

**UNIVERSIDAD SAN PEDRO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**Resistencia a la compresión de una unidad de adobe  
empleando una prensa manual y sustituyendo el 10%, 20%  
y 30%, por relave minero de Ticapampa, en la provincia  
de Huaraz – 2017**

**Tesis para obtener el título profesional de ingeniero  
civil**

**Autor**

Milla Lázaro, Darío Eusebio

**Asesor**

Miguel Ángel .Solar Jara

Huaraz – Perú

2018

## **PALABRAS CLAVE**

Tema	Resistencia del adobe
Especialidad	Tecnología de materiales.

## **KEY WORDS**

Theme	Resistance of Adobe
Speciality	Materials Technology

## **LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Área	2 Ingeniería Y Tecnología
Sub-Área	2.1 Ingeniería Civil
Disciplina	Ingeniería Civil

**TITULO:**

**Resistencia a la compresión de una unidad de adobe empleando una prensa manual y sustituyendo el 10%, 20% y 30%, por relave minero de Ticapampa, en la provincia de Huaraz – 2017**

## **RESUMEN**

La presente investigación tuvo el propósito desarrollar el efecto de sustitución de tierra en un 10, 20 y 30 % por relave minero, en la resistencia a la compresión de una unidad de adobe, el cual se realizó en la ciudad de Huaraz, utilizando el relave minero del distrito de Ticapampa y la arcilla de las canteras de la localidad de Chequio, de esta manera se dio origen a esta investigación en el campo de ingeniería civil.

La investigación es de tipo experimental no es descriptivo en el corte transversal en la recopilación de datos. Para el desarrollo se utilizó la metodología de investigación científica que incluye las fases de inicio, elaboración, resultados, así mismo se utilizó el formato APA.

Se logró determinar el rango de la activación del relave minero del distrito de Ticapampa – provincia de Recuay mediante el cual se determinó la composición química y las propiedades físicas del relave minero mediante el análisis granulométrico y fluorescencia de rayos X, continuando se determinó la compactación de la tierra y del relave minero para así determinar la plasticidad de ambos materiales y utilizando una prensa manual se determinó la resistencia a la compresión durante los 28 días de fraguado.

## **ABSTRACT**

This research was intended to develop the effect of replacement of land in 10, 20 and 30% for mining tailings, in resistance to the understanding of a unit of adobe, which was held in the city of Huaraz, using mining tailings from the District of Tica Pampa and clay quarries in the village of Chequio, in this way gave rise to this research in the field of civil engineering.

Research is experimental is not descriptive in the cross-section in the collection of data. The development was used the methodology of scientific research which includes the phases of home, preparation, results, likewise APA format was used.

It was possible to determine the range of the activation of mining tailings in the District of Ticapampa - province of Recuay, by which it was determined the chemical composition and the physical properties of the mining tailings through grain size analysis and x-ray fluorescence, continuing compaction of Earth and mining tailings was determined to determine the plasticity of both materials and using a manual press determined resistance to the understanding during the 28 days of curing.

## ÍNDICE

<b>PALABRAS CLAVE .....</b>	<b>I</b>
<b>TITULO:.....</b>	<b>II</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>III</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>V</b>
<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>1</b>
<b>METODOLOGIA DE TRABAJO.....</b>	<b>8</b>
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>36</b>
<b>ANALISIS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>49</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>54</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>56</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>57</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>58</b>
<b>APENDICES Y ANEXOS .....</b>	<b>61</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Datos de los componentes recolectados.....	38
<b>Tabla 2:</b> Componentes a emplear para estabilizar bloques de tierra-relave en peso para un solo molde. ....	40
<b>Tabla 3:</b> componentes a emplear para los 5 adobes para cada porcentaje. ....	42
<b>Tabla 4:</b> Resultado al ensayo de compresión .....	43
<b>Tabla 5:</b> Porcentaje de variación de la resistencia del adobe patrón y la sustitución con relave minero. ....	44
<b>Tabla 6:</b> Ensayo de variación dimensional de bloques de adobes estabilizados con relave minero (longitud) .....	45
<b>Tabla 7:</b> ensayo de variación dimensional de bloques de adobes estabilizados con relave minero (ancho).....	45
<b>Tabla 8:</b> Ensayo de variación dimensional de bloques de adobes estabilizados con relave minero (alto). ....	45
<b>Tabla 9:</b> Promedio de las variaciones de las dimensiones de los bloques de tierra estabilizado. ....	46
<b>Tabla 10:</b> porcentaje de Variación de los Adobes Compactado.....	46
<b>Tabla 11:</b> Comparación de requisitos obligatorios.....	47
<b>Tabla 12:</b> Resultados del FRX del Relave Minero.....	49
<b>Tabla 13:</b> Calificación del PH.....	51

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Grafico 1:</b> <i>Calculo del Tipo de Arcilla</i> .....	36
<b>Grafico 2:</b> <i>Cantidad de Matariles a Utilizar Para el Ensayo de la rotura del Patrón</i> .....	40
<b>Grafico 3:</b> <i>Cantidad de Materiales con la Sustitución de 10% por Relave Minero</i> .....	41
<b>Grafico 4:</b> <i>Cantidad de Materiales con la Sustitución de 20% por Relave Minero</i> .....	41
<b>Grafico 5:</b> <i>Cantidad de Materiales con la Sustitución de 30% por Relave Minero</i> .....	42
<b>Grafico 6:</b> <i>Resistencia a la comprensión de los adobes estabilizados</i> .....	43
<b>Grafico 7:</b> <i>Porcentaje de la variación de la resistencia a la comprensión</i> .....	44
<b>Grafico 8:</b> <i>Variación Dimensional</i> .....	46
<b>Grafico 9:</b> <i>Resultados obtenidos del ensayo de PH de la Arcilla, Relave minero y la mezcla de arcilla + 10%, 20% y 30% de Relave Minero</i> .....	51
<b>Grafico 10:</b> <i>Resultados obtenidos del ensayo a compresión de las probetas patrón y experimentales</i> .....	52



## INTRODUCCION

Respecto a estudios relacionados a la temática planteada, específicamente en lo que respecta al reusó de relaves mineros tenemos:

**Céspedes (2012)**, en su proyecto investigaron 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; los relaves mineros son cementos que se caracterizan por presentar resistencia química y térmica, buenas propiedades mecánicas bajo niveles de emisiones del 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 ello las técnicas de uso como cemento serán distintas.

**Romero & Flores (2011)**, en su proyecto investigaron el rehusó de los relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillo y baldosas tomando como referencia también el relave de 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 rio santa, por ello el estudio que se realiza se propone como 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 y aplicando la metodología 3111 – EPA, 3113– EPA y 3114 – EPA, se estableció que el producto final, que es el agregado de construcción obtenido a partir de los relaves mineros polimetálicos, no es contaminante.

**Anicama (2010)**, en su proyecto investigo que la incorporación del relave minero propone usar concretos con relave incorporado para construir losas con poco tránsito y veredas para ello se contará con un concreto convencional de 210Kg/cm<sup>2</sup> con slump de aproximadamente 5”; las adiciones de relave en proporciones menores a 5% no afectarán las características físicas principales delos concretos

convencionales, pero adiciones mayores al 15% influyen negativamente y reducen las características resistentes de los concretos convencionales.

Complementariamente a los estudios relacionados a la temática planteada, específicamente en lo que respecta a insumos para estabilización de adobes tenemos: Históricamente el primer intento de estabilizar los bloques de adobe fue el uso de la paja, ichu, bagazo de caña, etc., a fin de contrarrestar el efecto de fisuramiento que disminuye grandemente la resistencia del bloque. Como complemento a esta técnica, se ha usado también la arena, que al igual que la paja evita el excesivo agrietamiento de los bloques. Sin embargo, a pesar de ser una alternativa de estabilización económica, el uso de la paja, presenta las siguientes desventajas:

Son fácilmente erosionables, su resistencia mecánica disminuye a la presencia de la humedad (prácticamente nulas para un contenido de humedad del orden del 12%) y como muros requieren de la máxima protección frente a la acción climática y sísmica. En el trabajo presentado en las XIX Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural (Santiago de Chile-1978), por el Ing. Julio Vargas Newman y titulado “VIVIENDA RURAL EN ADOBE”; presento los siguientes resultados: Resistencia a la compresión promedio de 14.60 kg/cm<sup>2</sup> y compresión diagonal promedio en muretes del orden de 27 kg/cm<sup>2</sup>.

El estudio denominado “FABRICACION DE BLOQUES DE SUELO ESTABILIZADO CON ASFALTO Y EMULSIONES” (California State University Fresno/california), permitió concluir que los experimentos con estabilizantes RC-250 efectuados en el Instituto Internacional Tecnológico de Vivienda presentan resultados consistentemente satisfactorios. Estas pruebas han revelado que la resistencia al agua y otras propiedades del bloque estabilizado con asfalto RC-250 son similares a los de aquellos bloques estabilizados con emulsión. Sin embargo, la cantidad requerida de RC-250 es la mitad de la cantidad de emulsión. Las propiedades ensayadas son de 1% a 3% de RC-250. Los tipos de suelos, requeridos para la fabricación de bloques de 45% de material fino, siendo la proporción ideal de arcilla 15% los códigos de construcción del estado de

California fijan un máximo contenido de arcilla 17%. Sin embargo, a pesar de la ventaja de impermeabilización, que presenta este estabilizador, tiene como desventaja principal: es su alto costo, y el de ser una técnica muy sofisticada y difícilmente adaptable a nuestra realidad, ya que para su fabricación es necesario contar con equipo mecánico y personal especializado.

Respecto a la técnica de ESTABILIZACIÓN DEL ADOBE CON CEMENTO, tenemos la bibliografía del “EL CENTRO DE HABITACION INTERAMERICANA” de la organización de los Estados Americanos en Bogotá/Colombia, la cual describe que la estabilización con suelo- cemento prensado se presenta como una alternativa al problema habitacional; sin embargo, el suelo es el más delicado debido a la gran variedad que hay y los diferentes componentes de éste. El suelo es un material muy variable y complejo donde una muestra es diferente a otra a poca distancia o a diferente profundidad y en tanto mayor sea, mejor será el material y mucho mejor será la calidad de los bloques.

**Abanto & Akarley (2014)**, en su proyecto investigaron sobre las unidades de albañilería ecológica fabricadas con suelo-cemento, no se presentaron problemas en la fabricación de las unidades de albañilería, no registraron fisuras por contracción de secado y el rendimiento observado fue 1 unidad cada cuatro minutos. Y empleando un diseño de mezcla: cemento, suelo, arena y agua 1: 5: 0.5: 1. Se lograron unidades a una resistencia a compresión de 74.78 kg/cm<sup>2</sup>, mayor en 36% a la resistencia mínima exigida por la norma E0.70 (55 kg/cm<sup>2</sup>) para ladrillos de arcilla King Kong artesanal. El peso de cada unidad fue aproximadamente 4.80 kg, siendo la variación de sus dimensiones y alabeo mínimos. Así mismo las unidades aprobaron la prueba de absorción en consecuencia no es necesaria protegerlas del agua.

**Más & Kirshbaum (2012)**, investigaron sobre la resistencia a la compresión en bloques de suelo-cemento, en donde se puede observar que la utilización de bloques de suelo-cemento en la construcción de viviendas de interés social es una manera simple de aprovechar uno de los recursos naturales más abundante con los

que cuentan los sectores más desprotegidos de la sociedad. Entre sus principales ventajas se destacan que:

- La materia prima principal es tierra, material natural, abundante, económico, no contaminante, fácilmente extraíble y al alcance de todos.
- El uso de prensas manuales como técnica de fabricación de bloques de tierra cruda, requiere menor energía de transformación respecto de otros materiales "industriales" como por ejemplo los ladrillos cerámicos.
- La resistencia a compresión simple en bloques de suelo-cemento depende de muchos factores tales como: contenido y tipo de cemento, eficiencia del mezclado, cantidad de materia orgánica, cantidad y calidad del agua usada.
- En el caso del estudio descrito a lo largo de este trabajo, el promedio de resistencia conseguido es de 55,90 Kg/cm<sup>2</sup>.

**Galindez (2009)**, en su proyecto investigo sobre un material alternativo, bloque de tierra cruda comprimido (BTC) sin adición de cemento para la construcción de muros presenta los siguientes resultados:

- Aquellas probetas del mismo tipo de tierra comprimidas a diferentes presiones demuestran empíricamente que la resistencia a la compresión aumenta conforme aumenta la presión de compactación de dichas probetas.
- También se demuestra empíricamente, a partir de los resultados obtenidos con probetas de distintos tipos de tierra, que la resistencia a la compresión aumenta conforme aumenta la plasticidad de dichas tierras.

Además, el Ing. Julio Escobar en su publicación "NUEVA METODOLOGIA DE CONSTRUCCION CON ADOBE SISMO RESISTENTE", describe muy sucintamente sobre el adobe sísmico de tierra-cemento, confeccionado manualmente, y propone al respecto dosificaciones. A una tierra buena para adobe, es recomendable que se le agregue cemento en muy pequeña cantidad (2% en peso), para darle impermeabilidad, bajo la siguiente medida: para Una (01) carretilla de tierra, un cuarto (1/4) de lampada de cemento. Si la prueba práctica de la tierra indica que se debe agregar arena, significa que la tierra es arcillosa, en este

caso se le debe agregar arena y cemento en las siguientes proporciones para una (01) carretilla de tierra arcillosa, agregar cinco (05) lampadas de arena más una (01) lampada de cemento. Sin embargo, a pesar de que este estabilizador le confiere resistencia mecánica alta e impermeabilidad, una inadecuada dosificación en la proporción del cemento da como resultado una mala calidad del adobe.

El departamento de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, ha dedicado esfuerzos a la investigación de esta técnica, a través de los Ingenieros Julio Vargas Newman, Ernesto Heredia Z., Juan Bariola B. y Povindar K., Metha cuya publicación titulada “PRESERVACION DE LAS CONSTRUCCIONES DE ADOBE EN AREAS LLUVIOSAS”, se refiere al estudio experimental en enlucidos de barro estabilizado sometidos a la acción erosiva, para proteger las construcciones de Adobe contra las lluvias, usando como estabilizante a insumo derivados de la tuna. Técnica que ha dado resultados positivos, sin embargo presenta la dificultad de su elaboración por la poca abundancia del producto en las zonas rurales, razón fundamental por la cual es más usada en enlucidos que en bloques de adobe, por tanto es evidente que impermeabiliza el enlucido y más no el muro, dándose la particularidad de que en zonas lluviosas, la humedad, que por efectos de capilaridad en el cimiento y sobre cimiento llegan hasta el bloque, erosionando progresivamente la construcción.

## **JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION**

El aporte teórico del trabajo es que permitirá determinar el efecto de la sustitución de la tierra en un 10, 20 y 30% por relave minero en la resistencia a la comprensión, con el fin de encontrar alternativas de materiales para su aplicación en el campo de la ingeniería civil. También la investigación se justifica de manera social por que busca dar una aplicación a los resultados de la búsqueda de nuevos materiales orientados a resolver los problemas de la sociedad en el campo de la ingeniería civil.

## **PROBLEMA**

Al investigador las problemáticas estructurales y medio ambientales generales existentes en nuestra localidad, en la búsqueda de solución más factible se busca

investigar los desechos minerales como es el relave minero por su contribución a la riqueza de nuestro país, como por la generación de puestos de trabajo, pero a su vez es uno de los sectores que genera un significativo volumen de desechos que no pueden ser reaprovechados. En todos los países encontramos el problema la disposición final de estos desechos por lo que las diferentes entidades encargadas del procesamiento de minerales tienden a abandonar las canchas de relave o en el peor de los casos de manera informal dispuestos en áreas aledañas a cursos de agua; esta tendencia se maximizó en el siglo pasado por las prácticas inadecuadas de esta actividad o por la inexistencia de un marco legal ambiental apropiado.

### CONCEPTUACIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES:

**Cuadro N°03:** Variable Dependiente.

<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>	<b>DEFINICION CONCEPTUAL</b>	<b>DEFINICION OPERACIONAL</b>	<b>INDICADOR</b>
Resistencia a la compresión	Es el esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento.	Es el esfuerzo máximo que puede soportar el ladrillo de tierra compactada	Kg/cm <sup>2</sup>

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Cuadro N°04:** Variable independiente.

<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>	<b>DEFINICION CONCEPTUAL</b>	<b>DEFINICION OPERACIONAL</b>	<b>INDICADOR</b>
Porcentaje de adición de relave minero	Es la aplicación de un porcentaje (%) de relave para mejorar la resistencia del adobe estabilizado	Es la adición de relave en la elaboración de un adobe estabilizado	10%, 20% y 30% de relave minero.

