis at N°4 (4.75-mm) Sieve and finer for Metal bearing ores and related materials   |

| Elemento            | Au     | Ag     | Al     | As     | Ba     | Be           | Bi      | Ca       |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------|---------|----------|
| Esquema             | FAA313 | ICP40B | ICP40B | ICP40B | ICP40B | ICP40B       | ICP40B  | ICP40B   |
| Unidad              | ppb    | ppm    | %      | ppm    | ppm    | ppm          | ppm     | %        |
| Límite de Detección | 5      | 0.2    | 0.01   | 3      | 1      | 0.5          | 5       | 0.01     |
| MUESTRA UNICA       | 198    | 8.5    | 5.43   | 7023   | 272    | 0.8          | 6       | 0.56     |
| Elemento            | Cd     | Co     | Cr     | Cu     | Fe     | Ga           | K       | La       |
| Esquema             | ICP40B | ICP40B | ICP40B | ICP40B | ICP40B | ICP40B       | ICP40B  | ICP40B   |
| Unidad              | ppm    | ppm    | ppm    | ppm    | %      | ppm          | %       | ppm      |
| Límite de Detección | 1      | 1      | 1      | 0.5    | 0.01   | 10           | 0.01    | 0.5      |
| MUESTRA UNICA       | 30     | 18     | 41     | 737.8  | 11.17  | 18           | 2.84    | 3.1      |
| Elemento            | Li     | Mg     | Mn     | Mo     | Na     | Nb           | Ni      | P        |
| Esquema             | ICP40B | ICP40B | ICP40B | ICP40B | ICP40B | ICP40B       | ICP40B  | ICP40B   |
| Unidad              | ppm    | %      | ppm    | ppm    | %      | ppm          | ppm     | %        |
| Límite de Detección | 1      | 0.01   | 2      | 1      | 0.01   | 1            | 1       | 0.01     |
| MUESTRA UNICA       | 41     | 0.66   | 1377   | 7      | 0.33   | 5            | 8       | 0.05     |
| Elemento            | Pb     | S      | Sb     | Sc     | Sn     | Sr           | Ti      | Tl       |
| Esquema             | ICP40B | ICP40B | ICP40B | ICP40B | ICP40B | ICP40B       | ICP40B  | ICP40B   |
| Unidad              | ppm    | %      | ppm    | ppm    | ppm    | ppm          | %       | ppm      |
| Límite de Detección | 2      | 0.01   | 5      | 0.5    | 10     | 0.5          | 0.01    | 2        |
| MUESTRA UNICA       | 1843   | 7.22   | 217    | 9.7    | <10    | 54.6         | 0.21    | 3        |
| Elemento            | V      | W      | Y      | Zn     | Zr     | Peso Muestra | P_MEN10 | P_MEN140 |
| Esquema             | ICP40B | ICP40B | ICP40B | ICP40B | ICP40B | PMI_CH       | PMI_M10 | PMI_M140 |
| Unidad              | ppm    | ppm    | ppm    | ppm    | ppm    | g            | %       | %        |
| Límite de Detección | 2      | 10     | 0.5    | 0.5    | 0.5    |              |         |          |
| MUESTRA UNICA       | 99     | <10    | 4.3    | 3294.7 | 33.4   | 830.0        | 92      | 97       |

Notas de Almacenaje:

Pasado el plazo de almacenamiento de 90 días para Remanentes o Pulpas y 30 días para Rechazos o Gruesas, se procederá a descartar las muestras. Favor no considerar esta información si se presentaran instrucciones al inicio del servicio.

Emitido en Callao-Perú el , 26/08/2015

Edgar Zárate Aguilar  
Supervisor de Laboratorio  
C.I.P. 22151

Fuente: SGS del Perú.

## ANEXO N° 3: RESUMEN DE RESULTADOS GEOQUÍMICOS DEL RELAVE – REALIZADOS EN GSG

**Tabla N° 13: Resumen de resultados geoquímicos analizados por SGS**

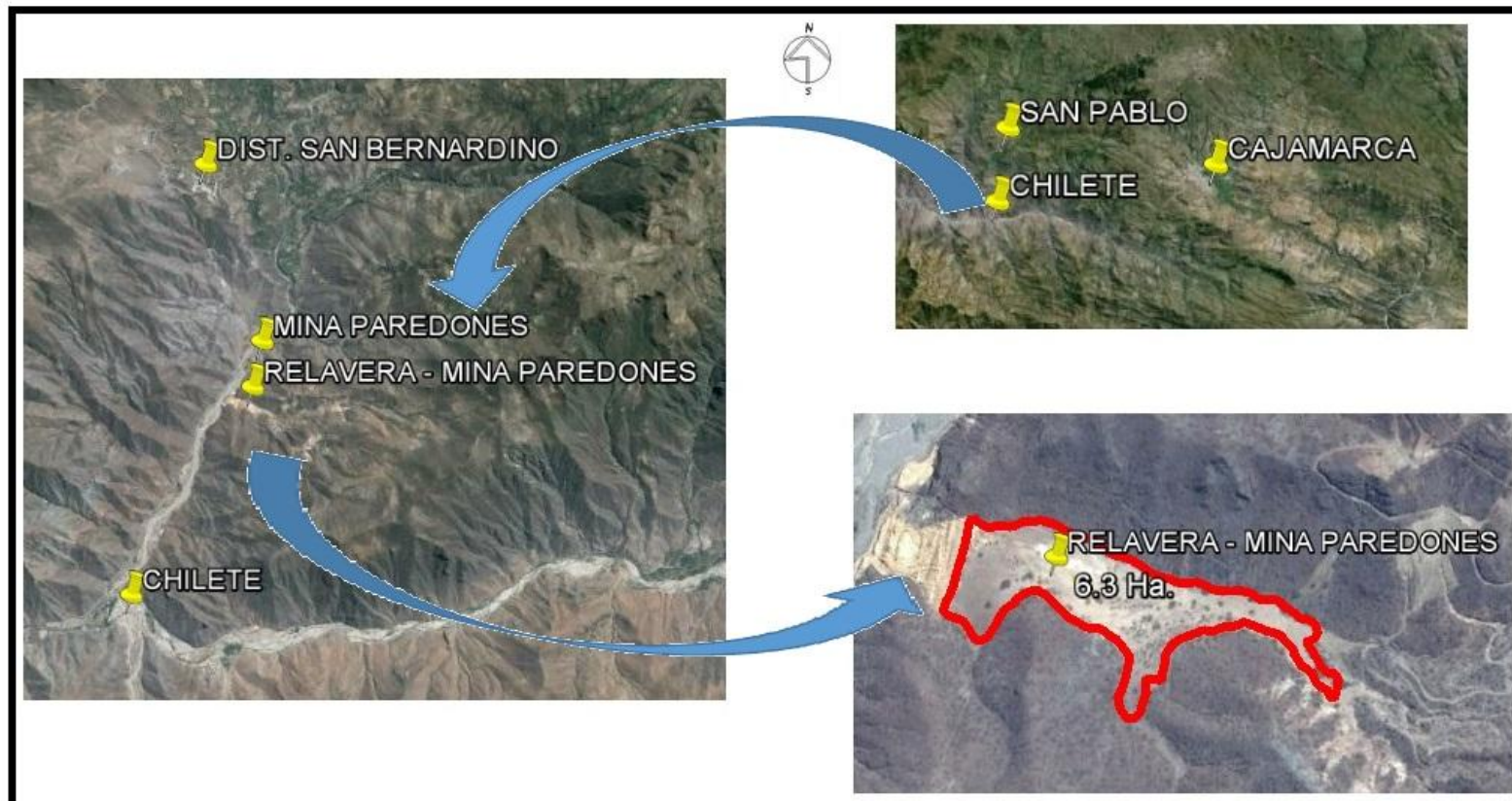
| RESUMEN DE ANÁLISIS GEOQUÍMICO REALIZADOS EN SGS |          |      |      |      |      |      |       |
|--|----------|------|------|------|------|------|-------|
| Au gr/tn   | Ag oz/tn | Cu % | Pb % | Zn % | S %  | As % | Sb %  |
| 0,0001   | 0.28     | 0,07 | 0,18 | 0,33 | 7,22 | 0,07 | 0,002 |

