

**UNIVERSIDAD SAN PEDRO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**Resistencia de la sustitución del 5%, 10% y 15% de  
cemento, por la combinación de relave minero en la  
elaboración de morteros de edificaciones de albañilería  
en Huaraz, 2017**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

**Autor**

Namuche Colonia, Franklin Giovanni

**Asesor**

Solar Jara, Miguel

Chimbote – Perú

2018

## **INDICE**

Tema	Pag.
Palabras clave – Línea de investigación	i
Título del trabajo	ii
Resumen	iii
Abstract	iv
Introducción	1
Material y métodos	40
Resultados	42
Análisis y discusión	52
Conclusiones	62
Recomendaciones	63
Agradecimientos	65
Referencias bibliográficas	66
Anexos y apéndices	68

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tolerancia para el ensayo a compresión.....	15
Tabla 2: Composición química del cemento.....	22
Tabla 3: Requisitos para usar el agua en la mezcla según la NTP 339.088.....	26
Tabla 4: Proporción de materiales según CAPECO .....	27
Tabla 5: Resistencia de morteros según su dosificación.....	27
Tabla 6: Límites o niveles máximos permisibles de emisión para las unidades minero - metalúrgicas en el Perú .....	35
Tabla 7: Resistencia a la compresión según días de curado. ....	46
Tabla 8: Resistencia a la compresión para siete días de curado .....	47
Tabla 9: Resistencia a la compresión para 14 días de curado.....	47
Tabla 10: Resistencia a la compresión para 28 días de curado.....	48
Tabla 11: Resistencia Promedio por tipo de ensayo y por edad. ....	48
Tabla 12: Resistencias a la compresión de probetas de concreto con un porcentaje de cemento sustituido por relave minero, según días de curado .....	49
Tabla 13: Cálculo de la prueba ANOVA para verificar las diferencias entre las medias de las resistencias a la compresión de los cubos de concreto. ....	50
Tabla 14: Calculo de la prueba de Duncan para verificar cuál de las resistencia a la compresión de las probetas de concreto es diferente.....	50
Tabla 15: Ensayo de rotura a los 7 días de curado.....	52
Tabla 16: Resumen del promedio a los 7 días curado. ....	53
Tabla 17: Ensayo de rotura a los 14 días de curado.....	54
Tabla 18: Promedio de resistencias a los 14 días de curado. ....	54
Tabla 19: Ensayo de rotura a los 28 días de curado.....	56
Tabla 20: Resistencia promedio a los 28 días de curado. ....	56

## **INDICE DE FIGURAS**

Figura 1: Molde cúbico para el ensayo .....	11
Figura 2: Espécimen cúbico.....	12
Figura 3: Proceso General de Producción del cemento. ....	19
Figura 4: Relave minero Ticapampa (2017). ....	29
Figura 5: Método aguas arriba .....	33
Figura 6: Método de aguas abajo .....	33
Figura 7: Mapa de Perú con departamento, provincia y distrito.....	37
Figura 8: Porcentaje de materiales para el patrón. ....	42
Figura 9: Porcentaje de sustitución de 5% de relave minero .....	43
Figura 10: Porcentaje de sustitución de 10% de relave minero. ....	44
Figura 11: Porcentaje de sustitución de 15% de relave minero. ....	45
Figura 12: Curva de Resistencia de espécimen.....	49
Figura 13: Ensayo de rotura a los siete días de curado .....	52
Figura 14: Resistencia promedio a los siete días de curado.....	53
Figura 15: Ensayo de rotura a los 14 días. ....	54
Figura 16: Resistencia a los 14 días de curado. ....	55
Figura 17: Ensayo de rotura a los 28 días. ....	56
Figura 18: Resistencia promedio a los 28 días de curado.....	57

Palabras clave:

TEMA	Resistencia mortero
ESPECIALIDAD	Tecnología del concreto

Key Words

Theme	Mortar resistance,
Specialty	Concrete technology

#### LINEA DE INVESTIGACION

- 1 Ingeniería y tecnología
- 1.2. Ingeniería Civil
- 1.2.1 Ingeniería Civil

**Resistencia de la sustitución del 5%, 10% y 15% de cemento, por la combinación de relave minero en la elaboración de morteros de edificaciones de albañilería en Huaraz, 2017**

## **RESUMEN**

Con la finalidad de mitigar el impacto ambiental, el presente trabajo de investigación fue de tipo experimental, con un objetivo general de determinar la resistencia a compresión del mortero a  $F'c = 100 \text{ kg/cm}^2$  a una sustitución de 5% ,10% y 15% del cemento por el relave minero.

Para esta investigación se elaboró 48 especímenes de mortero en forma de un cubo de lados iguales (5cm x 5cm x 5cm) a una resistencia  $F'c = 100 \text{ kg/cm}^2$ , 12 especímenes de control o patrón, 12 especímenes con una sustitución de 5%, 12 especímenes con una sustitución de 10% y finalmente 12 especímenes con una sustitución de 15%.