**Fuente:** Elaboración Propia.

La adición de 10%, 20% y 30 % de relave minero incrementaría la resistencia a la compresión de un adobe estabilizado, llegando incluso a igualar o superar al de un adobe artesanal de la ciudad de Huaraz, por ende ante muchos casos se genera un objetivo general en determinar la resistencia a la compresión de un adobe estabilizado sustituyendo el 10%, 20% y 30% por relave minero en la ciudad de Huaraz y ante este objetivo se genera los objetivos específicos:

- ✓ Analizar las propiedades físicos y químicos del relave minero.
- ✓ Determinar la fluorescencia de los rayos X del relave minero.
- ✓ Determinar las propiedades físicas y químicas de la materia prima de un adobe artesanal.
- ✓ Determinar el PH de la materia prima y el relave minero.
- ✓ Determinar el PH del adobe estabilizado sustituyendo el 10%, 20% y 30% por relave minero.
- ✓ Determinar la resistencia a la compresión de las unidades de adobe estabilizado.
- ✓ Comparar resultados obtenidos.

## **METODOLOGIA DE TRABAJO**

### **CONCEPTOS GENERALES**

#### **Generalidades**

El aprovechamiento de los materiales regionales ha sido siempre la principal preocupación de los técnicos, factor de gran importancia cuando se trata de construcciones de características económicas. El material a usar para elaborar la unidad de adobe compuesta por suelo – relave minero no requiere mano de obra especializada, siendo solamente necesario un albañil, que estará a cargo del personal y el resto pueden ser ayudantes o peones. Mediante el empleo de la mezcla de suelo - relave minero se elimina casi por completo el transporte de materiales pues este rubro se reduce únicamente al movimiento del cemento.

Como se ha dicho anteriormente el suelo - relave minero es un material compuesto por la mezcla de suelo natural pulverizado y relave minero. Los suelos más aptos son los arenosos; los de características arcillosas son pocos aptos para las mezclas de suelo - relave minero, pero pueden ser empleados mejorándolos mediante la adición de arena. Teniendo en cuenta ensayos efectuados, puede establecerse que los suelos ideales para ser utilizados son los que están constituidos por los siguientes elementos: 30% de arcilla y 70 % de arena.

En el presente informe se ha tomado la muestra de seis (06) canteras, el muestreo se realizó de acuerdo a lo especializado en la Norma Técnica correspondiente, igualmente las unidades fueron ensayadas siguiendo lo especificado en las normas de INDECOPI 331.201, 331.202 y 331.203.

### **CARACTERISTICAS DE LA ZONA DE INVESTIGACIÓN**

#### **Ubicación**

El presente estudio se ha realizado teniendo como marco geográfico la provincia de Huaraz, distrito de Independencia, localidad de Chequio, dado que en esa zona existe gran relevancia e importancia la construcción de viviendas de tierra, además de ser una zona de alto riesgo sísmico y de precipitaciones pluviales drásticas, que exigen



en consecuencia, mayor seguridad en las construcciones; vale decir, que la alternativa propuesta deberá contemplar estos efectos destructivos.

De otro lado, los Ensayos y Experimentos se han llevado a cabo en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad “San Pedro”, cuya sede está ubicado en la ciudad de Huaraz.

**Cuadro N° 05:** ubicación geográfica y superficie de la localidad de Chequio.

<b>Distrito</b>	<b>Altitud (M.N.S.M)</b>	<b>Latitud Sur</b>	<b>Latitud Oeste</b>	<b>Superficie Km<sup>2</sup></b>
Independencia	3,038	9° 30' 52.56"	77° 31' 39"	302.95

**Fuente:** Elaboración Propia

**Mapa de ubicación de las cantera en Chequio** (Ver imagen N° 01 en el Anexo 2)

**Mapa de ubicación de la cantera de Ticapampa** (Ver imagen N° 02 en el Anexo 2)

**Cuadro N° 06:** ubicación geográfica y superficie de la localidad de Ticapampa

<b>Distrito</b>	<b>Altitud (M.N.S.M)</b>	<b>Latitud Sur</b>	<b>Latitud Oeste</b>	<b>Superficie Km<sup>2</sup></b>
Ticapampa	3,458	9° 45' 22.19"	77° 26' 34.99"	528.00

**Fuente:** Elaboración Propia

El área de estudio corresponde al distrito minero de Ticapampa, que se encuentra ubicado en el departamento Ancash, provincia de Recuay y Aija. El depósito de relaves Alianza es el lugar de estudio, se encuentra cerca del pueblo de Ticapampa y es uno de los más grandes en extensión en esta zona; tiene una longitud aproximada de 750 m, una altura máxima de 15 m y una inclinación de 25° en promedio, la cantera de la extracción del relave se encuentra en Ticapampa (Ver imagen N° 02 en el Anexo 2).

### **Acceso a las Canteras**

El acceso a la cantera de la Localidad de Chequio está al Oeste de la carretera que principal de Huaraz a Caraz el cual se toma un desvío por el cruce Palmira a la localidad de Chequio, la cantera está ubicado después de la plaza de armas del centro

poblado de Chequio, es decir, a 3 km del cruce de Palmira con un promedio de 10 min. Por otro lado la cantera de Ticapampa, donde se encuentra el relave minero está ubicado a 12 km de la ciudad de Huaraz, es decir se encuentra a 30 min con las moviidades que se dirigen de Huaraz a Catac.

### **Topografía de las Canteras**

La topografía de la Cantera de la Localidad de Chequio está en una zona que cuenta con cantidad de materia prima el cual viene a ser la arcilla, la topografía de la cantera no es una topografía accidentado ya que los terrenos ubicados alrededor de la cantera no presentan superficies accidentadas solo horizontales que conservan el suelo peruano.

Por otro lado la topografía de la cantera de Ticapampa tampoco se encuentra en zona accidentado ya que la superficie de la tierra conversa un terreno plano que defiende las riquezas minerales anteriores.

### **Aplicación**

La Fabricación Artesanal de adobes estabilizados en nuestro medio debe estar de acuerdo a lo establecido por la norma INDECOPI ya sobre ello se detalla la construcción, la construcción con adobes artesanales se encuentra en toda la región de Áncash ya que es una construcción muy común además tiende a retener la temperatura del suelo, la construcción con adobes estabilizados adicionado el relave minero ayuda a mejorar la calidad de vida ya que en ello se encuentra depositado gran caloría que ayuda a que la casa se encuentre templado por el calor de la temperatura, la aplicación de los adobes estabilizados con la adición de relave minero se utilizara en toda la región de Áncash ya que no posee ningún cambio estructural ni arquitectónico, además no presenta grandes cambios por los fenómenos como precipitaciones, cambio climático, etc.

## **Selección de la Cantera**

La selección de la cantera de Chequio ha sido elegida por la calidad de insumo que se encuentra en dicho sector, ya que la arcilla que se encuentra en la Localidad de Chequio y permite la adherencia y trabajabilidad con el relave minero, por otro lado mejora la búsqueda del bajo costo en cuanto al adobe estabilizado a comparación de un adobe artesanal, además mejora la calidad de la infraestructura artesanal.

## **Ubicación de Cantera**

La ubicación de la cantera de Chequio se ha tomado por el nivel de crecimiento urbano ya que en la Localidad de Chequio existe mayor cantidad de construcción de viviendas de adobe, priorizando la economía en la adquisición del insumo básico, además de su calidad a simple vista.

## **ESTUDIO DE LA MATERIA PRIMA**

### **Descripción del Suelo**

Los suelos son por definición el material que se localiza en las capas superficiales de la corteza terrestre en donde nacen, crecen y se reproducen animales y vegetales, resultado de la desintegración de las rocas a través del tiempo, afectados por los fenómenos naturales y la vida animada que se da en la superficie.

La superficie terrestre está dividida en diferentes capas llamadas horizontales, como son: horizonte a, suelo superficial de material desintegrado; horizonte b, bajo suelo; y por ultimo horizonte c, roca madre (zona de material primario).

La tierra de los horizontes a y b serán las que se utilicen en la fabricación de adobes, por lo tanto es importante conocer su contenido de arenas, limos y arcillas con lo que estaremos en la posibilidad de conocer su comportamiento, sin necesidad de análisis complejos de laboratorio, (Ver imagen N° 03 en el Anexo 2).

Existen varios sistemas de clasificación de suelos basados en el tamaño de sus partículas y plasticidad.

Uno de los sistemas de clasificación comúnmente usado, que emplearemos para esta finalidad, es el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), y que nos permite determinar con cierta certeza el comportamiento de los suelos, tanto de las partículas gruesas mediante el análisis granulométrico, de las partículas finas, a través de los límites de Atteberg.

### **Componentes del Suelo**

Es importante conocer las características de los componentes de los suelos dado que así estaremos en la posibilidad de dar las recomendaciones necesarias para su utilización en la fabricación de adobe tradicional o adobe estabilizado con relave minero.

Los componentes de los suelos se clasifican como sigue:

**Gravas:** Son el componente de los suelos más estables en presencia del agua, pero carecen de cohesión y son secas, por lo que requieren de los limos y las arcillas para formar una estructura estable en los suelos.

**Arenas gruesas:** son el componente estable y sus propiedades mecánicas no se alteran sensiblemente con el agua.

**Arenas:** son granos minerales estables, no poseen cohesión por ser secas, sin grandes desplazamientos entre las partículas que las componen, pero con una fuerte fricción interna.

**Limos:** no tienen cohesión por ser secos y con una resistencia a la fricción menor que las arenas, pero en presencia de agua su cohesión aumenta, además de tener variaciones en volumen debido a que se contraen y se expanden. **Arcillas:** son el componente que da cohesión a los suelos uniendo a los suelos más gruesos, pero en las arcillas húmedas se presentan cambios muy severos en la estructura del suelo, por su inestabilidad a diferencia de las arenas.

## **Tipos de Suelos**

### **Suelos Gruesos**

- Son aquellos cuya fracción acumulada retenida en la malla #200 representa más del 50% en peso.
- Se distinguen 2 grupos: Gravas (G), cuando menos del 50% en peso pasa la malla #4. Arenas (S), cuando más del 50% en peso pasa la malla #4.
- GW y SW: Suelos gruesos bien graduados. Menos del 5.0% en peso pasa la malla #200
- GP y SP: Suelos gruesos mal graduados. Menos del 5.0% en peso pasa la malla #200.
- GM y SM: Más del 12% pasa la malla #200. Plasticidad de finos entre media a nula ( $I_p < 4$ )
- GC y SC: Más del 12% pasa la malla #200. Plasticidad de finos entre media a alta ( $I_p > 7$ )
- Para determinar si un suelo es bien o mal graduado es preciso calcular a partir de la curva granulométrica los parámetros siguientes.

### **Coefficiente de Uniformidad**

$$C_u = D_{60}/D_{10}$$

Dónde:

D60: Tamaño tal, que el 60% en peso sea igual o menor.

D10: Tamaño tal que sea igual o mayor que el 10% en peso del suelo. Coeficiente de Curvatura

$$C_c = (D_{30})^2 / (D_{60} \times D_{10})$$

Dónde:

D60, D30 y D10 se definen análogamente al anterior.

Se considera una Grava bien graduada si  $C_u > 4$  y  $1 < C_c < 3$ . Arena bien graduada si

$C_u > 6$  y  $1 < C_c < 3$ .

## **Suelos Finos**

Son aquellos cuyas partículas que pasan por la mall #200 representa más del 50% en peso. No realizamos una descripción detallada de estos suelos puesto que no son aptos para la estabilización, (Ver imagen N° 04 en el Anexo 2)

## **ESTUDIO DE MATERIAL ESTABILIZANTE: RELAVE MINERO**

### **Propiedades Generales del Estabilizante (Relave Minero)**

Las propiedades del relave dependen de varios factores que Los drenajes ácidos de mina, por lo general, contienen elevados contenidos de sulfato y metales disueltos, tales como el cobre, y en algunos casos van acompañados de una gran cantidad de sólidos en suspensión, así mismo se determinó los parámetros de neutralización y fijación de los metales pesados presentes en el relave polimetálico de flotación de Ticapampa, además según la determinación mineralógica de muestras de relave por fluorescencia de rayos X se observa que el relave está asociado con grandes cantidades de sulfuros metálicos, tales como: galena y pirita, los cuales son los principales sulfuros generadores de las aguas ácidas.(Ver imagen N° 05 en el Anexo

2). Se observa el sulfuro de plomo, la galena rodeada de estructuras de silicio que se aprecia como una especie de cuarzo que está rodeando al metal pesado.

Los resultados de la tabla de Mineralogía se encuentran en (Tabla de resultados de composición en oxido de la muestra en el Anexo 3).

En la caracterización textural, mineralógica y química de las muestras del relave minero por difracción de rayos X, se determinó que el relave está íntimamente asociado al SiO<sub>2</sub> (Oxido de Silicio), el cual está en alto contenido superior de Sílice de 87.08% de masa, lo cual a su vez permitirá encapsular a los metales pesados, (Ver imagen N° 06 en el Anexo 2)

### **Clasificación de los Relaves Mineros**

- ✓ **Relave activo u operativo:** Relave que se encuentra en operación y es parte de una faena minera abierta y activa.
- ✓ **Relave inactivo:** Relave sin operación en proceso de cierre o reapertura.

- ✓ **Relave abandonado:** Relave en desuso y en abandono, del cual nadie se hace cargo. Muchos de ellos son un real peligro para la población y medioambiente.

## **ESTUDIO DEL EQUIPO COMPACTADOR: CINVA RAM**

### **Generalidades Cinva Ram**

La máquina funciona como un pistón que presiona a la mezcla (suelo más RELAVE MINERO), que para terminar su proceso, debe ser secado al sol, las partes de la máquina Cinva Ram se observa en (Ver imagen N° 07 en el Anexo 2)

### **Principio del Equipo**

La máquina se fundamenta en la "palanca de fuerza infinita" o "toggle", de tal manera que en la medida en que se va comprimiendo la mezcla se incrementa la presión sobre ésta. Se produce un bloque de construcción de buena resistencia y durabilidad.

### **Capacidad**

Un equipo de 2 operarios experimentados fabrica entre 200 y 300 bloques de 8 x 13 x 28 cm con una resistencia variable según el tipo de tierra y el tipo de estabilizante empleado.

## **CARACTERISTICAS DEL SUELO – RELAVE MINERO**

Es una mezcla de suelo, convenientemente pulverizado, con determinadas porciones de agua y relave minero que se compacta y cura para obtener mayor densidad. La principal característica del suelo-relave minero es su facilidad de producción utilizando el suelo del lugar donde se realizara la construcción. El suelo puede ser utilizado en su estado natural, pasando por un sencillo proceso de tamizado. Desde un punto de vista mecánico el relave minero puede aglutinar las partículas de suelos con un fuerte vínculo estructural denominado cohesión.

### **Propiedades del Suelo**

Las propiedades del suelo dependen de varios factores que influyen de forma directa en la mezcla. Entre las principales variables que afectan las propiedades

están: la naturaleza del suelo, la dosificación de la mezcla, el proceso de producción, contenido de húmeda, calidad del relave y el proceso de curado.

### **CARACTERISTICAS DEL SUELO EN LA ZONA DE ESTUDIO DE LA LOCALIDAD DE CHEQUIO**

Las características del suelo en la localidad de Chequio son arcillosos que contienen cantidad de gravas, limo y arcilla el cual mejora la calidad de material que se utiliza en la construcción de casas artesanales.

### **FABRICACION DE ADOBES SEGÚN LAS NORMAS INDECOPI**

La Fabricación Artesanal de adobes estabilizados en nuestro medio debe estar de acuerdo a lo establecido por la norma INDECOPI, en esta parte del informe se presenta una guía técnica donde se detallan las herramientas utilizadas en el estudio de mecánica de suelos (desde pruebas empíricas hasta pruebas en laboratorio), para la utilización del suelo (tierra a estabilizar), las herramientas utilizadas en el proceso de amasado de la masa (tierra tamizada), y la promoción en la utilización de una maquina estabilizadora.

### **LINEAMIENTOS PARA LA ELABORACION DE ADOBES ARTESANALMENTE SEGÚN NORMAS INDECOPI N° (331.201, 331.202 y 331.203)**

#### **PRIMERO:**

Las medidas de cada unidad de adobe estabilizado dependerán de la cantidad de adobes que se requieran de esa manera medir aproximadamente la cantidad de material a utilizar; como por ejemplo.