**Fuente:** Elaboración de los investigadores

## ANEXO N° 4: PLANO DE UBICACIÓN – RELAVERA MINA PAREDONES

Gráfico N° 10: Plano de Ubicación de la relavera de mina Paredones

### PLANO DE UBICACIÓN



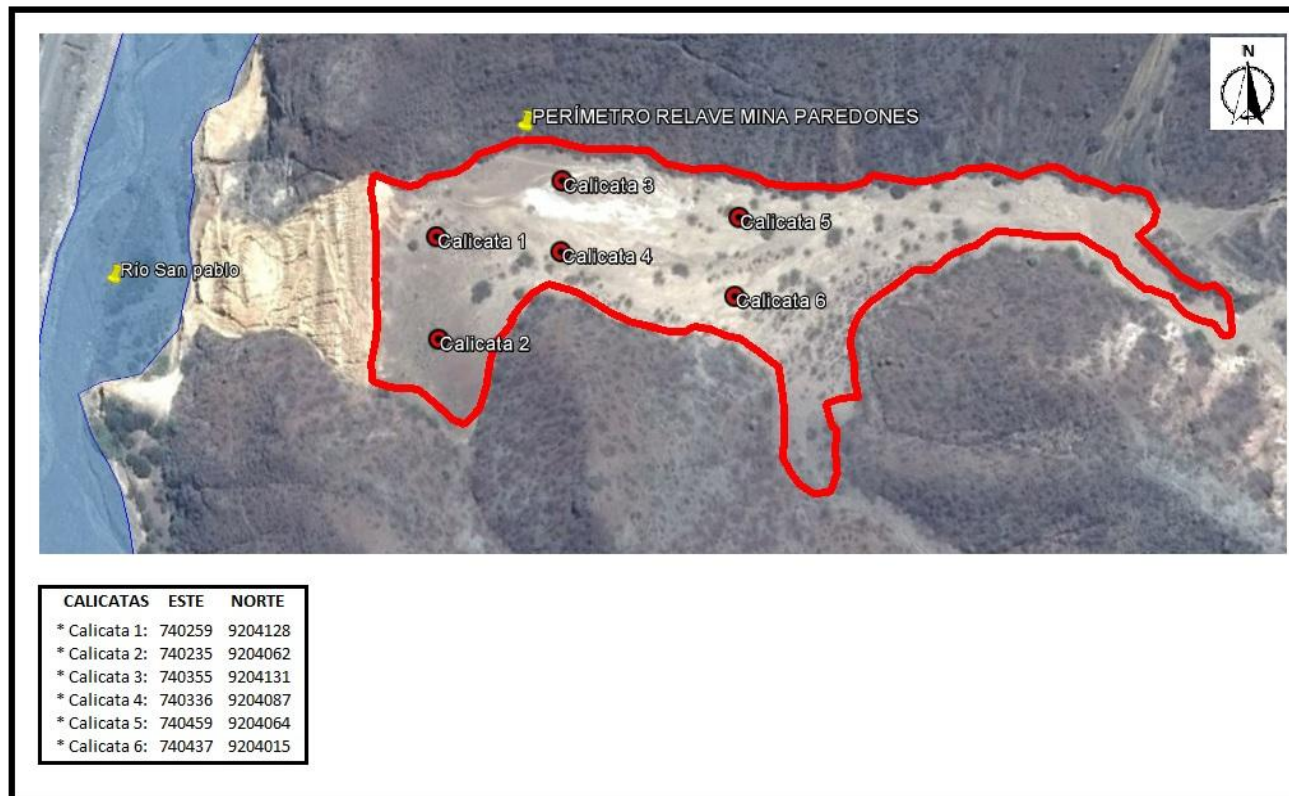
Fuente: Elaboración de los investigadores



## ANEXO N° 5: PLANO DE UBICACIÓN DE CALICATAS EN RELAVERA – MINA PAREDONES

Gráfico N° 11: Plano de ubicación de calicatas en relavera de mina Paredones.

### PLANO DE UBICACIÓN DE CALICATAS



**Fuente:** Elaboración de los investigadores

## ANEXO N° 6: ENSAYOS DE LOS AGREGADOS.

### 1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C 136 – NTP 400.012)

Peso de muestra: 1910 gr.

Tabla N° 14: Resultado de prueba de análisis granulométrico.

| Numero de Malla | % de retenido |          |          |          |          | % de acumulado |          |          |          |          | % que pasa |          |          |          |          |
|-----------------|---------------|----------|----------|----------|----------|----------------|----------|----------|----------|----------|------------|----------|----------|----------|----------|
|                 | Prueba 1      | Prueba 2 | Prueba 3 | Prueba 4 | Prueba 5 | Prueba 1       | Prueba 2 | Prueba 3 | Prueba 4 | Prueba 5 | Prueba 1   | Prueba 2 | Prueba 3 | Prueba 4 | Prueba 5 |
| 20              | 5.45          | 4.88     | 4.75     | 4.92     | 5.25     | 3.75           | -9.04    | 8.69     | 15.76    | 1.47     | 96.25      | 109.04   | 91.31    | 84.24    | 98.53    |
| 30              | 4.75          | 4.55     | 3.91     | 4.60     | 4.88     | 8.57           | -4.37    | 12.74    | 20.00    | 6.65     | 91.43      | 104.37   | 87.26    | 80.00    | 93.35    |
| 40              | 7.75          | 9.01     | 8.47     | 8.72     | 7.33     | 16.50          | 16.08    | 20.29    | 26.49    | 14.82    | 83.50      | 83.92    | 79.71    | 73.51    | 85.18    |
| 60              | 23.30         | 21.32    | 24.71    | 24.07    | 26.66    | 40.72          | 32.45    | 45.23    | 50.74    | 43.53    | 59.28      | 67.55    | 54.77    | 49.26    | 56.47    |
| 100             | 26.88         | 26.40    | 26.21    | 25.80    | 23.53    | 67.87          | 65.97    | 67.66    | 71.63    | 67.53    | 32.13      | 34.03    | 32.34    | 28.37    | 32.47    |
| 200             | 21.19         | 20.90    | 18.95    | 19.24    | 18.76    | 89.33          | 87.06    | 87.01    | 87.35    | 86.41    | 10.67      | 12.94    | 12.99    | 12.65    | 13.59    |