Durante el periodo del ensayo se usó la técnica de observación y para complementar también se usó como instrumento fichas técnicas de laboratorio de mecánica de suelos y ensayos de materiales de la Universidad San Pedro. Como instrumento de proceso de datos se utilizó el programa Excel, para analizar los datos y elaborar tablas, gráficos, porcentajes.

Los resultados obtenidos son favorables con las sustituciones en fracción de 5%, 10% y 15% de relave minero en remplazo del cemento, al obtener valores mayores que el diseño  $F'c = 100 \text{ kg/cm}^2$ , siendo el caso más favorable la sustitución de relave minero en fracción de 10% y 15% en se observa mayor semejanza de resistencia al del patrón durante el ensayo experimental. En cuanto a la sustitución de relave minero en fracción de 15% del cemento en donde alcanza mayor resistencia cercano al patrón.

Por tanto el empleo de la sustitución del 15% del cemento por relave con el cual se obtiene una resistencia similar a la prueba del patrón en caso del mortero.

## **ABSTRACT**

In order to mitigate the environmental impact, the present research work was of experimental type, with a general objective of determining the compressive strength of the mortar at  $F'c = 100 \text{ kg / cm}^2$  at a substitution of 5%, 10% and 15% of the cement by the mining tailings.

For this investigation 48 specimens of mortar in the form of a cube of equal sides (5cm x 5cm x 5cm) were made at a strength  $F'c = 100 \text{ kg / cm}^2$ , 12 control specimens or pattern, 12 specimens with a substitution of 5 %, 12 specimens with a 10% substitution and finally 12 specimens with a 15% substitution.

During the period of the test, the observation technique was used and, to complement it, laboratory data sheets of soil mechanics and materials tests of San Pedro University were also used as an instrument. As an instrument of data processing, the Excel program was used to analyze the data and prepare tables, graphs, percentages.

The obtained results are favorable with the substitutions in fraction of 5%, 10% and 15% of mine tailings in replacement of the cement, when obtaining higher values than the design  $F'c = 100 \text{ kg / cm}^2$ , the most favorable case being the substitution of mining tailings in a fraction of 10% and 15% in the greater resemblance of resistance to that of the standard during the experimental test. As for the substitution of mining tailings in a fraction of 15% of the cement where it reaches greater resistance close to the standard.

Therefore the use of the 15% substitution of the cement per tail with which a resistance similar to the test of the pattern in the case of mortar is obtained.



## **I. Introducción**

La actividad minera por sí misma afecta áreas relativamente pequeñas, pero pueden tener gran impacto sobre el ambiente, puesto que la liberación de metales de los lugares mineros ocurre, principalmente, a través de drenaje ácido de mina y erosión de desechos en pilas y depósitos de relaves. Cuando estos depósitos contienen sulfuros (pirita) y hay acceso de oxígeno, se obtienen resultados de drenaje ácido de mina (DAM). Dependiendo de la naturaleza de los desechos de rocas y depósitos de relaves, este DAM contendrá elevados niveles de metales pesados.

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. Como se sabe, estas concentraciones son nocivas para la actividad biológica puesto que contaminan los cauces de los ríos, además su control y tratamiento constituye un costo adicional a la operación minera. Asimismo, esta problemática puede persistir durante décadas e incluso cientos de años, porque una vez finalizado el ciclo productivo de la mina, constituye una de las principales fuentes de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas en el mundo (Aduvire, 2006).

Sin embargo, a pesar de ello, en la actualidad, estos pasivos ambientales no son controlados de manera adecuada debido al propio desinterés por parte de organismos reguladores y debido a la falta de conocimiento, experiencia y manejo de tecnologías que hagan reaprovecharles dichos pasivos. Es en ese sentido, que se produce la contaminación del medio físico, tal como: la contaminación del agua y del suelo.

La contaminación del agua por parte de los efluentes de drenaje ácido de mina se da cuando estos drenajes alcanzan ríos, dando lugar a una amplia dispersión de los metales (Calzado, 1997).

Por lo afirmado anteriormente, es que se realiza el estudio de metales pesados en el relave abandonado de Ticapampa, con la participación de docentes y estudiantes de postgrado, de la Escuela de Ingeniería de Minas y Metalúrgica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, el cual se llevó a cabo durante los años 2006, 2007 y 2008, con la finalidad de determinar un estudio del comportamiento de los metales pesados presentes en el relave abandonado de Ticapampa, de carácter geoquímico.

Los depósitos de relaves ubicados entre Cátac y Ticapampa, debido a su ubicación geográfica a orillas del Río Santa, la contaminación del cuerpo de agua ocurre por el lavado de estos relaves o de los suelos contaminados cercanos. Como consecuencia, esta zona minera se considera un lugar de alta peligrosidad potencial para la salud y el medio ambiente.