- Para 300 Adobes : Cantidad requerida aproximadamente de tierra – relave = 1.20m<sup>3</sup>
- Para 600 Adobes : Cantidad requerida aproximadamente de tierra – relave = 1.43m<sup>3</sup>
- Para 700 Adobes : Cantidad requerida aproximadamente de tierra – relave = 1.67m<sup>3</sup>



**SEGUNDO:**

Mezclar bien la tierra con el agua, (desmenuzando terrones, eliminando raíces, piedras e impurezas cuando la tierra no pasó la zaranda) y voltear por lo menos dos veces la mezcla para que pueda producir una buena consistencia el material terminado.

**TERCERO**

Dejar reposar la masa de un día para otro, es decir las 24 horas, protegiéndola de la intemperie.

**CUARTO:**

La utilización de la máquina estabilizadora CINVA RAM, solo requiere calibrarla en equilibrio en ambos ejes, no se necesita lubricar el molde interior debido a que se impulsa hacia el exterior el molde con el material compactado.

**QUINTO:**

- Introducir la masa dentro del molde interior de la prensa (aproximadamente 6 lampadas) a una altura de 5 cm o al ras, de tal manera que el material que se desecha sea mínimo.
- Enrasar con una regla firmemente, eliminando el sobrante, en un solo sentido, de preferencia una sola vez (no rellenar en caso de no haberse logrado una superficie plana: volver a moldear).

**SEXTO:**

Lo que es el tendido y secado, inmediatamente después de haberse producido en la prensa mecánica, se lleva está al tendal y se voltea.

- Tendido a la intemperie, en lugares sin lluvias y sin mucho sol.
- Protección del bloque de tierra estabilizada contra la lluvia (en caso de poca lluvia y mucha lluvia), bajo techo, previo tendido en repisas transportables.
- Protección del crudo contra el sol (en lugares con demasiado sol):
- La forma del tendido de los adobes estabilizados para su respectivo secado es:
  - ✓ Tender primero sobre unas de las caras mayores y dejar secar unos 8 días.

- ✓ Voltear los bloques poniéndolos de canto y dejándolos secar por 20 días más.

## **DESARROLLO DEL PROYECTO**

### **Introducción**

La presente tesis pretende verificar las variaciones de las resistencias a compresión en las unidades de tierra estabilizada con relave minero en el Distrito de Independencia, desde la selección de la materia prima hasta la obtención del producto terminado, para ello se ha tomado una cantera.

El análisis de los resultados que se obtendrán tanto en la resistencia a la compresión, contenido de humedad, variación dimensional; van a determinar la calidad de adobes estabilizado, de acuerdo a la sustitución de cemento por relave minero, según los porcentajes planteados.

### **Aspectos Climatológicos de la Zona de Estudio**

La zona de estudio Distrito de Independencia, de la Localidad de Chequio presenta un clima templado - seco, por lo que la temperatura máxima anual promedio es de 18° C y la temperatura mínima anual promedio es 9° C.

Las precipitaciones en el Distrito de Independencia, de la Localidad de Chequio son superiores a 500 mm. Pero menores a 1000 mm durante la temporada de lluvias que comprende de diciembre a marzo. La temporada seca denominada "Verano andino" comprende desde abril hasta noviembre. **Ensayos de Laboratorio de la Materia Prima**

### **Análisis Granulométrico**

Llamado también análisis mecánico, consiste en la determinación de los porcentajes de piedra, grava, limo y arcilla que hay en una cierta masa de suelo.

En el presente proyecto de investigación, los porcentajes de piedra, grava y arena fueron determinados mediante el empleo de los tamices correspondientes a la normativa ASTM y para su clasificación se ha tenido en cuenta el sistema de clasificación de suelos según la SUCS y AASHTO.

Las muestras obtenidas en la zona en estudio, por simple inspección, son suelos arcillosos – arenosos, con poca presencia de materia orgánica, (Ver imagen N° 08 en el Anexo 2)

**A. TAMISADO VIA SECA:** Este método se emplea cuando el suelo contiene gran cantidad de partículas cohesivas. Con este método se obtendrá las fracciones correspondientes a los tamaños mayores del suelo, generalmente se llega así hasta un tamaño correspondiente a la malla N° 200 (0.074mm).

La muestra de suelo se deja pasar sucesivamente por un juego de tamices de aberturas descendentes hasta la malla N° 200, los retenidos en cada malla se pesan y los porcentajes que representan respecto al peso de la muestra total se suman (acumulan) y el complemento de 100% de esta cantidad da el porcentaje de suelos que es menor al tamaño representado por la malla en cuestión. Así pueden tenerse los puntos de la curva granulométrica correspondiente a cada abertura de la malla con el % respectivo que pasa.

### **Límites de Consistencia**

Los límites de consistencia reciben el nombre también de Atterberg. En general los suelos pueden ser divididos en dos grandes grupos: Friccionantes o Pulverulentos y cohesivos.

El grado de cohesión de los segundos varía mucho, según varié la humedad de los mismos.

Según el contenido de agua en orden decreciente, un suelo susceptible de ser plásticos, puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia:

1. Estado Líquido, con las propiedades y apariencia de una suspensión.
2. Estado Semi Líquido, con las propiedades de un fluido viscoso.
3. Estado Plástico, en que el suelo se comporta plásticamente.
4. Estado Semi Sólido, en que el suelo tiene la apariencia de un sólido, pero aun disminuye su volumen al estar sujeto al secado
5. Estado Sólido, en que el volumen del suelo no varía con el secado.

Los anteriores estados son fases generales por las que pasa el suelo al irse secando, y no existen criterios estrictos para distinguir sus fronteras. El establecimiento de estas ha de hacerse en forma puramente convencional.

Los límites de consistencia de un suelo están representados por contenidos de humedad y los más principales se conocen con el nombre de: Limite Líquido y Limite Plástico y Límite de Contracción.

### **Limite Líquido:**

Procedimiento:

1. Tómese unos 100 gr. De suelo húmedo y mézclese con una espátula, añadiendo agua destilada si es preciso, hasta que opte una consistencia suave y uniforme.
2. Coloque una porción de esa pasta en la Copa de Casagrande, con un espesor máximo de 1 cm y hágase con el ranurador apropiado la ranura correspondiente; el ranurador deberá mantenerse en todo el recorrido normal a la superficie interior de la copa.
3. Acciónese la copa a razón de 2 golpes por segundo, contando el número de golpes necesario para que la parte inferior del talud de la ranura se cierre 1.27 cm (0.50”), si el número es menor que 10 aproxímese al medio golpe, la ranura debe cerrarse por el flujo del suelo y no por deslizamiento del mismo respecto a la copa
4. Pre mézclese el suelo en la copa con la espátula, repitiendo las etapas (2) y (3) dos veces más, si el número de golpes necesarios para el cierre de la ranura es consistentemente el mismo en las tres ocasiones. si alguno de esos números resulta muy diferentes de los otros repítase una cuarta vez las etapas (2) y (3). Así se tiene un número de golpes correspondientes a un cierto contenido de agua de suelo entre dos determinaciones, el número de golpes no debe diferir en más de 1 golpe.
5. Cuando se a obtenido un valor consistente del número de golpes, comprendidos entre 6 y 35 golpes, tómese 10 gr de suelo aproximadamente de la zona próxima a la ranura cerrada y determínese su contenido de agua de inmediato.

6. Repítanse las etapas (2) a (5) teniendo el suelo otros contenidos de agua. Para humedecer el suelo úsese un gotero, remoldando la pasta hasta que el agua añadida quede uniformemente incorporada. Para secar el suelo, úsese la espátula, remezclandose de modo que se produzca de modo que se produzca evaporación; en ningún caso se secura la muestra en un horno o sometiéndola a ningún proceso de evaporación violenta. De esta manera deberá tenerse, como mínimo cuatro (4) valores del número de golpes correspondientes a cuatro diferentes contenidos de agua comprendidos entre los 6 y 35 golpes. Cada valor estará obtenido, (Ver imagen N° 09 en el Anexo 2).

Dibújese una gráfica (curva de fluidez) con los contenidos de agua y los números de golpes correspondientes, los primeros como ordenadas en escala natural y los segundos como abscisa en escala logarítmica. Esta curva debe de considerarse como una recta entro los 6 y los 35 golpes. La ordenada correspondiente a los 25 golpes debe ser el **Limite Liquido** del suelo.

Es posible también obtener el límite liquido haciendo uso de la ecuación propuesta por la BUREAU OF PUBLICS ROADS, de los EE.UU.

$$LL = \frac{W}{1.419 - 0.3 \log S}$$

Dónde:

S: Numero de golpes al cabo de las cuales se unen las mitades del suelo en la Copa de Casagrande.

W: Contenido de humedad de la muestra cuando se une a los “S” golpes.

## **B. Limite Plástico**

Procedimiento:

1. Mézclese perfectamente alrededor de 15 gr. De suelo húmedo.
2. Rólese al suelo sobre una placa de vidrio o metal con la mano hasta alcanzar un diámetro de 3 mm (1/8”).
3. Repítase la etapa (2) hasta que el cilindro presente señales de desmoronamiento y agrietamiento al alcanzar el diámetro de 3 mm (1/8”).

4. Al llegar al límite señalado (3mm) determínese el contenido de agua de una parte del cilindro correspondiente.
5. Repítase las etapas (2) a (4) dos veces más, para obtener tres valores. Limite Plástico del suelo será el promedio de las tres dimensiones.

Limite plástico es muy afectado por el contenido orgánico del suelo, ya que eleva su valor sin aumentar simultáneamente el límite líquido. Por ello los suelos con alto contenido orgánico tienen un bajo índice plástico y límite líquidos altos.

**Índice de Plasticidad:** Es la diferencia entre los límites líquido y plástico, e indica el margen de humedades dentro del cual un suelo tiene comportamiento plástico, (Ver imagen N° 10 en el Anexo 2).

### **Clasificación del Suelo**

**A. AASHTO:** Este sistema de clasificación de suelos, es uno de los más aceptados para el caso de carreteras. Se basa en el Análisis Granulométrico, Limite Líquido, Índice Plástico e Índice de Grupo; clasifica a los suelos en siete grupos, comprendidos desde el A-1 hasta el A-7 que es el de peores condiciones, dividiendo a su vez en dos clases: Suelos Granulares y Suelos de Granulometría Fina, Limo- Arcillosos; a continuación indicamos cada una de estas clase con sus respectivos grupos y sub-grupos.

#### **A.1: Suelos Granulares:**

Son aquellos que tiene 35% o menos de material fino, que pasa la malla N° 200 (0.075 mm). Estos suelos forman los grupos A-1, A-2 y A-3.

**Grupo A-1:** Comprende las muestras bien graduadas, compuestas de fragmentos de piedra, grava, arena y material ligante poco plástico. Se incluyen también aquellas muestras bien graduadas que no tienen material ligante.

**Sub – Grupo A-1a:** Comprende aquellos materiales formados predominantemente por piedra o grava, con o sin material ligante bien graduado.

**Sub – Grupo A-1b:** Está integrado por aquellos materiales formados predominantemente por arena, con o sin material ligante, bien graduado.

**Grupo A-2:** Incluye un gran variedad de material granular que contiene menos del

35% de material fino.

**Sub – Grupo A-2-4 y A-2-5:** Pertenecen a estos sub grupos aquellos materiales cuyos contenido de material fino es igual o menos a 35% y cuya fracción que pasa la malla N° 40, tiene las mismas características de los suelos A-4 y A-5, respectivamente. Estos grupos incluyen aquellos suelos gravosos y arenosos (arena gruesa), que tengan un contenido de limo, o índices de Grupo, en exceso a los indicados para el grupo A-1. Asimismo, incluyen aquellas arenas finas con un contenido de limo no plástico en exceso al indicado para el grupo A-3.

**Sub – Grupo A-2-6 y A-2-7:** Los materiales de estos sub grupos son semejantes a los anteriores, pero la fracción que pasa la malla N° 40 tiene las mismas características de los grupos A-6 y A-7, respectivamente.

**Grupo A – 3:** En este grupo se hallan incluidos las arenas finas, de playa y aquellas con poca cantidad de limo que no tengan plasticidad. Este grupo incluye además, las arenas de río que contengan poca grava y arena gruesa.

#### **A.2: Suelos Finos Limo – Arcilloso:**

Son aquellos que contiene más del 35% del material fino que pasa la malla N°200. Estos suelos constituyen los grupos A-4, A-5, A-6, A-7.

**Grupo A – 4:** Pertenecen a este grupo los suelos limosos poco o nada plásticos que contienen un 75 % o más del material fino que pasa el tamiz N° 200. Se incluyen además en este grupo, las mezclas de limo con grava y arena hasta un 64 %.

**Grupo A – 5:** Los suelos comprendidos en este grupo son semejantes a los anteriores, pero contienen material micáceo o diatomáceo, son elásticos y tienen un Límite Líquido elevado.

**Grupo A – 6:** El material típico de este grupo es la arcilla plástica, por lo menos el 75% de estos suelos deben pasar la malla N° 200, pero se incluyen también las mezclas arcillo – arenosas cuyo porcentaje de grava y arena sea inferior al 64 %. Estos suelos presentan generalmente grandes cambios de volumen entre los estados seco y húmedo.

**Grupo A – 7:** Los suelos de este grupo son semejantes a los del grupo anterior, pero son elásticos. Su Límite Líquido es elevado.

**Sub Grupo A-7-5:** Incluye aquellos materiales cuyo índice de plasticidad no son muy altos con respecto a su Limite Liquido.

**Sub Grupo A-7-6:** Comprende aquellos suelos cuyo índice de plasticidad son muy altos con respecto a su Limite Liquido y que además, experimentan cambios de volumen muy grandes entre su estado seco y húmedo.

La clasificación de un suelo en un determinado grupo se basa en su plasticidad y porcentaje de material fino que pasa el tamiz N° 200. Cada grupo se identifica con un determinado número encerrado entre paréntesis llamado Índice de Grupo; el cual se determina mediante la siguiente formula:

$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.005(Ll - 40)] + 0.01(F - 15)(lp - 10)$$

Dónde:

F: Porcentaje que pasa el tamiz N° 200

Ll: Limite Liquido.

Ip: Índice de plasticidad.

**B. SUCS:** Esta clasificación de suelos, es planteada con frecuencia por ingenieros de carreteras y ha sido adoptada por el Cuerpo de ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, es una revisión de la clasificación que inicialmente presento el Profesor A. Casagrande y se designa como clasificación de Suelos Unificada, esta clasificación define a los suelos en dos grupos:

- ✓ Suelos de grano grueso
- ✓ Suelos de grano fino

#### **SUELOS DE GRANO GRUESO:**

Los suelos de grano grueso se dividen en gravas (G), arenas (S), según tengan más o menos el 50% de granos visibles retenidos en el tamiz N° 4 (mayores de 1 mm). A su vez, cada uno de estos tipos de suelos se divide en cuatro grupos:

W: bien graduados (coeficiente de uniformidad  $U > 4$ ); limpios ( $< 5\%$  que pasa el tamiz N° 200: partículas menores de 0.074 mm)



P: pobremente graduados (con granulometría discontinua,  $0 < U < 4$  para gravas o 6 para arena); limpios ( $< 5\%$  de partículas de menores de 0.074 mm).

C: bien graduados, sucios ( $> 12\%$  de partículas menores de 0.074 mm); finos arcillosos o plásticos (Índice Plástico;  $I_w > 7$ ).

F: pobremente graduados; sucios ( $> 12\%$  de partículas menores de 0.074 mm); dinos limosos o no plásticos ( $I_w < 4$ ).

Según su composición, estos tipos de suelos se representan con símbolos como GW y SP. Para los materiales límites se utilizan símbolos dobles, como GW-GP.

- ✓ Gravas o suelos arenosos, GW, GC, GP y GM
- ✓ Arenas o suelos arenosos, SW, SC, SP, SM.

Las siglas representan:

G = Grava o suelo gravoso.

S = Arena o suelo arenoso.

W = Bien graduado.

C = Arcilla orgánica.

P = Mal graduado.

M = Limo inorgánico o arena muy fina **SUELOS DE GRANO FINO:**

Comprende los materiales finos, limosos o arcillosos de baja o alta compresibilidad, se designa de la siguiente manera.

- ✓ Suelos de baja o mediana compresibilidad: ML, CL, OL
- ✓ Suelos de alta compresibilidad: MH, CH, OH. Las siglas representan:

Dónde:

M = limo inorgánico o arena muy fina

C = arcilla

L = baja o mediana compresibilidad

H = alta compresibilidad.

O = limos, arcilla y mezclas limo-arcillosas con alto contenido de materia orgánica.

### **Equivalente de Arena**

Este ensayo muestra un método para determinar el equivalente de arena de la fracción granulométrica 0/2mm de los áridos finos y de la mezcla total de los áridos.