Fuente: Elaboración de los investigadores

Módulo de Finura – MF: 2.04... Usando la fórmula (1)



## 2. CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM C 566):

**Tabla N° 15: Contenido de humedad**

| <b>DATOS</b>                 |              |
|------------------------------|--------------|
| Peso húmedo neto:            | 64.146 Kg.   |
| Peso seco neto:              | 58.892 Kg.   |
| Diferencia de pesos:         | 5.254 Kg.    |
| Peso Neto:                   | 58.892 Kg.   |
| <b>Contenido de Humedad:</b> | <b>8.92%</b> |

**Fuente:** Elaboración de los investigadores.

**Contenido de humedad:** 8.92 % ... Usando la fórmula (10)

## ANEXO N° 7: CÁLCULO DE VOLUMEN Y PESO APROXIMADO DE RELAVE MINERO.

Tabla N° 16: Cálculo de volumen y peso aproximado de relave minero.

| VOLUMEN Y PESO DE RELAVERA                            |              |                |
|---|--------------|----------------|
| Área superficial de relavera                          | 6,30         | Ha             |
|   | 63.000,00    | m <sup>2</sup> |
| Altura de relavera                                    | 33,00        | m              |
| Volumen total   | 2.079.000,00 | m <sup>3</sup> |
| Densidad de relave                                    | 3,08         |                |
| Peso total de relavera                                | 6.403.320,00 | Tn             |
|   | 6,40         | MTn            |
| Peso real aproximado por topografía del terreno (70%) | 4,48         | MTn            |

**Fuente:** Elaboración de los investigadores

## ANEXO N° 8: ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

### 1. ENSAYO CON PROBETAS 210 KG/CM<sup>2</sup>:

Tabla N°17: Deformación de probeta 1, para diseño de 210 Kg/cm<sup>2</sup>

| Punto | Carga | Deformación | Área            | Esfuerzo                  | Deformación Unit. |
|-------|-------|-------------|-----------------|---------------------------|-------------------|
|       | Kg    | ET (mm)     | cm <sup>2</sup> | P/A (Kg/cm <sup>2</sup> ) | ET/H (mm)         |
| 1     | 1500  | 0.92        | 176.71          | 8.49                      | 0.005             |
| 2     | 3000  | 1.52        | 176.71          | 16.98                     | 0.009             |
| 3     | 4500  | 1.76        | 176.71          | 25.46                     | 0.010             |
| 4     | 6000  | 1.96        | 176.71          | 33.95                     | 0.011             |
| 5     | 7500  | 2.09        | 176.71          | 42.44                     | 0.012             |
| 6     | 9000  | 2.20        | 176.71          | 50.93                     | 0.012             |
| 7     | 10500 | 2.29        | 176.71          | 59.42                     | 0.013             |
| 8     | 12000 | 2.35        | 176.71          | 67.91                     | 0.013             |
| 9     | 13500 | 2.40        | 176.71          | 76.39                     | 0.014             |
| 10    | 15000 | 2.49        | 176.71          | 84.88                     | 0.014             |
| 11    | 16500 | 2.55        | 176.71          | 93.37                     | 0.014             |
| 12    | 18000 | 2.60        | 176.71          | 101.86                    | 0.015             |
| 13    | 19500 | 2.69        | 176.71          | 110.35                    | 0.015             |
| 14    | 21000 | 2.75        | 176.71          | 118.84                    | 0.016             |
| 15    | 22500 | 2.80        | 176.71          | 127.32                    | 0.016             |
| 16    | 24000 | 2.90        | 176.71          | 135.81                    | 0.016             |
| 17    | 25500 | 2.99        | 176.71          | 144.30                    | 0.017             |
| 18    | 27000 | 3.00        | 176.71          | 152.79                    | 0.017             |
| 19    | 28500 | 3.09        | 176.71          | 161.28                    | 0.017             |
| 20    | 30000 | 3.15        | 176.71          | 169.77                    | 0.018             |
| 21    | 31500 | 3.25        | 176.71          | 178.25                    | 0.018             |
| 22    | 33000 | 3.38        | 176.71          | 186.74                    | 0.019             |
| 23    | 34500 | 3.46        | 176.71          | 195.23                    | 0.020             |
| 24    | 36000 | 3.55        | 176.71          | 203.72                    | 0.020             |
| 25    | 37500 | 3.68        | 176.71          | 212.21                    | 0.021             |
| 26    | 39000 | 3.80        | 176.71          | 220.69                    | 0.022             |
| 27    | 40500 | 4.00        | 176.71          | 229.18                    | 0.023             |
| 28    | 42000 | 5.42        | 176.71          | 237.67                    | 0.031             |

Fuente: Elaboración de los investigadores

**Gráfico 12: Esfuerzo deformación probeta 1**



**Fuente:** Elaboración de los investigadores.

Datos:

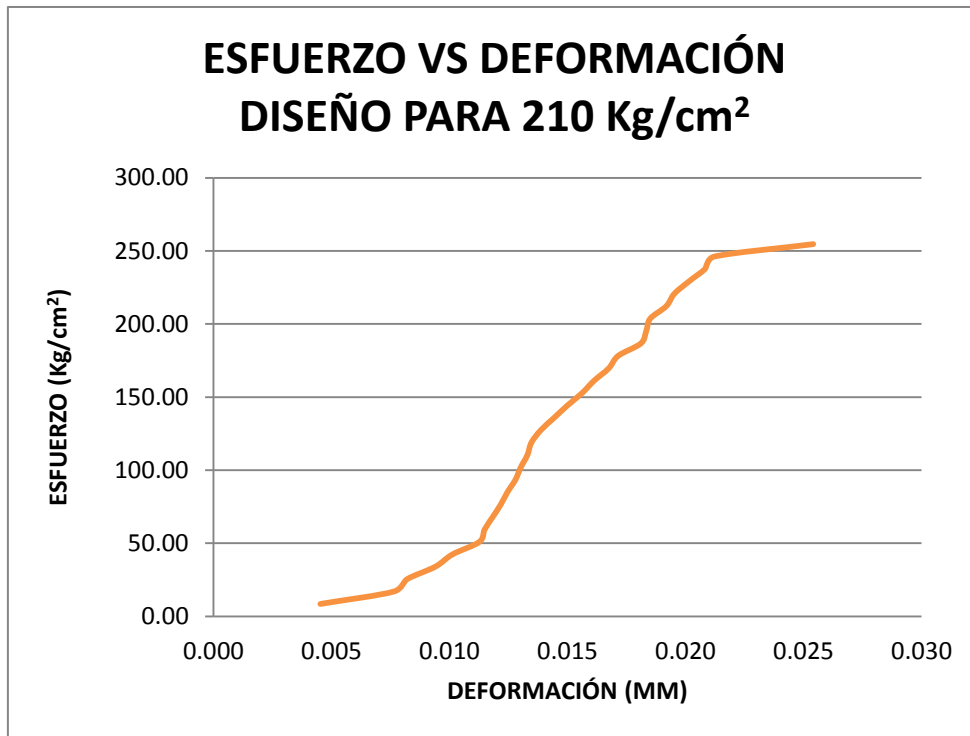
|                       |                                 |
|-----------------------|---------------------------------|
| h (Altura):           | 300 mm                          |
| Carga última:         | 41854 Kg                        |
| Tiempo:               | 5,2 Min.                        |
| D (diámetro):         | 15 cm                           |
| R (Radio):            | 7.5 cm                          |
| A (Área)              | 176.71 cm <sup>2</sup>          |
| <b>F<sub>c</sub>:</b> | <b>236.85 Kg/cm<sup>2</sup></b> |

**Tabla N° 18: Deformación de probeta 2, para diseño de 210 Kg/cm<sup>2</sup>**

| Punto | Carga | Deformación | Área            | Esfuerzo                  | Deformación Unit. |
|-------|-------|-------------|-----------------|---------------------------|-------------------|
|       | Kg    | ET (mm)     | cm <sup>2</sup> | P/A (Kg/cm <sup>2</sup> ) | ET/H (mm)         |
| 1     | 1500  | 0.80        | 176.71          | 8.49                      | 0.005             |
| 2     | 3000  | 1.35        | 176.71          | 16.98                     | 0.008             |
| 3     | 4500  | 1.45        | 176.71          | 25.46                     | 0.008             |
| 4     | 6000  | 1.66        | 176.71          | 33.95                     | 0.009             |
| 5     | 7500  | 1.79        | 176.71          | 42.44                     | 0.010             |
| 6     | 9000  | 1.99        | 176.71          | 50.93                     | 0.011             |
| 7     | 10500 | 2.03        | 176.71          | 59.42                     | 0.011             |
| 8     | 12000 | 2.09        | 176.71          | 67.91                     | 0.012             |
| 9     | 13500 | 2.15        | 176.71          | 76.39                     | 0.012             |
| 10    | 15000 | 2.20        | 176.71          | 84.88                     | 0.012             |
| 11    | 16500 | 2.26        | 176.71          | 93.37                     | 0.013             |
| 12    | 18000 | 2.30        | 176.71          | 101.86                    | 0.013             |
| 13    | 19500 | 2.35        | 176.71          | 110.35                    | 0.013             |
| 14    | 21000 | 2.38        | 176.71          | 118.84                    | 0.013             |
| 15    | 22500 | 2.45        | 176.71          | 127.32                    | 0.014             |
| 16    | 24000 | 2.55        | 176.71          | 135.81                    | 0.014             |
| 17    | 25500 | 2.65        | 176.71          | 144.30                    | 0.015             |
| 18    | 27000 | 2.76        | 176.71          | 152.79                    | 0.016             |
| 19    | 28500 | 2.85        | 176.71          | 161.28                    | 0.016             |
| 20    | 30000 | 2.96        | 176.71          | 169.77                    | 0.017             |
| 21    | 31500 | 3.03        | 176.71          | 178.25                    | 0.017             |
| 22    | 33000 | 3.20        | 176.71          | 186.74                    | 0.018             |
| 23    | 34500 | 3.24        | 176.71          | 195.23                    | 0.018             |
| 24    | 36000 | 3.27        | 176.71          | 203.72                    | 0.019             |
| 25    | 37500 | 3.39        | 176.71          | 212.21                    | 0.019             |
| 26    | 39000 | 3.45        | 176.71          | 220.69                    | 0.020             |
| 27    | 40500 | 3.56        | 176.71          | 229.18                    | 0.020             |
| 28    | 42000 | 3.68        | 176.71          | 237.67                    | 0.021             |
| 29    | 43500 | 3.75        | 176.71          | 246.16                    | 0.021             |
| 30    | 45000 | 4.49        | 176.71          | 254.65                    | 0.025             |

**Fuente:** Elaboración de los investigadores

**Gráfico 13: Esfuerzo deformación probeta 2**



**Fuente:** Elaboración de los investigadores

Datos:

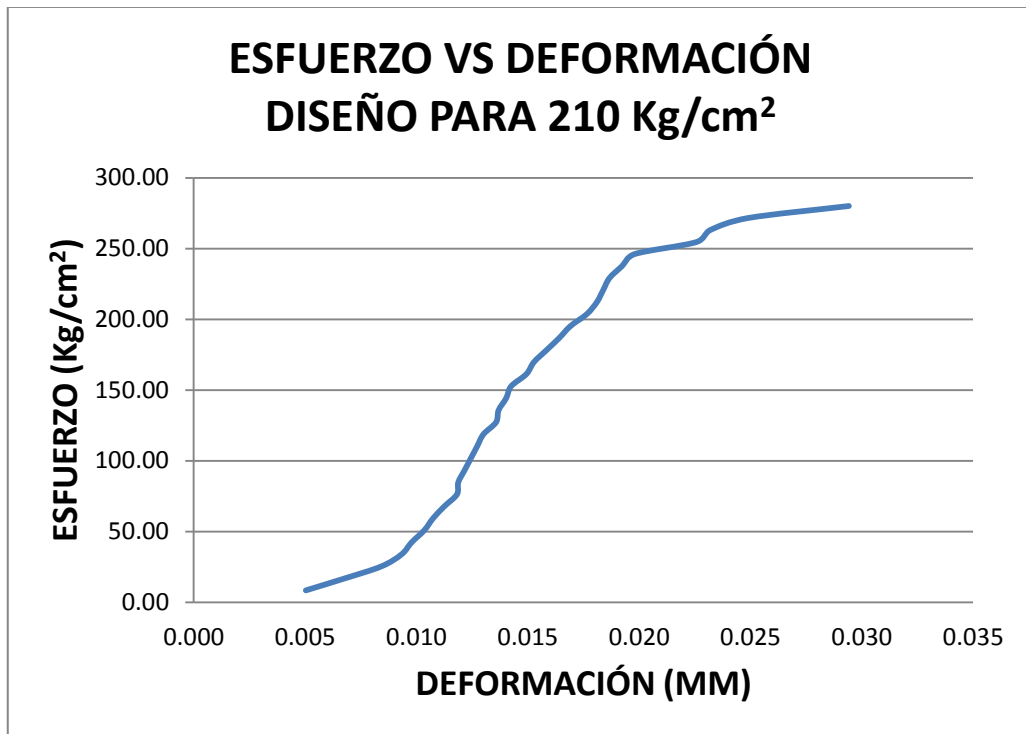
|               |                                 |
|---------------|---------------------------------|
| h (Altura):   | 300 mm                          |
| Carga última: | 44877 Kg                        |
| Tiempo:       | 4.16 Min.                       |
| D (diámetro): | 15 cm                           |
| R (Radio):    | 7.5 cm                          |
| A (Área)      | 176.71 cm <sup>2</sup>          |
| <b>F'c:</b>   | <b>253.95 Kg/cm<sup>2</sup></b> |