Se fundamenta en liberar de la muestra de ensayo los posibles recubrimientos de arcilla adheridos a las partículas de arena mediante la adición de una solución coagulante que favorece la suspensión de las partículas finas sobre la arena, determinando su contenido respecto de las partículas de mayor tamaño.

**a) Aparatos**

- Dos probetas cilíndricas graduadas
- Regla graduada de 500 mm
- Tamiz N° 4
- Cronometro
- Balanza de 0,1 g de precisión (mínimo)
- Reactivos
- Bandejas, cepillos, tapones de caucho

**b) Preparación de los especímenes a ensayar**

- La muestra original debe ser de un tamaño igual o mayor a 2000 g de material.- Se pasa la muestra original en estado húmedo por el tamiz de N° 4, disgregando con la mano los terrones arcillosos.
- Se seca a masa constante a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  y se deja enfriar.

**c) Procedimiento**

- Se dispone adecuadamente el equipo de ensayo.
- Se sifonea solución de ensayo en una probeta hasta el nivel  $100 \pm 5$  mm.
- Se prepara una medida y se vierte en la probeta golpeando el fondo para desalojar las burbujas. Se deja en reposo durante 10 minutos.
- Se coloca el tapón y se agita manual o mecánicamente por 90 ciclos.
- Se destapa la probeta y se lavan las paredes interiores, luego se introduce el irrigador hasta al fondo para remover el material y se retira regulando el flujo hasta llegar al nivel 380 mm.
- Se deja sedimentar durante 20 minutos  $\pm$  15 segundos.
- Se registra el nivel superior de la arcilla (Nt), aproximando a 1 mm.
- Se introduce el pisón suavemente hasta que quede apoyado en la arena y se registra el nivel superior de la arena (Na) aproximando a 1 mm.

#### **d) Expresión de los resultados**

Calcular el equivalente de arena (EA) por la fórmula siguiente:

$$EA = (Na/Nt) \times 100$$

En dónde.

Ea : Equivalente de arena

Na : Altura de arena

Nt : Altura de arcilla

#### **Ensayo de Laboratorio de las Unidades de Albañilería**

El conocimiento de las propiedades físicas mecánicas de las unidades nos da un cierto criterio sobre la resistencia de la albañilería, así como de la durabilidad ante el intemperismo.

Las propiedades que se estudiaron son las siguientes:

Propiedades Físicas: variación dimensional, humedecido y secado, contenido de humedad y resistencia a la compresión.

#### **Ensayo de Variación Dimensional**

##### **a) Aparatos**

Una regla graduada al milímetro, de preferencia metálica o un pie de rey con divisiones en milímetros.

##### **b) Especímenes a ensayar**

Adobes enteros y secos, obtenidos por muestreo según la NTP 311.203.

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

Para cada unidad se efectúan 4 mediciones de largo, 4 mediciones de ancho y 4 mediciones de la altura con la precisión de 1 mm. Estas medidas serán tomadas en los puntos medios de los bordes de cada cara.

##### **d) Expresión de los resultados**

Para cada unidad, se obtiene la medida promedio de cada una de las dimensiones. La diferencia entre la dimensión de fabricación y la medida promedio correspondiente se expresa en porcentaje, respecto a la dimensión de fabricación aplicando:

$$V = (DF - MP) \times 100$$

En dónde.

V : Variación de dimensión en porcentaje.

DF : Dimensión de fabricación en milímetros.

MP : Medida promedio en cada dimensión en milímetros.

#### **e) Informe**

El promedio de las variaciones obtenidas en cada una de las dimensiones que cumplan con la NTP 331.201, representa el porcentaje de variación de dicha dimensión, de los adobes que conforman el lote de prueba.

En el informe se debe proporcionar:

- 1) Clave e identificación de los especímenes ensayados.
- 2) Mediciones efectuadas en cada espécimen en milímetros.
- 3) Promedios de cada una de las dimensiones en milímetros.
- 4) Porcentajes de variación en cada una de las dimensiones.
- 5) Observaciones.

#### **Ensayo de Comprensión de la Unidad**

##### **a) Aparatos**

Una máquina de compresión con una precisión de 10 da N (10 kg) en la lectura de las cargas.

##### **b) Preparación de los especímenes a ensayar**

Los especímenes cúbicos de arista igual a la menor dimensión del adobe, tallados de los adobes destinados a estas pruebas (un espécimen de cada adobe) y obtenidos (según la NTP 331.201. se deben preparar por lo menos 24 h antes del ensayo, alisando y haciendo perpendiculares a su eje vertical las caras de carga, mediante la aplicación de una capa de mortero plástico, compuesto de cemento Portland y yeso en partes iguales (en volumen), de espesor mínimo necesario.

Se permite cualquier otro tipo de material sobre las caras de carga de los especímenes, siempre que se garantice una distribución uniforme de la carga.

Después del fraguado o endurecido del material aplicado, no se aceptan resanes (parches o capas superpuestas).

### **c) Procedimiento**

Se centra el espécimen en la máquina de compresión y se aplica la carga uniforme a una velocidad de desplazamiento del cabezal de aproximadamente 1,27mm/mín.

### **d) Expresión de resultados**

La resistencia a la compresión, se calcula de la forma siguiente:  $R_c = P/A$

En donde:

P : carga de rotura expresada en daN (kg)

R<sub>c</sub> : resistencia a la compresión expresada en daN/cm<sup>2</sup> (kg/cm<sup>2</sup>)

A : área de la sección transversal promedio, expresado en centímetros cuadrados

### **e) Informe**

El promedio de los valores obtenidos que cumplen con el apartado 5.3.1 de la NTP representa la resistencia promedio a la compresión de los adobes que conforman el lote de prueba.

En el informe se debe proporcionar:

- 1) Clave e identificación de los especímenes ensayados.
- 2) Dimensiones de cada espécimen, en centímetros.
- 3) Máxima carga aplicada en cada espécimen en decanewton (kg).
- 4) Resistencia a la compresión de cada uno de los especímenes, en daN/cm<sup>2</sup> (kg/cm<sup>2</sup>).
- 5) Resistencia promedio a la compresión, calculada con aproximación al 0,1 daN/cm<sup>2</sup> (0,1 kg/cm<sup>2</sup>).
- 6) Contenido de humedad de cada espécimen, determinado de acuerdo al método de ensayo del apartado 3.5 de la presente Norma Técnica Peruana.
- 7) Observaciones.

## **Ensayo de Humedad y Secado**

### **a) Aparatos**

- Una balanza con capacidad de 2 000 g y una precisión en la lectura de 1 g.
- Un horno de desecación de temperatura regulable.
- Un depósito para sumergir las muestras.

### **b) Preparación de los especímenes a ensayar**

- Los especímenes serán cúbicos de arista igual a la menor dimensión del adobe y se obtendrán por tallado de los adobes destinados a estas pruebas (un espécimen de cada abobe).
- Se alisan las caras con una lija delgada, eliminando todo material suelto de las superficies de los especímenes.

### **c) Procedimiento**

- Se someten los especímenes a un proceso de cinco ciclos de humedecido y secado.

El ciclo consiste:

- 1) Los especímenes se sumergen a un depósito con agua durante 4 h.
  - 2) Sacar los especímenes del agua y colocarlos en el horno durante 43 h a 60°C.
  - 3) Dejarlos enfriar 1 h para iniciar el siguiente ciclo.
- Después del primer y quinto ciclo, los especímenes se pesarán con aproximación de 1 cN (1 g).

### **d) Expresión de resultados**

El desgaste por humedecido y secado, se calcula a partir de:

En donde:  $W1$  : peso del espécimen después del primer ciclo, en cN (g)

$D$  : desgaste expresado en porcentaje.

$W5$  : peso del espécimen del quinto ciclo, en cN (g)

### **e) Informe**

El promedio de los valores obtenidos de acuerdo al apartado 5.5.1 de la NTP 331.201, representa el desgaste promedio de los adobes que conforman el lote de prueba.

En el informe se debe proporcionar:

- 1) Clave e identificación de los especímenes ensayados.
- 2) Dimensiones de cada espécimen, en centímetros.
- 3) Peso del espécimen después del primer y quinto ciclo.
- 4) Desgaste en porcentaje.
- 5) Observaciones.

## **Ensayo de Contenido de Humedad**

### **a) Aparatos**

- Un horno de desecación de temperatura regulable
- Una balanza con capacidad de 1 000 cN (1 000 g) y una precisión en la lectura de 0,5 cN (0,5 g).
- Una campana de humedad.

### **b) Preparación de los especímenes**

Los especímenes para este ensayo, están constituidos por lo menos de dos porciones (una interna y otra superficial) tomados de cada uno de los especímenes ensayados, según los apartados 3.2 y 3.3 de la presente Norma Técnica Peruana.

Cada porción pesará aproximadamente 300 cN (300 g).

### **c) Procedimiento**

- Se pesa cada una de las porciones con aproximación de 0,5 cN (0,5 g).
- Se secan en el horno a 60 °C durante 48 h.
- Se sacan del horno y se dejan enfriar en la campana de humedad durante 1h.
- Se pesa cada porción seca con aproximación de 0,5 cN (0,5 g).

### **d) Expresión de los resultados**

El contenido de humedad se calcula de la forma siguiente:

$$w = \frac{(W_h - W_s) \times 100}{W_s}$$

En donde:

W : contenido de humedad expresado en porcentaje.

Wh : peso del espécimen al estado natural, en cN (g)

Ws : peso del espécimen secado al horno, en cN (g)

### **e) Informe**

El contenido de humedad de cada espécimen, será el promedio de los valores obtenidos según la fórmula dada en cada una de sus porciones así como muestra (Ver imagen N° 11 en el Anexo 2).

### **Ensayos Empíricos en Campo (Prueba de la Botella)**

En esta prueba se verifica el contenido de los materiales mediante la decantación, y los procedimientos se presentan a continuación:

- 1) Se realiza la recolección de la materia prima de la cantera.
- 2) Como paso posterior se llenara a una botella la materia prima seleccionada anteriormente por cada cantera completándola con agua, y se dejara reposar en el lapso de 12 horas.
- 3) Como paso consecuente al anterior, se recomienda medir la cantidad de los componentes de la materia prima, como son: arcilla, arena y limo, (Ver imagen N° 12 en el Anexo 2).
- 4) Como paso final, puesto que se encontró que para la cantera las características a usarse en la estabilización de tierra es la adecuada, se realiza el ensayo granulometría y límites de consistencia y de esa forma dar con el material más idóneo a compactarse.

### **ELABORACION DEL ADOBE ESTABILIZADO**

#### **Tipos de Unidades de Adobe**

El tipo de unidades de adobes que se elabora en la zona: Caserío de Chequio, en el distrito de Independencia es el adobe común (30 x 20 x 15), también utilizados para la fabricación de ladrillos de arcilla King Kong (23 x 12 x 9), fabricados artesanalmente; contándose además que para el presente proyecto se trabajaron con unidades (23 x 13 x 8).

#### **Moldes de Fabricación de Unidades**

##### **Artesanal**

Es el método más utilizado en la fabricación de los adobes en la zona de estudio se realiza con moldes artesanales llamadas GAVERAS, que son de madera (con dimensiones específicas), las cuales se llenan de un solo golpe con la materia prima previamente amasada, para luego ser enrasada la parte superior sobrante con un



arco de alambre (cortadora). Los artesanos utilizan mayormente, GAVERAS para moldear dos o tres adobes a la vez. La GAVERA deberá estar previamente lubricada con arena fina para facilitar el desmoldaje de la unidad en los tendales.

### **Mediante Prensa Mecánica Manual (Función de la Maquina Cinva Ram)**

La prensa CINVA-Ram es una maquina sencilla, portátil, de bajo costo, para hacer bloques para construcción y baldosines usando tierra como materia prima. La prensa, hecha completamente de acero, tiene una caja molde en la cual un pistón operado a mano, comprime una mezcla de tierra más el material que se adiciona ligeramente húmeda.

En este caso se utilizó una Gavera de madera Tornillo que incluye una prensa manual llevando el mismo sistema de manejo de una maquina Cinva Ram, la prensa manual que se tuvo en el proyecto de Tesis tiene la misma medida de una prensa mecánica Cinva Ram además tiene una caja molde de madera tornillo en la cual está operado por una prensa manual de acero que comprime la mezcla de tierra y relave por el centro de la tapa del molde.

**Cuadro N° 07:** Características de la prensa manual.

CARACTERISTICAS			PRODUCCION
Peso (Kg)	Dimensiones (cm)	Altura (mt)	Cantidad aprox. De bloque por día
14	23 x 13 x 8	30cm	200-300

**Fuente:** Elaboración Propia

## **PRODUCCIÓN DE ADOBES ESTABILIZADOS CON PRENSA MECANICA MANUAL**

La producción diaria de adobes estabilizados es aproximadamente de 200 a 300 unidades, dependiendo mayormente de la habilidad y destreza del operador.

### **Secado**

El secado del adobe se realiza en tendales permaneciendo 28 días para bloques con sustitución por relave minero y entre 8 a 9 días para bloques patrones (0% de relave).

## PROCESO DE ELABORACIÓN DE ADOBES

### Proceso de Elaboración

Para la elaboración de adobes se debe contar con los insumos necesarios, en cantidad suficiente para elaborar la cantidad requerida de unidades de adobe.

**Cuadro N° 07:** Pesos de las muestras tomadas de la cantera de Chequio.

Puntos	Cantidad de Material	Cantidad de Material
	Tierra Seco (gr)	Relave (gr)
M01	74,630.00	13,170.00

**Fuente:** Elaboración Propia

### Preparación de Materiales (Tierra – Relave Minero)

Se procede a dosificar según las proporciones calculadas en gabinete, , contándose desde los ensayos de granulometría, límites de consistencia, ensayos de variación dimensional, compresión de cada unidad de bloque estabilizado, contenido de humedad culminando con el humedecido y secado de los bloques ya ensayados.

1. Se toma los materiales de acuerdo a los componentes empleados en el cuadro N° 03 y 04 para la mezcla de insumos en porcentajes de 10%, 20% y 30%, (Ver imagen N° 13 en el Anexo 2).
2. Enseguida se toma los materiales de acuerdo a las proporciones calculadas para los 5 adobes por cada porcentaje; luego se realiza la mezcla entre tierra y relave, (Ver imagen N° 14 en el Anexo 2).
3. Luego de haber mezclado los materiales se deja en un tiempo de reposo de 24 horas para la maduración de la mezcla, con la finalidad de obtener una buena trabajabilidad, (Ver imagen N° 15 en el Anexo 2).
4. Después de haberse dejado en reposo y madurado la mezcla en un tiempo de 24 horas se hecha al molde la mezcla calculado según proporción a una altura de 5cm para luego presionarlo con una prensa manual por encima de la tapa, (Ver imagen N° 16 en el Anexo 2).

5. Luego que la mezcla se encuentra depositado en el molde se presiona con la prensa manual generando un esfuerzo a compresión y sin dejar espacios vacíos que generen fisuramiento, (Ver imagen N° 17 en el Anexo 2).
6. Después de haberse presionado la mezcla, se afloja la prensa para retirar el adobe ya compactado, (Ver imagen N° 18 en el Anexo 2).
7. Los adobes compactados por la prensa manual y luego se esperó los 28 días de fraguado con el fin de obtener la resistencia a la compresión, (Ver imagen N° 19 en el Anexo 2).

### **Calidad de Producto**

En este caso se tiene la calidad de producto después de haber realizado el ensayo a la compresión, así como se muestra en las imágenes, (Ver imagen N° 20 en el Anexo 2).

## RESULTADOS

### Resultados de Ensayos

#### Ensayo de los Resultados de la Materia Prima

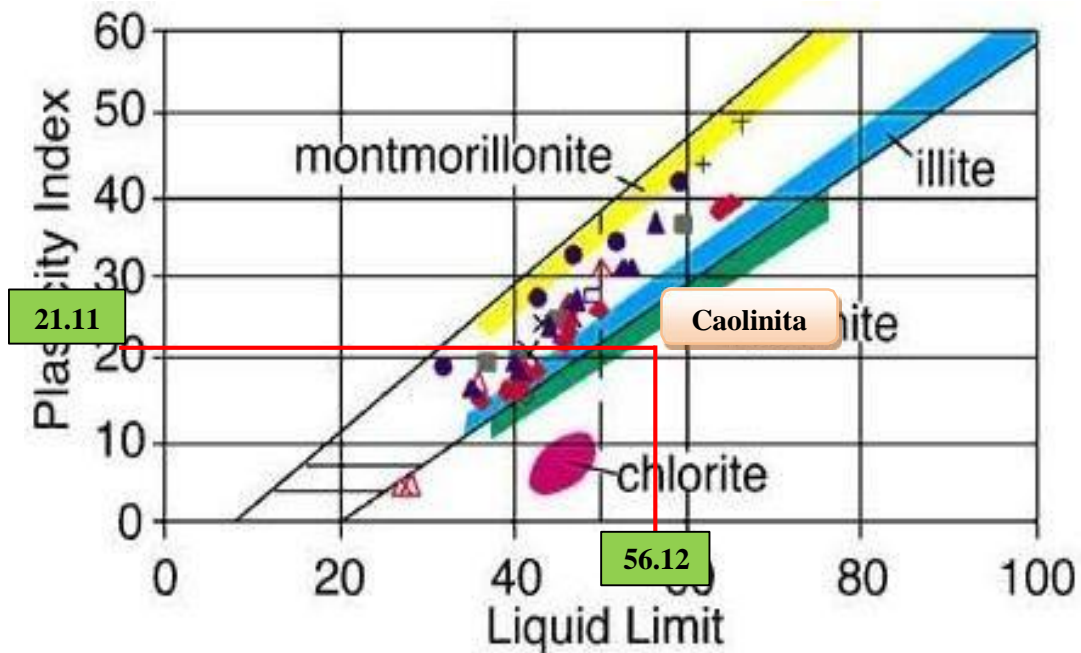
En el presente cuadro se observan los resultados obtenidos de los Ensayos de Granulometría, contenido de Humedad, Limite líquido y Limite Plástico, así como su correspondiente clasificación en el Sistema SUCS y AASHTO de la cantera de la localidad de Chequio.

#### a) CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE ARCILLA

De acuerdo a los límites de consistencia se determina que la arcilla de la localidad de Chequio tiene los siguientes constantes de la muestra:

- Limite Liquido: 56.12
- Limite Plástico: 35.01
- Índice de Plasticidad: 21.11

Por lo tanto se observa que de acuerdo a la gráfica se calcula el tipo de arcilla que encontramos en la localidad de Chequio es: CAOLINITA



*Grafico 1: Calculo del Tipo de Arcilla*

**Fuente:** de Elaboración Propia

## **b) PROPIEDADES DE LA ARCILLA CAOLINITA**

### **Propiedades Físicas**

Las propiedades físicas que se encuentran en la arcilla CAOLINITA son:

- ✓ En primer lugar la coloración de la arcilla caolinita es de color plomo oscuro.
- ✓ El brillo que presenta la arcilla es un plomo rojizo cuando este es cristalino.
- ✓ La arcilla caolinita es muy blanda de tacto untuoso, ósea tiene una textura grasosa y pegajosa.

### **Propiedades Químicas**

Las propiedades químicas de la arcilla caolinita es:

- ✓ Según la determinación de PH de la arcilla contiene acidez.
- ✓ Además como la arcilla caolinita se concentra en masas terrosas o sueltas, contienen el H<sub>2</sub>O.

## **c) PROPIEDADES DEL RELAVE MINERO**

### **Propiedades Físicas**

Las propiedades físicas que se encuentran en el Relave Minero son:

- ✓ El color del relave minero es de color blanco ya que se parece al yeso.
- ✓ El brillo que presenta el relave minero es de color plata.
- ✓ El relave minero tiene la textura suelta, no es blando a la hora de la trabajabilidad.
- ✓ El relave minero se presenta en forma de bloques de tierra procesada.

### **Propiedades Químicas**

Las propiedades químicas del Relave Minero son:

- ✓ Según la determinación de PH del relave minero es considerado como extremadamente ácido, por contener sustancias químicas.
- ✓ Según la determinación mineralógica del relave minero contiene un 87.08% de óxido de silicio.
- ✓ La determinación de las sustancias químicas del relave minero según el Espectro de los rayos X, se encuentran metales pesados como: Aluminio (Al), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Plomo (Pb), Arsénico (As).

Calculo de las Dosificaciones de Cada Insumo a Emplear en la Elaboración de los Bloques de Tierra Estabilizada Según Porcentaje Correspondiente Cálculo de Dosificación para un Adobe Estabilizado

Datos del Molde:

Base (b) = 23 cm; base según la maquina compactadora

Altura (h) = 8cm; según norma es la altura mínima

Ancho = 13 cm

Formula:  $A = (b + B) \times h/2$

Área = 299 cm<sup>2</sup>

Volumen del Molde adobero

Volumen = 299cm<sup>2</sup> x 8cm

Volumen = 2,392 cm<sup>3</sup> = 0.0024 m<sup>3</sup>

**Calcular la dosificación para el adobe patrón:**

Cantidad de tierra para elaborar un adobe estabilizado

Si para: 300 unidades de adobe incluyendo arcilla y relave se tiene 1.20m<sup>3</sup>

$$\begin{array}{r} 300 \text{ -----} 1.20\text{m}^3 \\ 1 \text{ .....} X \\ X=1.20/300=0.004 \text{ m}^3 = 4.390 \text{ kg} \\ X = 4,390. \text{ g} \end{array}$$

Según los datos recolectados tenemos:

- ✓ La densidad de la arcilla es de 2.6
- ✓ El peso específico de la arcilla se determinó de 2.16

Por tanto la relación agua/arcilla es de  $2.16/2.6=0.83$

**Componentes a emplear para estabilizar bloques de tierra-relave en peso.**

**Tabla 1:** Datos de los componentes recolectados.

Relave (%)	Relave (grs.)	Agua (grs.)
0	0	1,093.25
4	488.91	1,236.51
8	977.82	1,452.31

**Fuente:** Elaboración Propia

**Calculo de la sustitución del relave minero.**

Para la elaboración de un adobe estabilizado con sustitución de 10% de relave minero se tiene:

Para el 10% de **relave minero**:

$$4,390\text{grs}-----100\%$$

$$X-----10\%$$

$$X = (10*4,390)/100$$

$$X = \mathbf{439 \text{ grs de la relave minero}}$$

Entonces la cantidad de tierra es  $4,390 - 439 = \mathbf{3,951 \text{ grs}}$

Calculo de la cantidad de **agua** requerida.

$$8\%-----1,452.31\text{grs}$$

$$10\%-----X$$

$$X = (10*1,452.31)/8$$

$$X = \mathbf{1,815.38 \text{ grs}}$$

**Para la elaboración de un adobe estabilizado con sustitución de 20% de relave minero se tiene:**

Para el 20% de **relave minero**:

$$4,390\text{grs}-----100\%$$

$$X-----20\%$$

$$X = (20*4,390)/100$$

$$X = \mathbf{878 \text{ grs de la relave minero}}$$

Entonces la cantidad de tierra es  $4,390 - 878 = \mathbf{3,512 \text{ grs}}$

Calculo de la cantidad de **agua** requerida.

$$10\%-----1,815.38\text{grs}$$

$$20\%-----X$$

$$X = (20*1,815.38)/10$$

$$X = \mathbf{3,630.76 \text{ grs}}$$

Para la elaboración de un adobe estabilizado con sustitución de 30% de relave minero se tiene:

$$4,390\text{grs}-----100\%$$

$$X-----30\%$$

$$X = (30*4,390)/100$$

$$X = 1,317 \text{ grs de la relave minero}$$

Entonces la cantidad de tierra es  $4,390 - 1,317 = 3,073 \text{ grs}$

Calculo de la cantidad de **agua** requerida.

$$20 \%-----3,630.76\text{grs}$$

$$30\%-----X$$

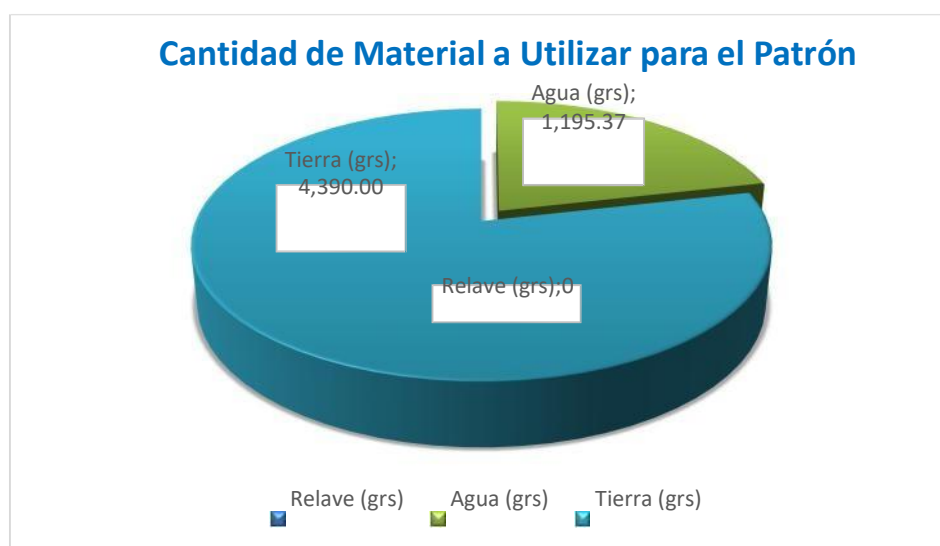
$$X = (30*3,630.76)/20$$

$$X = 5,446.14 \text{ grs}$$

**Tabla 2:** Componentes a emplear para estabilizar bloques de tierra-relave en peso para un solo molde.

Relave (%)	Relave (grs)	Agua (grs)	Tierra (grs)
<b>Patrón</b>	0	1,093.25	4,390.00
<b>10%</b>	439.00	1,815.38	3,951.00
<b>20%</b>	878.00	3,630.76	3,512.00
<b>30%</b>	1,317.00	5,446.14	3,073.00

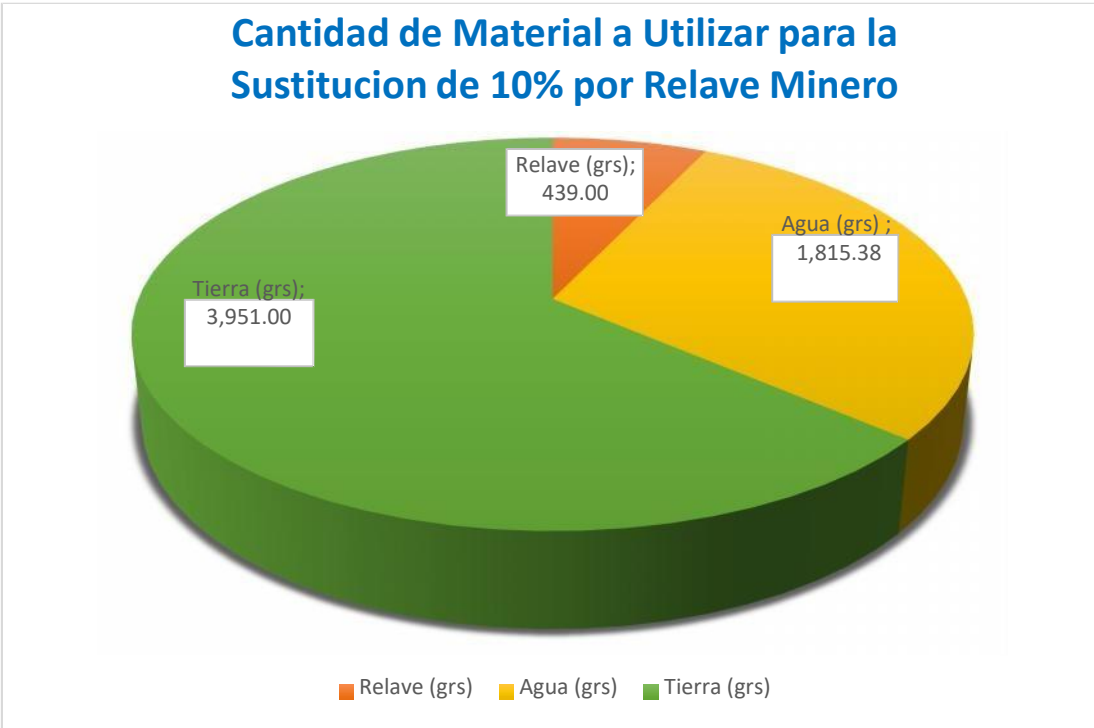
**Fuente:** Elaboración Propia



**Grafico 2:** Cantidad de Matariles a Utilizar Para el Ensayo de la rotura del Patrón

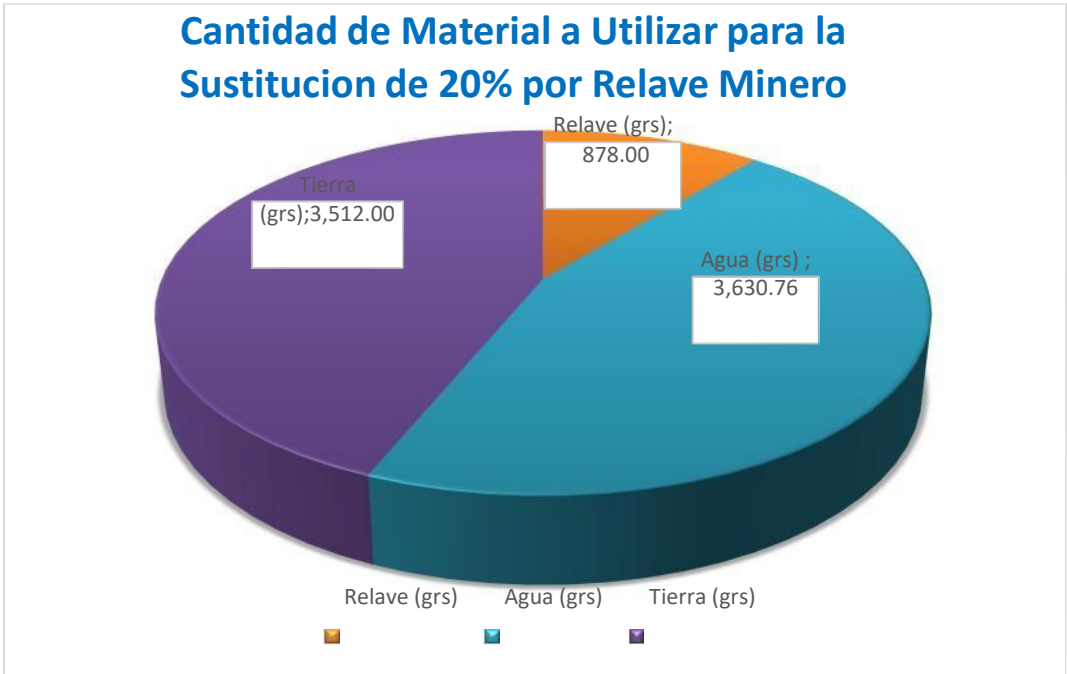
**Fuente:** Elaboración Propia





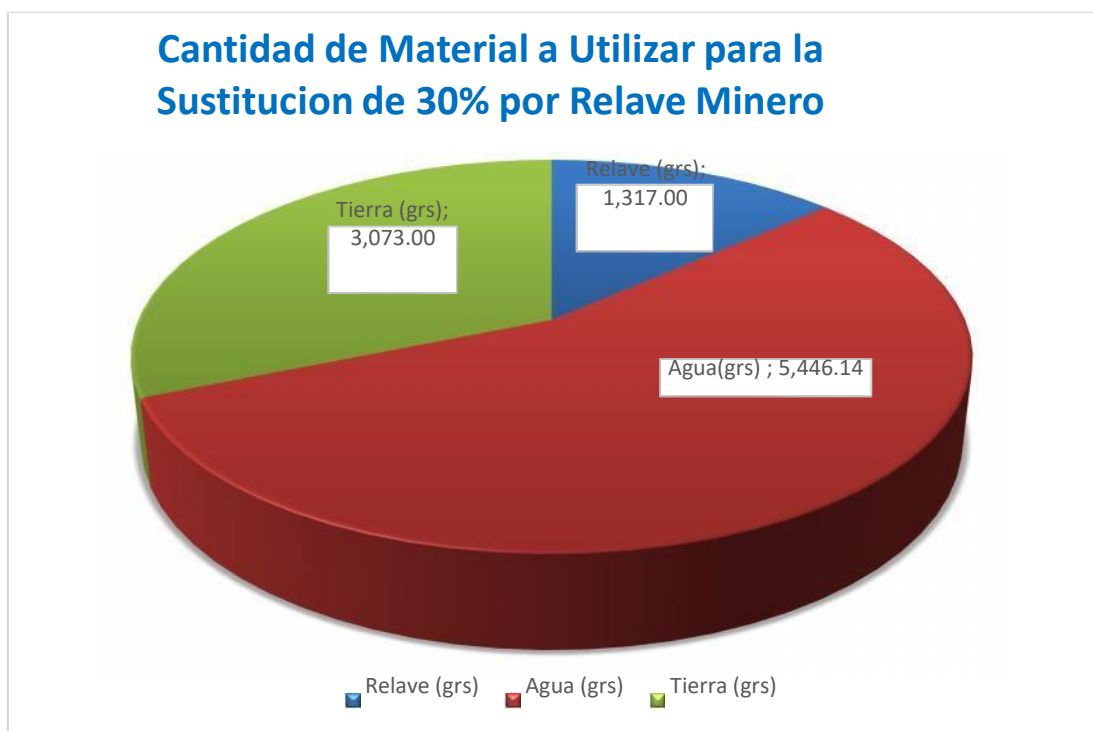
**Grafico 3:** Cantidad de Materiales con la Sustitución de 10% por Relave Minero

Fuente: Elaboración propia



**Grafico 4:** Cantidad de Materiales con la Sustitución de 20% por Relave Minero.

Fuente: Elaboración propia



**Grafico 5:** Cantidad de Materiales con la Sustitución de 30% por Relave Minero.

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 3:** componentes a emplear para los 5 adobes para cada porcentaje.