**Tabla N° 19: Deformación de probeta 3, para diseño de 210 Kg/cm<sup>2</sup>**

| Punto | Carga | Deformación | Área            | Esfuerzo                  | Deformación Unit. |
|-------|-------|-------------|-----------------|---------------------------|-------------------|
|       | Kg    | ET (mm)     | cm <sup>2</sup> | P/A (Kg/cm <sup>2</sup> ) | ET/H (mm)         |
| 1     | 1500  | 0.89        | 176.71          | 8.49                      | 0.005             |
| 2     | 3000  | 1.20        | 176.71          | 16.98                     | 0.007             |
| 3     | 4500  | 1.49        | 176.71          | 25.46                     | 0.008             |
| 4     | 6000  | 1.65        | 176.71          | 33.95                     | 0.009             |
| 5     | 7500  | 1.73        | 176.71          | 42.44                     | 0.010             |
| 6     | 9000  | 1.83        | 176.71          | 50.93                     | 0.010             |
| 7     | 10500 | 1.90        | 176.71          | 59.42                     | 0.011             |
| 8     | 12000 | 1.99        | 176.71          | 67.91                     | 0.011             |
| 9     | 13500 | 2.09        | 176.71          | 76.39                     | 0.012             |
| 10    | 15000 | 2.10        | 176.71          | 84.88                     | 0.012             |
| 11    | 16500 | 2.15        | 176.71          | 93.37                     | 0.012             |
| 12    | 18000 | 2.20        | 176.71          | 101.86                    | 0.012             |
| 13    | 19500 | 2.25        | 176.71          | 110.35                    | 0.013             |
| 14    | 21000 | 2.30        | 176.71          | 118.84                    | 0.013             |
| 15    | 22500 | 2.40        | 176.71          | 127.32                    | 0.014             |
| 16    | 24000 | 2.42        | 176.71          | 135.81                    | 0.014             |
| 17    | 25500 | 2.48        | 176.71          | 144.30                    | 0.014             |
| 18    | 27000 | 2.52        | 176.71          | 152.79                    | 0.014             |
| 19    | 28500 | 2.64        | 176.71          | 161.28                    | 0.015             |
| 20    | 30000 | 2.70        | 176.71          | 169.77                    | 0.015             |
| 21    | 31500 | 2.80        | 176.71          | 178.25                    | 0.016             |
| 22    | 33000 | 2.90        | 176.71          | 186.74                    | 0.016             |
| 23    | 34500 | 2.99        | 176.71          | 195.23                    | 0.017             |
| 24    | 36000 | 3.12        | 176.71          | 203.72                    | 0.018             |
| 25    | 37500 | 3.20        | 176.71          | 212.21                    | 0.018             |
| 26    | 39000 | 3.25        | 176.71          | 220.69                    | 0.018             |
| 27    | 40500 | 3.30        | 176.71          | 229.18                    | 0.019             |
| 28    | 42000 | 3.40        | 176.71          | 237.67                    | 0.019             |
| 29    | 43500 | 3.50        | 176.71          | 246.16                    | 0.020             |
| 30    | 45000 | 3.99        | 176.71          | 254.65                    | 0.023             |
| 31    | 46500 | 4.10        | 176.71          | 263.14                    | 0.023             |
| 32    | 48000 | 4.40        | 176.71          | 271.62                    | 0.025             |
| 33    | 49500 | 5.20        | 176.71          | 280.11                    | 0.029             |

**Fuente:** Elaboración de los investigadores

**Gráfico 14: Esfuerzo deformación probeta 3**



**Fuente:** Elaboración de los investigadores

Datos:

|               |                                 |
|---------------|---------------------------------|
| h (Altura):   | 300 mm                          |
| Carga última: | 49623 Kg                        |
| Tiempo:       | 5,2 Min.                        |
| D (diámetro): | 15 cm                           |
| R (Radio):    | 7.5 cm                          |
| A (Área)      | 176.71 cm <sup>2</sup>          |
| <b>F'c:</b>   | <b>280.81 Kg/cm<sup>2</sup></b> |