Sustitución del Material	Relave (grs)	Agua (grs)	Tierra (grs)
Patrón	0	5,976.85	21,950.00
10%	2,195.00	9,076.90	19,755.00
20%	4,390.00	18,153.80	17,560.00
30%	6,585.00	27,230.70	15,365.00
<b>Promedio</b>	<b>13.17 kg</b>	<b>60.44 kg</b>	<b>74.63 kg</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

### COMPARACION DE RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO

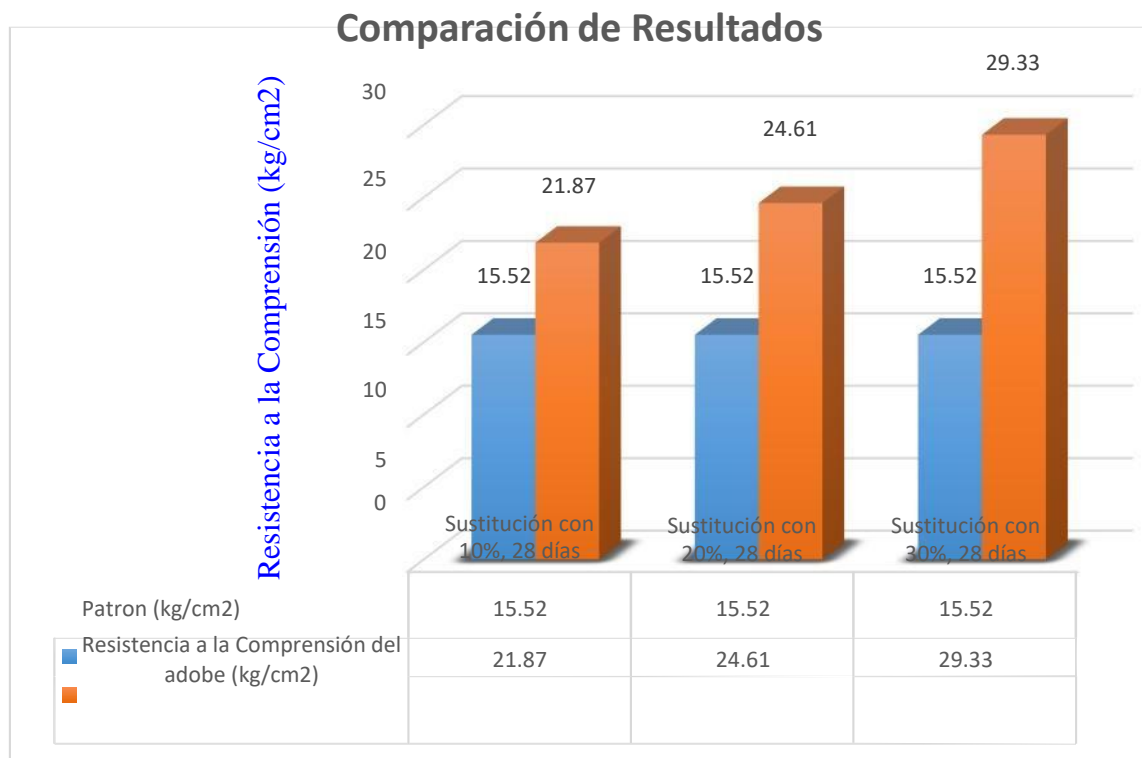
Cuadro Comparativo de Resultados del adobe patrón y con la sustitución de relave minero en un 10%, 20 % y 30%, se compara la resistencia del adobe patrón y los adobes sustituidos por relave minero en porcentajes.

**Tabla 4:** Resultado al ensayo de compresión

Sustitución con Relave (%)	Resistencia a la Compresión del Adobe Compactado (kg/cm <sup>2</sup> )
Patrón, 28 días	15.52 kg/cm <sup>2</sup>
Sustitución con 10%, 28 días	21.87 kg/cm <sup>2</sup>
Sustitución con 20%, 28 días	24.61 kg/cm <sup>2</sup>
Sustitución con 30%, 28 días	29.33 kg/cm <sup>2</sup>

**Fuente:** Elaboración Propia

En la gráfica que se presenta a continuación se observa la resistencia a la compresión de cada adobe estabilizado, con la comparación de un adobe de arcilla.



**Gráfico 6:** Resistencia a la compresión de los adobes estabilizados.

**Fuente:** Elaboración Propia

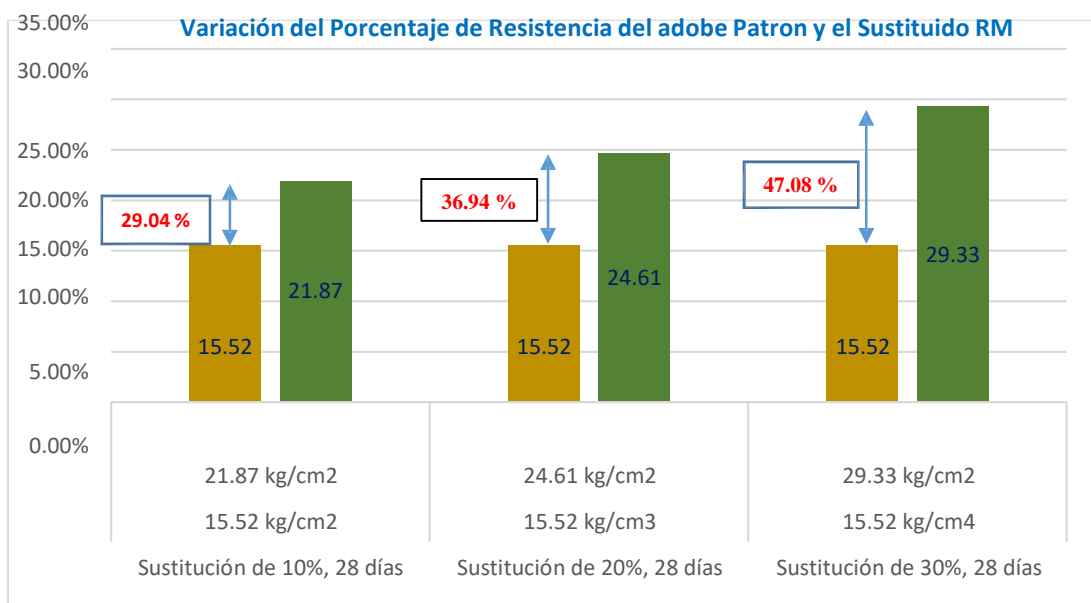
### **PORCENTAJE DE VARIACION DEL ADOBE DE ARCILLA Y EL PORCENTAJE DE ARCILLA SUSTITUIDO POR RELAVE MINERO**

Se desarrolla el porcentaje de variación del adobe natural con arcilla entre el adobe sustituido por relave minero.

**Tabla 5:** Porcentaje de variación de la resistencia del adobe patrón y la sustitución con relave minero.

Sustitución con Relave Minero (%)	Resistencia del Adobe Patrón a los 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia del Adobe Sustituido por Relave Minero a los 28 días	% de Variación de Resistencia del Adobe Patrón entre la Sustitución de Relave
		(kg/cm <sup>2</sup> )	Minero
Sustitución de 10%, 28 días	15.52 kg/cm <sup>2</sup>	21.87 kg/cm <sup>2</sup>	29.04%
Sustitución de 20%, 28 días	15.52 kg/cm <sup>3</sup>	24.61 kg/cm <sup>2</sup>	36.94%
Sustitución de 30%, 28 días	15.52 kg/cm <sup>4</sup>	29.33 kg/cm <sup>2</sup>	47.08%

Fuente: Elaboración Propia



**Grafico 7:** Porcentaje de la variación de la resistencia a la comprensión.

Fuente: Elaboración propia

### Ensayo de Variación Dimensional de la Cantera de la Localidad de Chequio

Promedio de los porcentajes de variación de las dimensiones de los bloques de tierra estabilizados en diferentes porcentajes con la sustitución de relave minero después de 28 días de fraguado.

**Tabla 6:** Ensayo de variación dimensional de bloques de adobes estabilizados con relave minero (longitud)

N° de Ensayos	Largo (cm)					L. promedio (cm)
	L1	L2	L3	L4	L5	
0%	23	21	22	23	23	<b>22.40</b>
10%	23	22	23	23	22	<b>22.60</b>
20%	22	22	22	23	23	<b>22.40</b>
30%	22	23	22	23	23	<b>22.60</b>

**Fuente:** Elaboración Propia  
 Longitud Promedio Total = **22.50cm**

**Tabla 7:** ensayo de variación dimensional de bloques de adobes estabilizados con relave minero (ancho)

N° de Ensayos	Ancho (cm)					A. promedio
	A1	A2	A3	A4	A5	
0%	12	13	11	13	13	<b>12.40</b>
10%	12	12	12	13	13	<b>12.40</b>
20%	13	13	12	13	12	<b>12.60</b>
30%	13	13	13	12	12	<b>12.60</b>

**Fuente:** Elaboración Propia  
 Longitud Promedio Total = **12.50cm**

**Tabla 8:** Ensayo de variación dimensional de bloques de adobes estabilizados con relave minero (alto).

N° de Ensayos	Alto (cm)					h. promedio
	h1	h2	h3	h4	h5	
0%	6	7	7	8	8	<b>7.20</b>
10%	7	8	8	8	8	<b>7.80</b>
20%	8	8	8	7	8	<b>7.80</b>
30%	8	7	8	8	7	<b>7.60</b>

**Fuente:** Elaboración Propia  
 Longitud Promedio Total = **7.60cm**

**Tabla 9:** Promedio de las variaciones de las dimensiones de los bloques de tierra estabilizado.

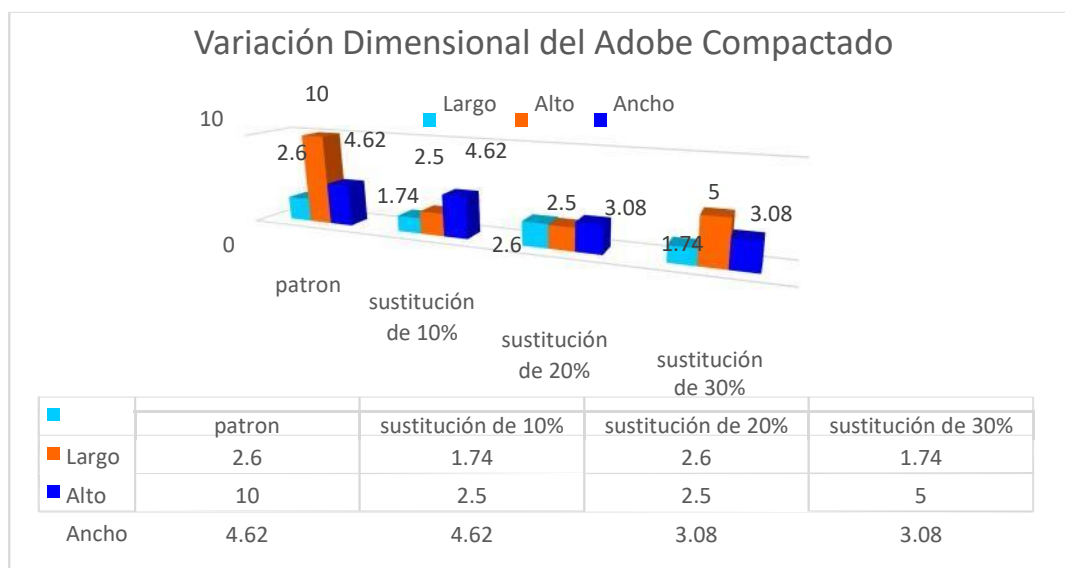
Según el Contenido de		Variación Dimensional (cm)		
Relave Minero	Largo	Alto	Ancho	
Patrón	22.40	7.20	12.40	
Sustitución con 10%	22.60	7.80	12.40	
Sustitución con 20%	22.40	7.80	12.60	
Sustitución con 30%	22.60	7.60	12.60	

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 10:** Porcentaje de Variación de los Adobes Compactado.

Según el Contenido de		Variación Dimensional (%)		
Relave Minero	Largo	Alto	Ancho	
Patrón	2.60	10.00	4.62	
Sustitución de 10%	1.74	2.50	4.62	
Sustitución de 20%	2.60	2.50	3.08	
Sustitución de 30%	1.74	5.00	3.08	

Fuente: Elaboración Propia



**Grafico 8:** Variación Dimensional.

Fuente: Elaboración Propia.

## Ensayo de Resistencia a la Comprensión de la Localidad de Chequio

En el cuadro siguiente se pueden apreciar la resistencia promedio que pueden llegar a alcanzar los bloques de tierra estabilizadas, según el porcentaje de relave contenido en su composición después de los 28 días de fraguado,

Tabla 11: Comparación de requisitos obligatorios.

Según el Contenido de Relave Minero	Variación Dimensional en (%)			Resistencia a la Comprensión (kg/cm <sup>2</sup> )
0%	L	h	A	35.31
	2.60	10.00	4.62	
10%	L	h	A	62.64
	1.74	2.50	4.62	
20%	L	h	A	84.51
	2.60	2.50	3.08	
30%	L	h	A	96.37
	1.74	5.00	3.08	
NTP	L	h	A	17
	2.00	2.00	2.00	

Fuente: Elaboración Propia.

El ensayo de comprensión a la rotura de un adobe estabilizado está en (Ver Imágenes del N° 21 al 26 del Anexo 2).

## CONSECUENCIAS DE LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS DEL RELAVE MINERO EN LA QUE PUEDAN GENERAR RIESGOS A LA SALUD HUMANA.

### Del Trióxido de Aluminio:

Cuando la piel entra en contacto con el Trióxido de Aluminio no se irrita la piel, en caso donde el trióxido de aluminio ha entrado en los ojos no se han observado irritación o inflamación, solo se ha observado irritación temporal en estudios con animales.

El polvo del trióxido de aluminio no es irritante para los ojos, excepto como "materia extraña" y puede ocurrir lagrimeo, parpadeo y dolor leve temporal; en caso se ingiera

el trióxido de aluminio la toxicidad oral es baja. El trióxido de aluminio es un componente normal de la dieta humana, y la ingestión diaria normal es significativa.

**Del Óxido de Silicio:**

El óxido de silicio produce silicosis las cuales producen cicatrices en los alvéolos que impiden que el oxígeno llegue a la sangre, la silicosis puede dificultar la respiración y a veces, incluso puede ocasionar la muerte. Además, aumenta el riesgo de padecer de tuberculosis y de cáncer pulmonar.

**Del Pentóxido de Difósforo:**

Los efectos debido a la inhalación de pentóxido de difosforo produce quemaduras en la nariz y la garganta, provoca tos, jadeo y edema pulmonar, además con efectos de ingestión provoca, dolor abdominal, diarrea, náuseas, vómitos, por otro lado, cuando existe contacto con la piel y los ojos provoca enrojecimiento, quemaduras cutáneas, o quemaduras profundas graves además de dolor.

Para mejorar los peligros de la inhalación e ingestión de pentóxido de difosforo se debe recurrir con urgencia a la atención médica, y en caso que existe contacto con la piel lavarse rápidamente con abundante agua.

**Del Dióxido de Azufre:**

El efecto de contaminación a la salud varía de acuerdo a la concentración y duración en el cuerpo afectando las mucosidades y los pulmones, provocando ataques de tos, si bien es absorbido por el sistema nasal debido a la elevada solubilidad, además causa la irritación del tracto respiratorio, bronquitis y congestión de los conductos bronquiales especialmente a las personas asmáticas.

Para evitar estas congestiones en la mayoría nasales es urgente la atención médica.

**Del Trióxido de Di hierro:**

El trióxido de di hierro u óxido de hierro causa enfermedades como la fiebre, escalofríos, dolores, opresión en el pecho y la tos, además el contacto prolongado provoca decolorar los ojos, falta de aire y cambio en la radiografía de tórax.