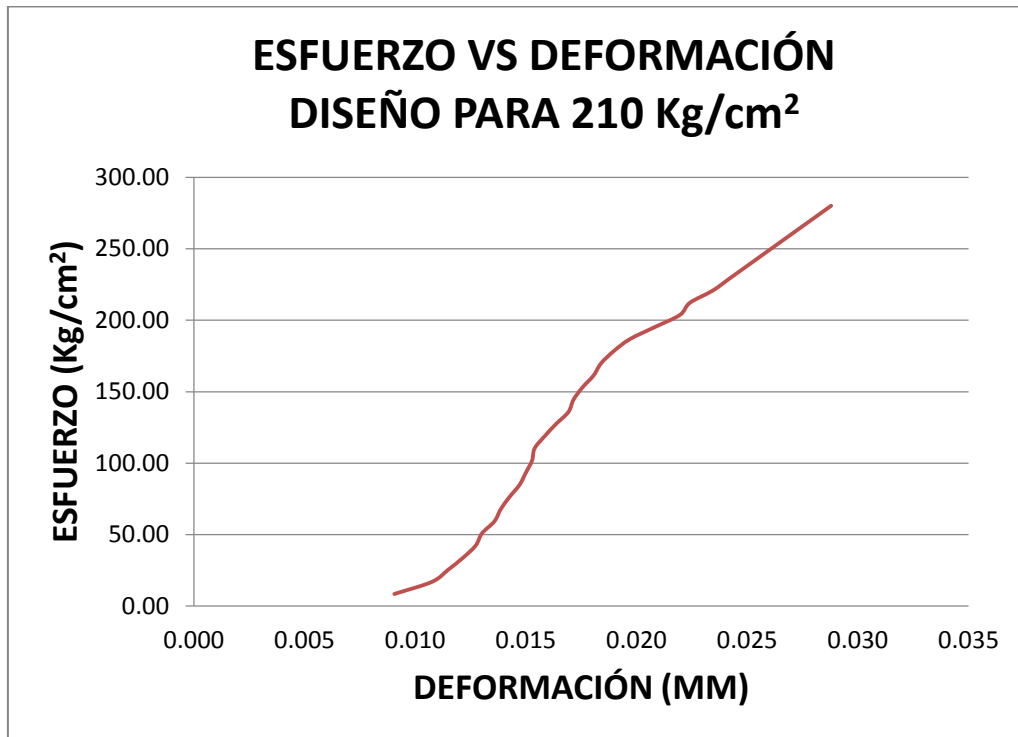


**Tabla N° 20: Deformación de probeta 4, para diseño de 210 Kg/cm<sup>2</sup>.**

| Punto | Carga | Deformación | Área            | Esfuerzo                  | Deformación Unit. |
|-------|-------|-------------|-----------------|---------------------------|-------------------|
|       | Kg    | ET (mm)     | cm <sup>2</sup> | P/A (kg/cm <sup>2</sup> ) | ET/H (mm)         |
| 1     | 1500  | 1.60        | 176.71          | 8.49                      | 0.009             |
| 2     | 3000  | 1.90        | 176.71          | 16.98                     | 0.011             |
| 3     | 4500  | 2.03        | 176.71          | 25.46                     | 0.011             |
| 4     | 6000  | 2.15        | 176.71          | 33.95                     | 0.012             |
| 5     | 7500  | 2.25        | 176.71          | 42.44                     | 0.013             |
| 6     | 9000  | 2.30        | 176.71          | 50.93                     | 0.013             |
| 7     | 10500 | 2.40        | 176.71          | 59.42                     | 0.014             |
| 8     | 12000 | 2.45        | 176.71          | 67.91                     | 0.014             |
| 9     | 13500 | 2.52        | 176.71          | 76.39                     | 0.014             |
| 10    | 15000 | 2.60        | 176.71          | 84.88                     | 0.015             |
| 11    | 16500 | 2.65        | 176.71          | 93.37                     | 0.015             |
| 12    | 18000 | 2.70        | 176.71          | 101.86                    | 0.015             |
| 13    | 19500 | 2.72        | 176.71          | 110.35                    | 0.015             |
| 14    | 21000 | 2.80        | 176.71          | 118.84                    | 0.016             |
| 15    | 22500 | 2.89        | 176.71          | 127.32                    | 0.016             |
| 16    | 24000 | 2.99        | 176.71          | 135.81                    | 0.017             |
| 17    | 25500 | 3.03        | 176.71          | 144.30                    | 0.017             |
| 18    | 27000 | 3.10        | 176.71          | 152.79                    | 0.018             |
| 19    | 28500 | 3.19        | 176.71          | 161.28                    | 0.018             |
| 20    | 30000 | 3.25        | 176.71          | 169.77                    | 0.018             |
| 21    | 31500 | 3.35        | 176.71          | 178.25                    | 0.019             |
| 22    | 33000 | 3.48        | 176.71          | 186.74                    | 0.020             |
| 23    | 34500 | 3.68        | 176.71          | 195.23                    | 0.021             |
| 24    | 36000 | 3.88        | 176.71          | 203.72                    | 0.022             |
| 25    | 37500 | 3.96        | 176.71          | 212.21                    | 0.022             |
| 26    | 39000 | 4.14        | 176.71          | 220.69                    | 0.023             |
| 27    | 40500 | 4.28        | 176.71          | 229.18                    | 0.024             |
| 28    | 42000 | 4.41        | 176.71          | 237.67                    | 0.025             |
| 29    | 43500 | 4.55        | 176.71          | 246.16                    | 0.026             |
| 30    | 45000 | 4.68        | 176.71          | 254.65                    | 0.026             |
| 31    | 46500 | 4.82        | 176.71          | 263.14                    | 0.027             |
| 32    | 48000 | 4.95        | 176.71          | 271.62                    | 0.028             |
| 33    | 49500 | 5.09        | 176.71          | 280.11                    | 0.029             |

**Fuente:** Elaboración de los investigadores

**Gráfico 15: Esfuerzo deformación probeta 4**



**Fuente:** Elaboración de los investigadores

Datos:

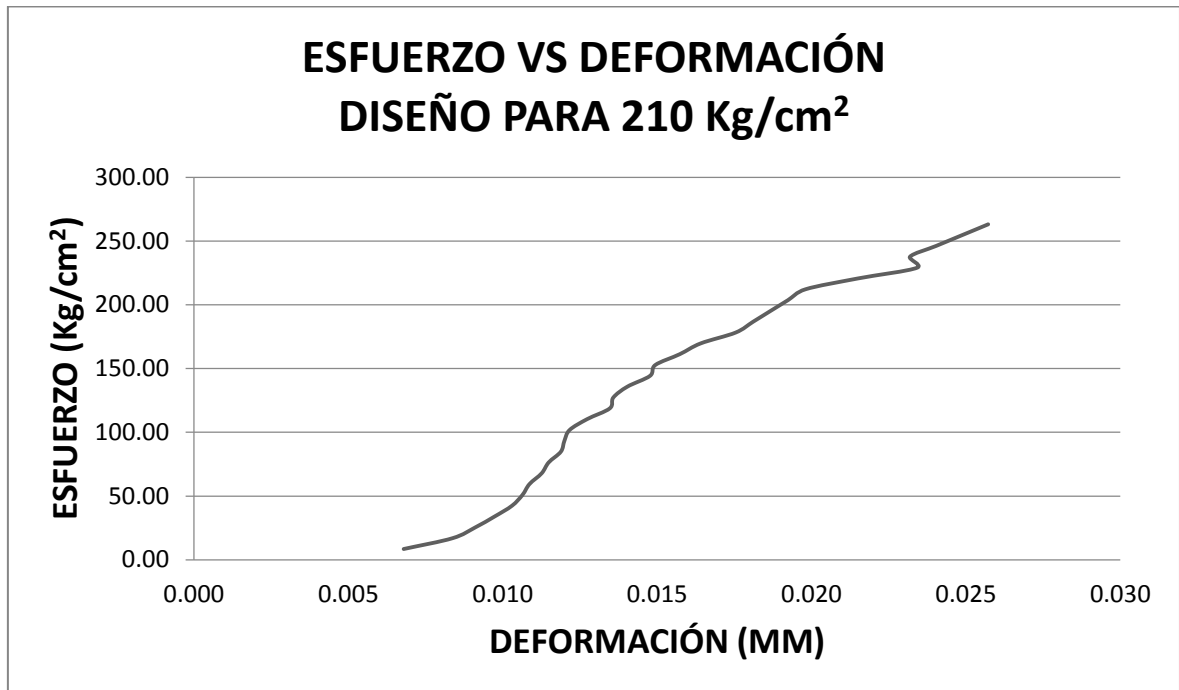
|                       |                                  |
|-----------------------|----------------------------------|
| h (Altura):           | 300 mm                           |
| Carga última:         | 48078 Kg                         |
| Tiempo:               | 4.14 Min.                        |
| D (diámetro):         | 15 cm                            |
| R (Radio):            | 7.5 cm                           |
| A (Área)              | 176.71 cm <sup>2</sup>           |
| <b>F<sub>c</sub>:</b> | <b>272.07 kg/ cm<sup>2</sup></b> |

**Tabla N° 21: Deformación de probeta 5, para diseño de 210 Kg/cm<sup>2</sup>.**

| Punto | Carga | Deformación | Área            | Esfuerzo                  | Deformación Unit. |
|-------|-------|-------------|-----------------|---------------------------|-------------------|
|       | Kg    | ET (mm)     | cm <sup>2</sup> | P/A (kg/cm <sup>2</sup> ) | ET/H (mm)         |
| 1     | 1500  | 1.20        | 176.71          | 8.49                      | 0.007             |
| 2     | 3000  | 1.48        | 176.71          | 16.98                     | 0.008             |
| 3     | 4500  | 1.61        | 176.71          | 25.46                     | 0.009             |
| 4     | 6000  | 1.72        | 176.71          | 33.95                     | 0.010             |
| 5     | 7500  | 1.82        | 176.71          | 42.44                     | 0.010             |
| 6     | 9000  | 1.88        | 176.71          | 50.93                     | 0.011             |
| 7     | 10500 | 1.92        | 176.71          | 59.42                     | 0.011             |
| 8     | 12000 | 1.99        | 176.71          | 67.91                     | 0.011             |
| 9     | 13500 | 2.03        | 176.71          | 76.39                     | 0.011             |
| 10    | 15000 | 2.10        | 176.71          | 84.88                     | 0.012             |
| 11    | 16500 | 2.12        | 176.71          | 93.37                     | 0.012             |
| 12    | 18000 | 2.15        | 176.71          | 101.86                    | 0.012             |
| 13    | 19500 | 2.25        | 176.71          | 110.35                    | 0.013             |
| 14    | 21000 | 2.38        | 176.71          | 118.84                    | 0.013             |
| 15    | 22500 | 2.40        | 176.71          | 127.32                    | 0.014             |
| 16    | 24000 | 2.48        | 176.71          | 135.81                    | 0.014             |
| 17    | 25500 | 2.61        | 176.71          | 144.30                    | 0.015             |
| 18    | 27000 | 2.64        | 176.71          | 152.79                    | 0.015             |
| 19    | 28500 | 2.78        | 176.71          | 161.28                    | 0.016             |
| 20    | 30000 | 2.90        | 176.71          | 169.77                    | 0.016             |
| 21    | 31500 | 3.10        | 176.71          | 178.25                    | 0.018             |
| 22    | 33000 | 3.20        | 176.71          | 186.74                    | 0.018             |
| 23    | 34500 | 3.30        | 176.71          | 195.23                    | 0.019             |
| 24    | 36000 | 3.40        | 176.71          | 203.72                    | 0.019             |
| 25    | 37500 | 3.50        | 176.71          | 212.21                    | 0.020             |
| 26    | 39000 | 3.80        | 176.71          | 220.69                    | 0.022             |
| 27    | 40500 | 4.14        | 176.71          | 229.18                    | 0.023             |
| 28    | 42000 | 4.10        | 176.71          | 237.67                    | 0.023             |
| 29    | 43500 | 4.25        | 176.71          | 246.16                    | 0.024             |
| 30    | 45000 | 4.40        | 176.71          | 254.65                    | 0.025             |
| 31    | 46500 | 4.55        | 176.71          | 263.14                    | 0.026             |

**Fuente:** Elaboración de los investigadores

**Gráfico 16: Esfuerzo deformación probeta 5**



**Fuente:** Elaboración de los investigadores

Datos:

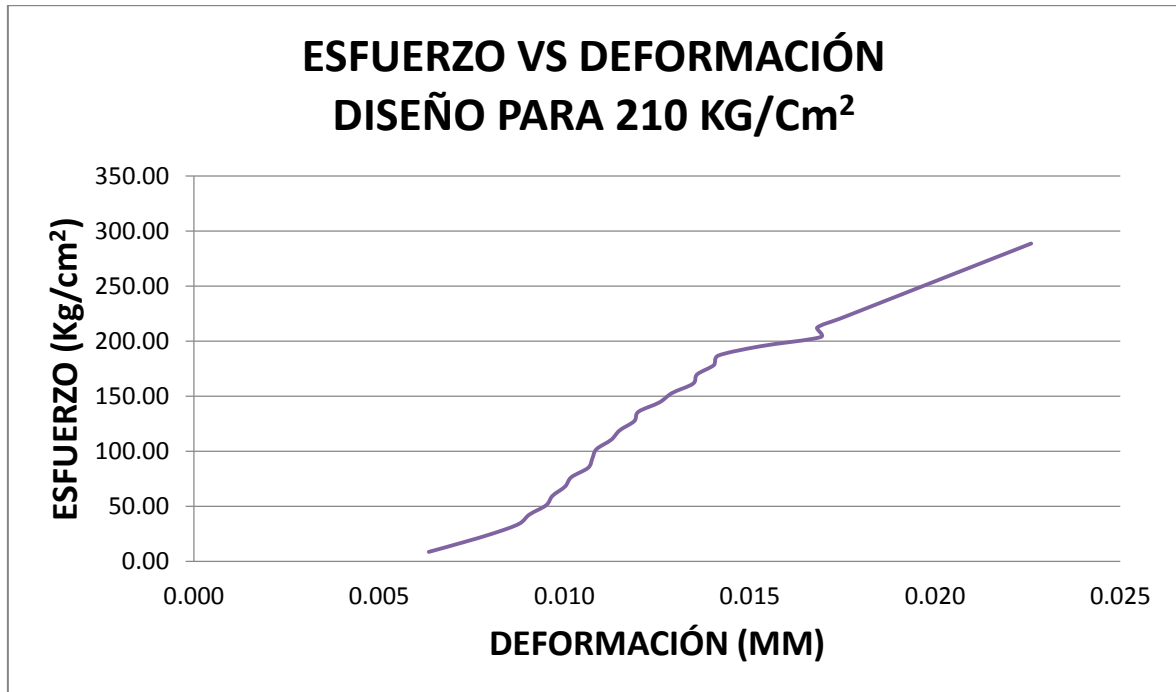
|               |                                 |
|---------------|---------------------------------|
| h (Altura):   | 300 mm                          |
| Carga última: | 46621 Kg                        |
| Tiempo:       | 4.25 Min.                       |
| D (diámetro): | 15 cm                           |
| R (Radio):    | 7.5 cm                          |
| A (Área)      | 176.71 cm <sup>2</sup>          |
| <b>F'c:</b>   | <b>263.82 kg/cm<sup>2</sup></b> |