Para evitar estas congestiones en la mayoría nasales es urgente la atención médica.



## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se analizó cada uno de los resultados obtenidos para la fabricación de adobes estabilizados patrón y experimentales, así también como las propiedades físicas y químicas de la materia prima (Arcilla) y el relave minero, en base a lo expuesto en los objetivos específicos.

### EVALUACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL RELAVE MINERO

Las propiedades físicas y químicas analizadas del relave minero son de acuerdo a las características en que se encuentra en la cantera de Ticapampa tal que cuenta con colores de un cal o yeso y un brillo rojizo y claro esto cambio se observa por la cantidad de Trióxido de Aluminio ( $Al_2O_3$ ) que se encuentra en el relave y por otro lado las propiedades químicas están sujetas a los análisis de PH realizadas en la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, tal que se tomó muestras del relave minero y la arcilla de acuerdo a la cantidad en la que ha sido sustituido.

### EVALUACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS MATERIALES SUSTITUTOS POR MEDIO DE FRX.

Tabla 12: Resultados del FRX del Relave Minero

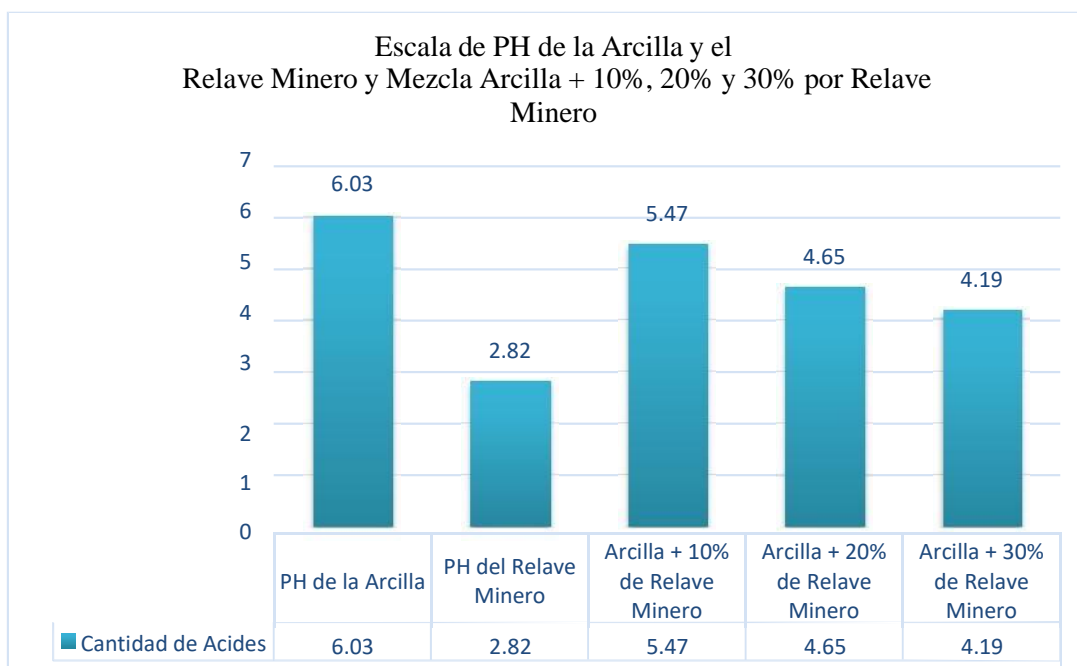
Formula	Definición	Masa (%)	Normalizado
$Al_2O_3$	Trióxido de Aluminio	12.928	11.799
$SiO_2$	Oxido de Silicio	87.083	79.479
$P_2O_5$	Pentaóxido de Difósforo	1.349	1.284
$SO_2$	Dióxido de Azufre	2.565	2.341
$K_2O$	Oxido de Potasio	1.004	0.916
$CaO$	Oxido de Calcio	0.302	0.276
$TiO_2$	Oxido de Titanio	0.370	0.338
$MnO$	Oxido de Manganeso	0.043	0.039
$Fe_2O_3$	Trióxido de Hierro	2.187	1.996
$CuO$	Oxido de Cobre	0.005	0.004
$ZnO$	Óxido de Zinc	0.010	0.009
$Rb_2O$	Oxido de Rubinio	0.003	0.003
$SrO$	Oxido de Estroncio	0.002	0.021
$PbO$	Oxido de Plomo	0.138	0.126
TOTALES		108.567	100.00

**Fuente:** Universidad Nacional Mayor de San Marcos, resultados de la cantidad de sustancias que se encuentra en el relave minero según los rayos X.

Los resultados de FRX del Relave Minero sometidas a los rayos X muestran como elemento predominante al óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) dado por 87.08% de masa encontrado en el relave minero, seguido por el trióxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dado por 12.93% de masa, en el cual el óxido de silicio se concentra con mayor cantidad de sílice y por ende el material predominante mejora la resistencia al adobe compactado, por otro lado, por un estudio que se realizó por el autor **Céspedes (2012) en el uso del reciclaje de relave minero**, según los estudios mineralógicos y químicos, la presencia de alúmina ( $\text{Al}_2$ ), sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y un activador alcalino tal como hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) permiten la creación de geo polímeros; en el cual concluye que los relaves mineros son cementos que se caracterizan por presentar resistencia química y térmica, buenas propiedades mecánicas bajo niveles de emisiones del  $\text{CO}_2$ .

#### **EVALUACIÓN DEL GRADO DE ALCALINIDAD (PH) DE LOS MATERIALES SUSTITUTOS.**

Los resultados obtenidos del análisis de PH, realizados en el Laboratorio de Análisis de Suelos y Aguas de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNASAM, muestra el PH del relave minero supera el PH de la arcilla de 3.21 de acides, por otro lado, la mezcla de arcilla + 10%, 20% y 30% de relave minero superan al PH del relave minero con 5.47, 4.65 y 4.19 de acides y por el contrario el PH de la arcilla es menor a la del relave minero con 6.03. Así todas las muestras con relave minero son muy acidas, ya que sus PH son mayores a 4 o menos, por otro lado, la arcilla está clasificado como ligeramente ácido ya que su PH se encuentra mayores a 6.



**Grafico 9:** Resultados obtenidos del ensayo de PH de la Arcilla, Relave minero y la mezcla de arcilla + 10%, 20% y 30% de Relave Minero.

**Fuente:** Informe técnico PH – Universidad Nacional Santiago Antunez De Mayolo

El objetivo de esta prueba era obtener un PH mayor al del relave minero, de manera que así se garantiza que el adobe compactado y estabilizado este protegido a ataques químicos como contra los ácidos orgánicos como por ejemplo el ácido carbónico al que se expone el adobe y por otro lado al ataque de los cambios climáticos como las fuertes precipitaciones, helada y otros.

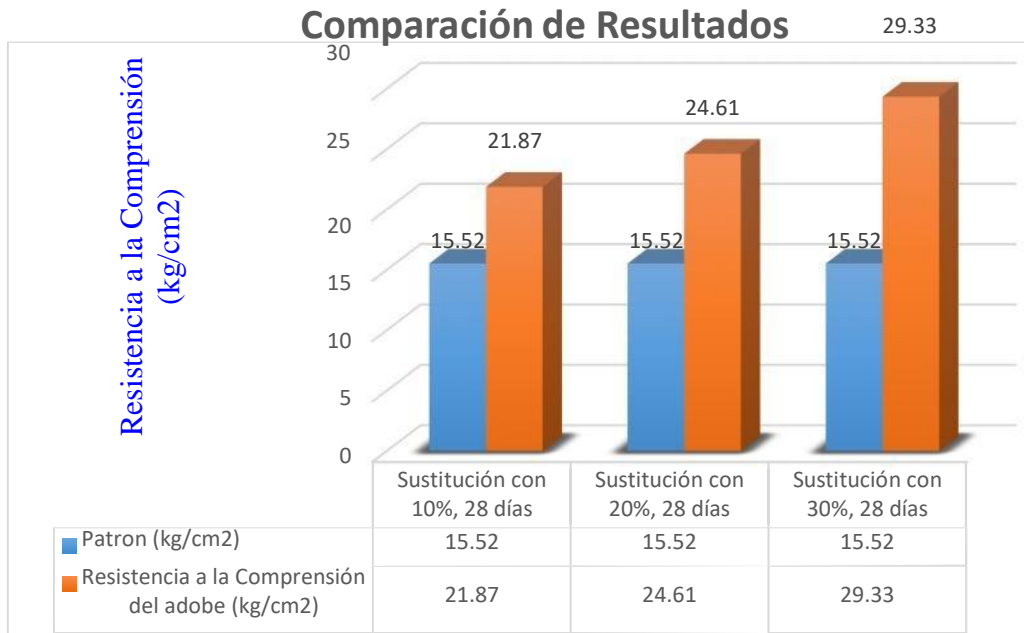
**Tabla 13: Calificación del PH.**

Calificación	Escala PH
<b>Muy ácida</b>	<b>PH 4 o menos</b>
Moderadamente ácida	PH 5
<b>Ligeramente ácida</b>	<b>PH 6</b>
Neutra	PH 7
Ligeramente alcalina	PH 8
Moderadamente alcalina	PH 9
Muy alcalina	PH 10 o más

**Fuente:** “<https://es.scribd.com/doc/250439043/Clasificacion-de-Los-Suelos-Segun-El-PH>”

## EVALUACIÓN DE RESISTENCIA. A COMPRESIÓN DEL ADOBE ESTABILIZADO PATRON Y LOS EXPERIMENTALES.

Los resultados obtenidos del ensayo a la resistencia a la compresión del adobe patrón a los 28 días muestran una resistencia a la compresión promedio de 15.52 Kg/cm<sup>2</sup>, de la misma manera sucede con los adobes experimentales tal que la suma de arcilla + 10% de relave minero alcanza un promedio de 21.87 kg/cm<sup>2</sup>, Arcilla + 20% de relave minero alcanza un promedio de 24.61 kg/cm<sup>2</sup> y Arcilla + 30% de relave minero alcanza un promedio de 29.33 kg/cm<sup>2</sup>, finalmente muestra un resultado favorable.



**Grafico 10:** Resultados obtenidos del ensayo a compresión de las probetas patrón y experimentales.

**Fuente:** Elaboración Propia

Por otro lado, los resultados del adobe patrón y los adobes experimentales muestran a los 28 días una dispersión entre testigos EXCELENTE, según el Ing. Julio Vargas Newman y su tema titulado “**VIVIENDA RURAL EN ADOBE**” (Santiago de Chile-1978); presento los siguientes resultados con adobes patrón a los 28 días obteniendo una Resistencia a la compresión promedio de 14.60 kg/cm<sup>2</sup> y compresión diagonal promedio en muretes del orden de 27 kg/cm<sup>2</sup>.

Finalmente, los resultados obtenidos del ensayo a la compresión de los adobes estabilizados experimentales a los 28 días muestran una variación del 29.04% con respecto a la sustitución de un 10% por relave minero, a los 28 días muestran una variación del 36.94% con respecto a la sustitución de un 20% por relave minero y por último a los 28 días muestran una variación del 47.08% con respecto a la sustitución de un 30% por relave minero, superando la resistencia a la compresión promedio al adobe patrón.

Todas estas observaciones realizadas hacen que los adobes estabilizados experimentales superen la resistencia a la compresión a los adobes patrón, y a la vez se ha comprobado durante la fabricación de las mismas.

## CONCLUSIONES

- ✓ Las propiedades físicas del relave minero son: El color del relave minero es de color blanco, El brillo que presenta el relave minero es de color plata, El relave minero tiene la textura suelta, no es blando a la hora de la trabajabilidad, El relave minero se presenta en forma de bloques de tierra procesada.
- ✓ Las propiedades químicas del relave minero son: Según la determinación de PH del relave minero es considerado como extremadamente ácido, la determinación mineralógica del relave minero indica un 87.08% de óxido de silicio, La determinación de las sustancias químicas del relave minero según el Espectro de los rayos X se encuentran metales pesados como: Aluminio (Al), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Plomo (Pb), Arsénico (As) y muchos más.
- ✓ Se realizó el ensayo de la fluorescencia de rayos X del relave minero determinó que el relave minero contiene óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), en un 87.08% de masa por la UNMSM.
- ✓ Las propiedades físicas de la arcilla son: la coloración de la arcilla caolinita es de color plomo oscuro, El brillo que presenta la arcilla es un plomo rojizo cuando este es cristalino, La arcilla caolinita es muy blanda de tacto untuoso, ósea tiene una textura grasosa y pegajosa.
- ✓ Las propiedades químicas de la arcilla están determinadas de acuerdo al análisis del PH de la arcilla contiene acidez, Además como la arcilla caolinita se concentra en masas terrosas o sueltas, contienen el  $\text{H}_2\text{O}$ .
- ✓ Se analizó la muestra el pH de la arcilla y es calificado como ligeramente ácido igual a 6.03, también se analizó el pH del relave minero y es calificado como extremadamente ácido igual a 2.82.
- ✓ Se analizó el pH de la arcilla + 10% de relave minero igual a 5.47 y calificado como ácido; arcilla + 20% de relave minero igual a 4.65 y es calificado fuertemente ácido; arcilla + 30% de relave minero igual a 4.19 y es calificado fuertemente ácido.

- ✓ La resistencia a la compresión del adobe patrón a los 28 días es igual 15.52 kg/cm<sup>2</sup>; al sustituir un 10% de relave minero a los 28 días aumenta la resistencia a la compresión a 21.87 kg/cm<sup>2</sup>; al sustituir un 20% de relave minero a los 28 días aumenta la resistencia a la compresión a 24.61 kg/cm<sup>2</sup>; al sustituir un 30% de relave minero a los 28 días aumenta la resistencia a la compresión a 29.33 kg/cm<sup>2</sup>.
- ✓ La incorporación del relave minero mejora la resistencia a la compresión de una unidad de adobe estabilizado.

## RECOMENDACIONES

En conformidad a lo concluido por el presente estudio se plantean las siguientes recomendaciones para los profesionales que trabajan con este tipo de materiales.

- ✓ Se propone como línea de aplicación futura estudiar el uso de los relaves mineros sustituyéndolos a cualquier otro tipo de material incorporados en morteros para asentado de muros de albañilería con relave minero, muros para represas añadiendo concreto y cimientos en general, con esto se tendría un estudio más amplio de aplicaciones prácticas para ser usadas en nuestro medio de construcción, trabajando con porcentajes de remplazos de arcilla por relave minero mayores al 30% para obtener resistencias a compresión altas.
- ✓ Los diseños preparados han sido efectuados en una zona de clima fría con temperatura promedio de 14° a 16°, para trabajos en zonas temperaturas medias y cálidas se deberían realizar la aplicación de aditivos para climas que tengan mucho calor, además es necesario tener consideraciones para ciclos de helada incorporando aire adicional si fuese necesario.
- ✓ Los adobes estabilizados con la sustitución de relave minero efectuaran un trabajo más rápido debido a las dimensiones que cuentan ya que los adobes tradicionales con paja toman un tiempo muy largo de construcción.
- ✓ Seguir trabajando con estos tipos de albañilería, debido a que se muestra que los relaves mineros pueden ser usados de manera segura, sin afectar las principales propiedades de la arcilla, de la misma forma a la escuela de Ingeniería Civil, como institución de formación profesional propiciar la investigación del uso de materiales como los desechos de relaves mineras, para poder contribuir al ciudadano del medio ambiente.
- ✓ Los componentes químicos que se encuentran en el relave minero son sustancias químicas que perjudican la salud, por tal motivo se recomienda propiciar a los investigadores y tesisistas el uso de aditivos o cualquier otra sustancia en la que no contamine la salud y el medio ambiente.



## **AGRADECIMIENTOS**

Expreso mis más sinceros agradecimientos al Ing. Miguel Ángel Solar Jara, por su asesoramiento y aportes en el desarrollo de la presente Tesis y a la Universidad San Pedro por darme las facilidades para realizar este trabajo.