**Tabla N° 22: Deformación de probeta 6, para diseño de 210 Kg/cm<sup>2</sup>.**

| Punto | Carga | Deformación | Área            | Esfuerzo                  | Deformación Unit. |
|-------|-------|-------------|-----------------|---------------------------|-------------------|
|       | Kg    | ET (mm)     | cm <sup>2</sup> | P/A (kg/cm <sup>2</sup> ) | ET/H (mm)         |
| 1     | 1500  | 1.12        | 176.71          | 8.49                      | 0.006             |
| 2     | 3000  | 1.28        | 176.71          | 16.98                     | 0.007             |
| 3     | 4500  | 1.43        | 176.71          | 25.46                     | 0.008             |
| 4     | 6000  | 1.55        | 176.71          | 33.95                     | 0.009             |
| 5     | 7500  | 1.60        | 176.71          | 42.44                     | 0.009             |
| 6     | 9000  | 1.68        | 176.71          | 50.93                     | 0.010             |
| 7     | 10500 | 1.71        | 176.71          | 59.42                     | 0.010             |
| 8     | 12000 | 1.77        | 176.71          | 67.91                     | 0.010             |
| 9     | 13500 | 1.80        | 176.71          | 76.39                     | 0.010             |
| 10    | 15000 | 1.88        | 176.71          | 84.88                     | 0.011             |
| 11    | 16500 | 1.90        | 176.71          | 93.37                     | 0.011             |
| 12    | 18000 | 1.92        | 176.71          | 101.86                    | 0.011             |
| 13    | 19500 | 1.99        | 176.71          | 110.35                    | 0.011             |
| 14    | 21000 | 2.03        | 176.71          | 118.84                    | 0.011             |
| 15    | 22500 | 2.10        | 176.71          | 127.32                    | 0.012             |
| 16    | 24000 | 2.12        | 176.71          | 135.81                    | 0.012             |
| 17    | 25500 | 2.22        | 176.71          | 144.30                    | 0.013             |
| 18    | 27000 | 2.28        | 176.71          | 152.79                    | 0.013             |
| 19    | 28500 | 2.38        | 176.71          | 161.28                    | 0.013             |
| 20    | 30000 | 2.40        | 176.71          | 169.77                    | 0.014             |
| 21    | 31500 | 2.48        | 176.71          | 178.25                    | 0.014             |
| 22    | 33000 | 2.50        | 176.71          | 186.74                    | 0.014             |
| 23    | 34500 | 2.70        | 176.71          | 195.23                    | 0.015             |
| 24    | 36000 | 2.99        | 176.71          | 203.72                    | 0.017             |
| 25    | 37500 | 2.97        | 176.71          | 212.21                    | 0.017             |
| 26    | 39000 | 3.09        | 176.71          | 220.69                    | 0.017             |
| 27    | 40500 | 3.20        | 176.71          | 229.18                    | 0.018             |
| 28    | 42000 | 3.31        | 176.71          | 237.67                    | 0.019             |
| 29    | 43500 | 3.43        | 176.71          | 246.16                    | 0.019             |
| 30    | 45000 | 3.54        | 176.71          | 254.65                    | 0.020             |
| 31    | 46500 | 3.65        | 176.71          | 263.14                    | 0.021             |
| 32    | 48000 | 3.77        | 176.71          | 271.62                    | 0.021             |
| 33    | 49500 | 3.88        | 176.71          | 280.11                    | 0.022             |
| 34    | 51000 | 3.99        | 176.71          | 288.60                    | 0.023             |

**Fuente:** Elaboración de los investigadores

**Gráfico 17: Esfuerzo deformación probeta 6**



**Fuente:** Elaboración de los investigadores

Datos:

|                       |                                 |
|-----------------------|---------------------------------|
| h (Altura):           | 300 mm                          |
| Carga última:         | 51124 Kg                        |
| Tiempo:               | 5.24 Min.                       |
| D (diámetro):         | 15 cm                           |
| R (Radio):            | 7.5 cm                          |
| A (Área)              | 176.71 cm <sup>2</sup>          |
| <b>F<sub>c</sub>:</b> | <b>289.30 kg/cm<sup>2</sup></b> |



## ANEXO N° 9: PANEL FOTOGRÁFICO



**Toma fotográfica N° 1:** Presa de acumulación de relave minero (Ex unidad minera Paredones)



**Toma fotográfica N° 2:** Elaboración de calicata de 3 metros y extracción de relave fresco.





**Toma fotográfica N° 3: Pesado de relave minero fresco.**



**Toma fotográfica N° 4: Secado de relave minero.**





**Toma fotográfica N° 5:** Homogenizado y Cuarteo de relave minero.



**Toma fotográfica N° 6:** Homogenizado y cuarteo de relave minero.



**Toma fotográfica N° 7:** Tamizado de relave minero.



**Toma fotográfica N° 7:** Verificación de la muestra si se encuentra en estado saturado y seco.

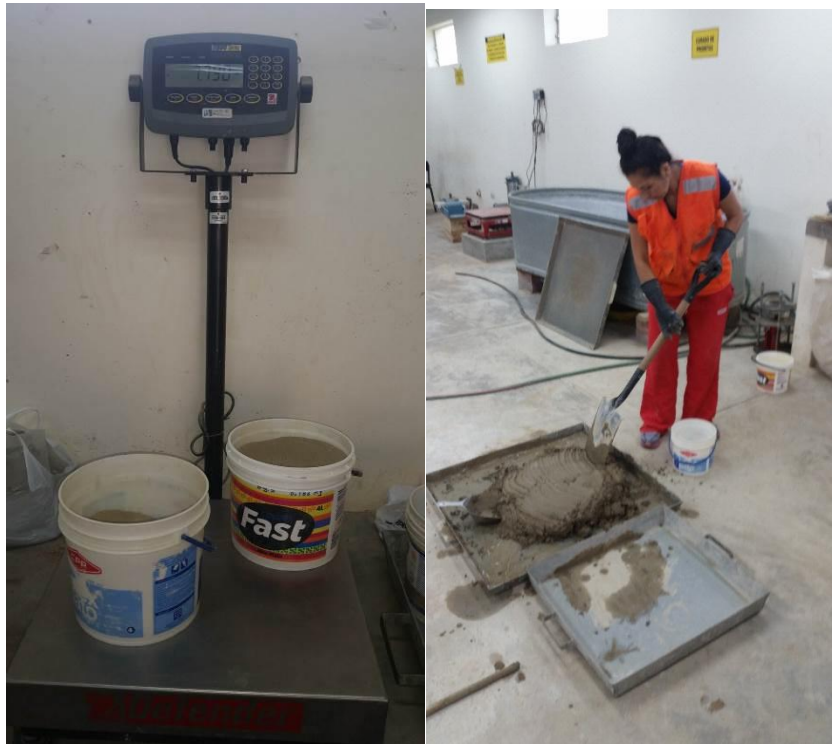


**Toma fotográfica N° 8:** Ensayo peso específico.



**Toma fotográfica N° 9:** Ensayo de contenido de humedad.





**Toma fotográfica N° 10:** Pesado y dosaje para la elaboración de pasta de relleno.



**Toma fotográfica N° 11:** Ensayo de Slump.



**Toma fotográfica N° 12:** Elaboración de 6 probetas.



**Toma fotográfica N° 13:** Curado de probetas.



**Toma fotográfica N° 14:** Ensayo de compresión Axial ASTM C-39.