## **DEDICATORIA**

A mi venerable y adorada madre Julia Lázaro Maguiña y a mi padre Pedro Milla Solís, a ellos como agradecimiento a su amor y apoyo incondicional, durante mi formación tanto personal como profesional. A mi Enamorada, que siempre llenan de felicidad mi entorno y me inspiran valor para seguir adelante en la carrera de la vida sin temor a nuevos retos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bartolomé, A. (2007). Construcciones de Albañilería. Perú: Pontificia de La Universidad Católica del Perú.
- Cárdenas, E y Deza, M. (2006). “Influencia de la dosificación de tierra de diatomea y de la temperatura de cocción sobre el módulo de rotura, resistencia a la compresión, densidad, absorción de agua, en ladrillos ecológicos de construcción”.
- Cid Falceto, J. (2012), Durabilidad de los bloques de tierra comprimidas. Evaluación y recomendaciones para la normalización de los ensayos de erosión y absorción, p.84- p.92.
- FLIN/TROJAN (1991). “Materiales para Ingeniería y sus Aplicaciones”. Tercera Edición. Editorial Mac Graw-Hill Latinoamericana, S.A.
- Gallegos Casabonne. H .C. (2005). “Unidad de la albañilería y Propiedades de albañilería simple”. En P. U. Católica (Ed), “Albañilería estructural”. Tercera edición, (pp. 75 - 165, 199 – 259.) Perú.
- ININVI. (1982). Norma Técnica de Edificación E-070: Albañilería. Perú: Departamento de Estructuras de la Universidad Nacional de Ingeniería.
- Juárez Badillo, E. & Rico Rodríguez, A. (2012). Fundamentos de la Mecánica de Suelos. México: Limusa.
- Joseph E. Bowles. “Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil” 3° Edición.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, y SENCICO, 2006. Reglamento Nacional de Construcciones. Norma E.070 “Albañilería”.
- Normas Técnicas Peruanas (331.201). (2012). ELEMENTOS DE SUELO SIN COCER. ADOBE ESTABILIZADO CON ASFALTO PARA MUROS. REQUISITOS, p.1- p.12. Normas Técnicas Peruanas (331.201). (2012). Elementos de Suelo sin Cocer. Adobe Estabilizado con Asfalto Para Muros. Requisitos. Perú.

Normas Técnicas Peruanas (331.202). (2012). ELEMENTOS DE SUELO SIN COCER. ADOBE ESTABILIZADO CON ASFALTO PARA MUROS. MÈTODOS DE ENSAYO, p.1-p.12.

Normas Técnicas Peruanas (331.203). (2012). ELEMENTOS DE SUELO SIN COCER. ADOBE ESTABILIZADO CON ASFALTO PARA MUROS. MUESTREO Y RECEPCION, p.1-p.12.

Normas Técnicas Peruanas (331.201). (2012). Elementos de Suelo sin Cocer.

Salazar, F. (2012). Estudio de bloques de tierra comprimida, BTC. Colombia: Universidad de la Frontera.

Segura Terrones, L., & Ibáñez Zavaleta, A. (2013). Patente n° 1. Perú.

Smith, W. (1998). “Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales”. Tercera Edición. Editorial Mac Graw-Hill España.

Tomasinas, G. y Olivero, F. Diseño racional de Ladrillos de Suelo-Cemento y Análisis para su utilización en viviendas económicas de interés social”.

Zelaya Jara, V. (2007). Adobe, características y sus principales usos en la construcción, Perú: Departamento de Ingeniería U.F.V.

## APENDICES Y ANEXOS

### ANEXO 1

PROBLEMA	HIPOTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES
<p>¿CUAL ES EL EFECTO DE LA SUSTITUCION DE 10%, 20% Y 30% DE RELAVE MINERO; EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE UN ADOBE COMPACTADO EN LA CIUDAD DE HUARAZ - 2017?</p>	<p>La adición de 10%, 20% y 30 % de relave minero incrementaría la resistencia a la compresión de un adobe estabilizado, llegando incluso a igualar o superar al de un adobe artesanal de la ciudad de Huaraz.</p>	<p><b>Obj. General</b>                      Determinar la resistencia a la compresión de un adobe estabilizado sustituyendo el 10%, 20% y 30 % por relave minero en la ciudad de Huaraz.</p> <p><b>Obj. Específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Analizar las propiedades físicas y químicos del relave minero.</li> <li>✓ Determinar la fluorescencia de los rayos X del relave minero.</li> <li>✓ Determinar las propiedades físicas y químicas de la materia prima de un adobe artesanal.</li> <li>✓ Determinar el PH de la materia prima y el relave minero.</li> <li>✓ Determinar el PH del adobe estabilizado sustituyendo el 10%, 20% y 30% por relave minero.</li> <li>✓ Determinar la resistencia a la compresión de las unidades de adobe estabilizado.</li> <li>✓ Comparar resultados obtenidos.</li> </ul>	<p>La resistencia a la compresión es una <b>Variable DEPENDIENTE</b></p> <p>El porcentaje sustitución de 10, 20 y 30 % de Relave Minero es una <b>Variable INDEPENDIENTE</b></p>

## ANEXO 2

### FOTOGRAFIAS DEL PLAN DE INVESTIGACION

Imagen N° 01: área donde se extrajo la materia prima – arcilla.



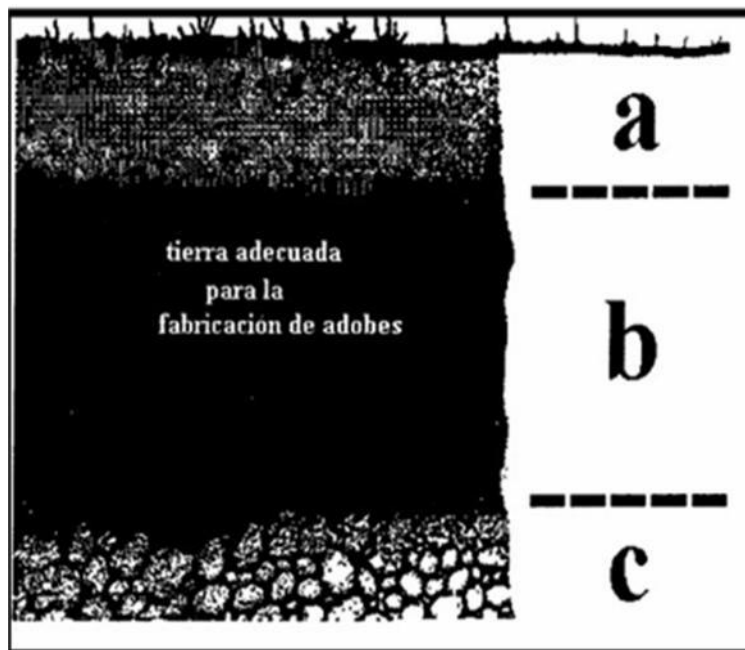
Fuente: Google Earth

Imagen N° 02: área donde se extrajo la materia de relave minero



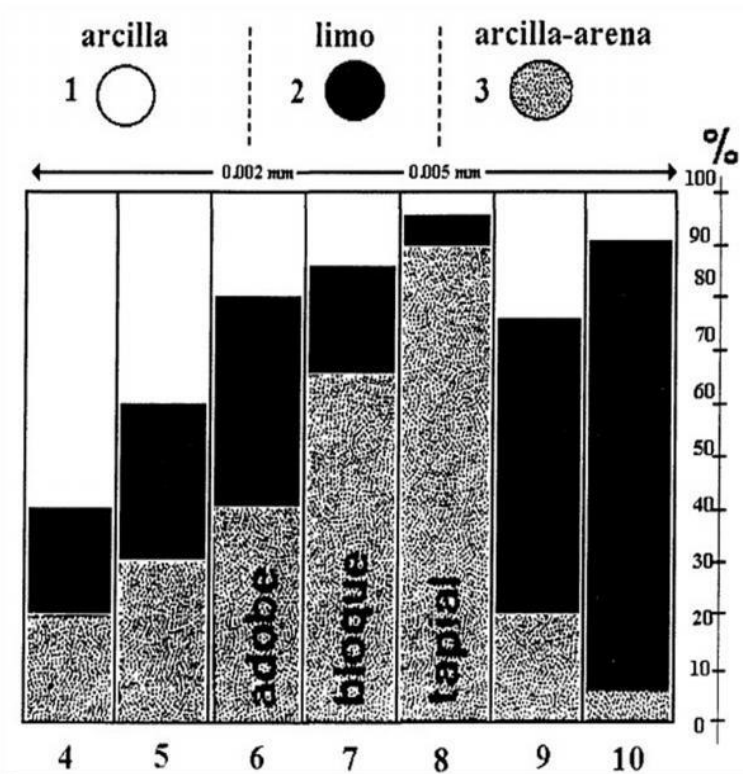
Fuente: Google Earth

Imagen N° 03: estratificación de la corteza terrestre



Fuente: Elaboración Propia

Imagen N°04: porcentaje de material requerido.



Fuente: Elaboración Propia

Imagen N° 05: Relave minero de la localidad de Ticapampa



Fuente: Elaboración Propia

Imagen N° 06: Espectro de los Minerales

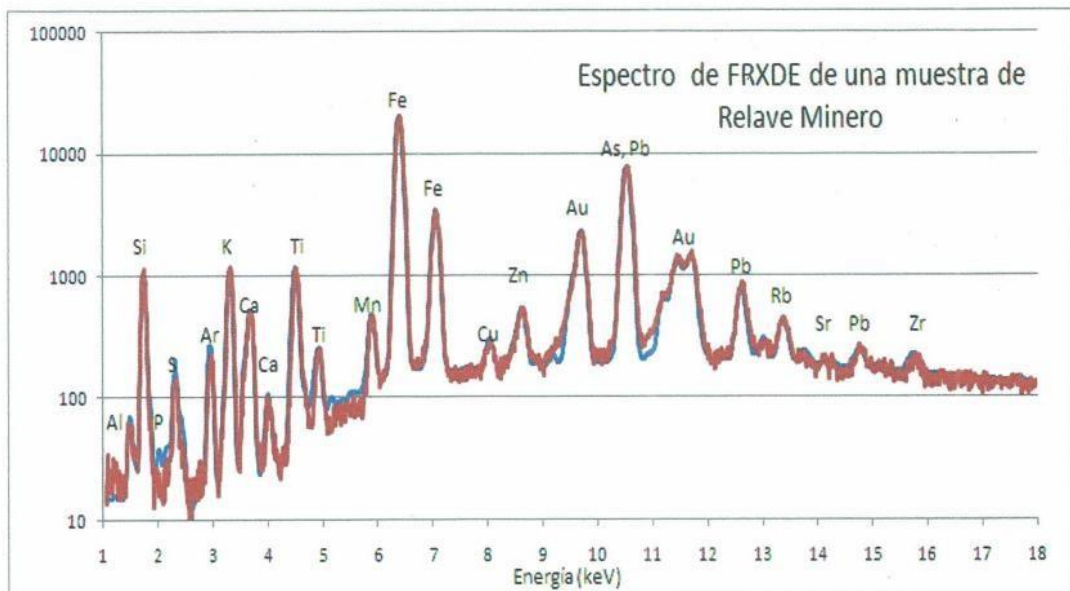
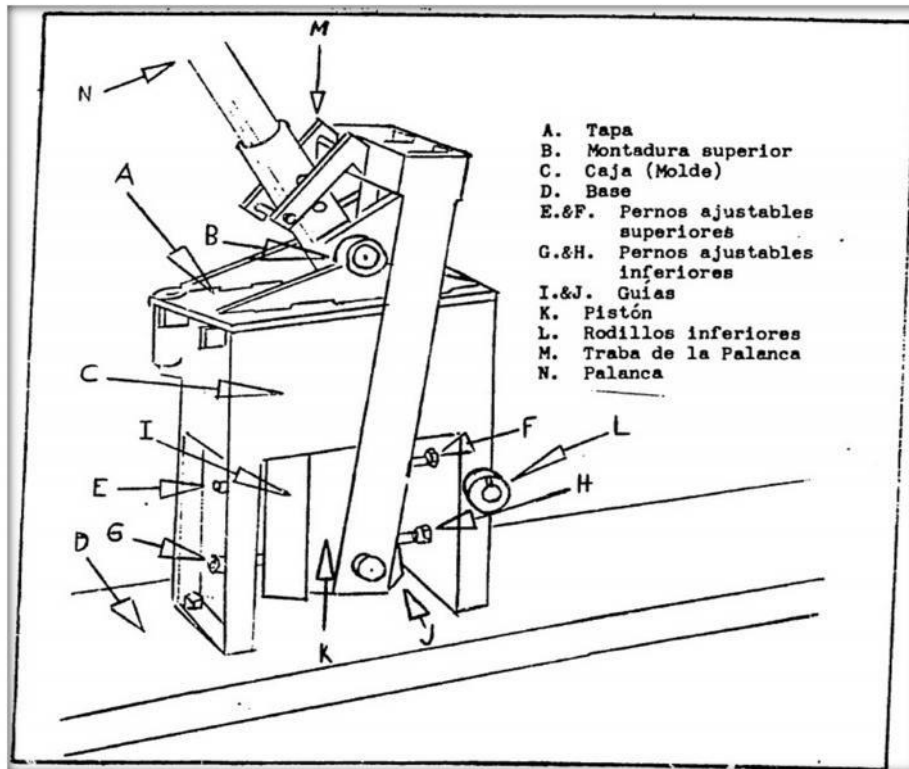


Figura 1. Espectro de FRXDE de una muestra de relave minero. Incluye el pico de Ar del aire y los picos de rayos-X de Au dispersados por la muestra. La curva en azul muestra el espectro simulado

Fuente: Proporcionado por la Universidad Nacional San Marcos

Imagen N° 07: Prensa Cinva Ram y sus Partes



Fuente: <https://www.sencico.gob.pe/publicaciones.php?id=309&dPrint=1>

Imagen N° 08: Se observa la cantera de la materia prima en la Localidad Chequio.



Fuente: Elaboración Propia.



Imagen N°09: se observa el límite líquido a los 35 golpes



Fuente: Elaboración Propia

Imagen N° 10: se observa el índice de plasticidad con la materia prima.



Fuente: Elaboración Propia

Imagen N° 11: se observa el tamizado para por la malla N° 200 para determinar el contenido de humedad.



Fuente: Elaboración Propia

Imagen N° 12: Se observa la medición del contenido de materiales en la materia prima.



Fuente: Elaboración Propia

Imagen N° 13: En esta imagen se observa el peso de la materia prima.



Fuente: Elaboración Propia

Imagen N° 14: En esta imagen se observa las mezclas divididas en porcentajes para su posterior mezcla.



Fuente: Elaboración Propia

Imagen N° 15: Se observa la mezcla de la tierra más el relave para dejar que madure la mezcla que se ha compactado.



Fuente: Elaboración Propia

Imagen N° 16: Se observa que se está retirando la tapa luego de presionarlo con la prensa manual.



Fuente: Elaboración Propia

Imagen N° 17: Se observa que la prensa manual genera esfuerzo a la mezcla.



Fuente: Elaboración Propia.

Imagen N° 18: Se observa que se empieza a retirar la el molde de la mezcla.



Fuente: Elaboración Propia

Imagen N° 19: Se observa que el adobe que se ha estabilizado.



Fuente: Elaboración Propia

Imagen N° 20: En esta imagen se observa la calidad de adobe estabilizado.



Fuente: Elaboración Propia

Imagen N° 21: maquina compresora que rompe los adobes estabilizados.



Fuente: Elaboración Propia

Imagen N° 22: Se observa la maquina compresora que mide la resistencia a la compresión.



Fuente: Elaboración Propia

Imagen N° 23: Se observa la rotura del adobe estabilizado.



Fuente: Elaboración Propia

Imagen N° 24: Se observa la rotura del adobe estabilizado



Fuente: Elaboración Propia



Imagen N° 25: Se observa compresión del adobe estabilizado



Fuente: Elaboración Propia

Imagen N° 26: Se observa que el adobe estabilizado se desmorona cuando existe mayor compresión.



Fuente: Elaboración Propia

### ANEXO 3

Tabla de resultados de composición en oxido de la muestra.

Formula	Definición	Masa (%)	Normalizado
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	Trióxido de Aluminio	12.928	11.799
<b>SiO<sub>2</sub></b>	Oxido de Silicio	87.083	79.479
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	Pentaóxido de Difósforo	1.349	1.284
<b>SO<sub>2</sub></b>	Dióxido de Azufre	2.565	2.341
<b>K<sub>2</sub>O</b>	Oxido de Potasio	1.004	0.916
<b>CaO</b>	Oxido de Calcio	0.302	0.276
<b>TiO<sub>2</sub></b>	Oxido de Titanio	0.370	0.338
<b>MnO</b>	Oxido de Manganeso	0.043	0.039
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	Trióxido de Hierro	2.187	1.996
<b>CuO</b>	Oxido de Cobre	0.005	0.004
<b>ZnO</b>	Óxido de Zinc	0.010	0.009
<b>Rb<sub>2</sub>O</b>	Oxido de Rubinio	0.003	0.003
<b>SrO</b>	Oxido de Estroncio	0.002	0.021
<b>PbO</b>	Oxido de Plomo	0.138	0.126
<b>TOTALES</b>		<b>108.567</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Proporcionado por la Universidad Nacional San Marcos

**ANEXO 4**  
**RESULTADO DE LOS ENSAYOS ELABORADOS**