En mérito a esta problemática es que se revisaron estudios anteriores como el de Romero (2006), que desarrolló el Proyecto De Tesis en la Universidad Católica de Colombia: “UTILIZACION DE RELAVES MINEROS COMO INSUMO PARA LA ELABORACIÓN DE AGREGADOS DE CONSTRUCCIÓN PARA FABRICAR LADRILLOS Y BALDOSAS”; el objetivo de este Proyecto De Tesis es formular y proponer una alternativa de solución a la problemática ambiental nacional e crítica, mediante la aplicación de un valor agregado de manera directa al relave minero, que permita la utilización de este bajo la forma de agregado de construcción para la fabricación de ladrillos y baldosas.

Conclusión: Respecto de la calidad del agregado de construcción, mediante diversas pruebas se estableció que el producto final, que es el agregado de construcción obtenido a partir de los relaves mineros polimetálicos, no es contaminante. Como se sabe, esta característica se ha comprobado debido a la estabilidad fisicoquímica que se ha logrado mediante la técnica de la micro encapsulación de los metales pesados en la matriz del agregado obtenido, luego del proceso del tratamiento del relave polimetálico con silicato di y tricíclico de los cementos portland tipo I, tipo II, tipo V.

Palomino (2012), desarrolló el Proyecto De Tesis en la Universidad San Martin de Porres - Lima: CONSTRUCCION DE DIQUE CON TRATAMIENTO DEL RELAVE MINERO, EN LA MINA CATALINA HUANCA – REGION AYACUCHO. El objetivo de este Proyecto De Tesis es Establecer procesos constructivos para la ejecución de un dique empleando el relave minero de la Mina Catalina – Huanca.

Conclusión: Durante todo el proceso de operación del depósito de relaves para la construcción se deberá monitorear la densidad y humedad de compactación, espesor de capa compactada y granulometría de los relaves depositados. Este control será como mínimo de cuatro controles semanales. Las capas luego de compactadas deberán tener una

pendiente uniforme de 2%, en dirección hacia aguas abajo a fin de que se pueda utilizar el relave minero en el proceso constructivo.

Anicama (2010), desarrolló el trabajo de tesis en la Universidad Católica del Perú, titulado: “ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL EMPLEO DE MATERIALES DE DESECHO DE PROCESOS MINEROS EN APLICACIONES PRÁCTICAS CON PRODUCTOS CEMENTICIOS”. El objetivo de este Proyecto de Tesis es determinar a través de un grupo de 3 muestras de relave minero, verificar a través de ensayos experimentales la factibilidad del uso de los mismos en concreto. Proponer aplicaciones prácticas para el concreto encontrado; que puedan usarse en poblaciones cercanas a las operaciones mineras.

Conclusiones: Una de las principales características de los diseños obtenidos fue su simplicidad. Al plantear diseños que no usaron tantos aditivos, ni combinaciones de agregados difíciles de obtener, aseguramos que puedan realizarse y adaptarse en cualquier parte de nuestro país.

Los relaves en las proporciones trabajadas no incorporan contenido de aire significativo a las mezclas de concreto.

Los relaves en las proporciones trabajadas no hacen variar significativamente el SLUMP del concreto.

Con respecto al relave escogido Andaychagua, éste presentó características químicas en el límite por lo especificado en la norma NTP 400.037 para sales solubles totales y sulfatos solubles, luego para obtener resistencias altas los relaves no deben usarse como relleno volumétrico en grandes cantidades ya que podrían atacar la estructura interna del concreto haciendo que el concreto se fisure y exponga al acero de refuerzo.

Se concluye que las adiciones de relave en proporciones menores a 5% no afectarán las características físicas principales de los concretos convencionales.

En función a los resultados corroboraron que el relave minero, podrá usarse en la construcción de pavimentos con tránsito liviano o veredas. Se contará con un concreto convencional de 210Kg/cm<sup>2</sup> con slump de aproximadamente 5” que puede bombearse por tuberías.

Las adiciones de relave en proporciones menores a 5% no afectarán las características físicas principales de los concretos convencionales, pero adiciones mayores al 15% influyen negativamente y reducen las características resistentes de los concretos convencionales.

En Arequipa, Barreda, Aguilar & Cueva (2012), realizaron el Proyecto denominado “Desarrollo de un prototipo para la fabricación de ladrillos de construcción a partir de la utilización de relaves mineros del proceso de cianuración en plantas minero-artesanales”; cuyo objetivo general es desarrollar un prototipo para fabricar ladrillos de construcción utilizando relaves mineros, teniendo la siguiente conclusión, el desarrollo del proyecto permite la aplicación y difusión de conocimientos y técnicas que actualmente se utilizan en otros países, permitiendo así la disminución de relaves (desechos) mediante la fabricación de un producto.

En Lima, Romero & Flores (2011), escribieron el artículo publicado en la revista de la Facultad de Ingeniería Industrial de la UNMSM, titulado “Re-uso de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas” cuyo objetivo es establecer una metodología del procedimiento experimental para la elaboración de los agregados de construcción, el cual constituirá la materia prima para la fabricación de ladrillos y baldosas, teniendo como materia prima al relave, concluyendo: Respecto de la calidad del agregado de construcción, mediante diversas 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.

En Huaraz, Pedrozo & Tuya (2016), realizaron el trabajo de tesis para optar el título profesional en ingeniero civil en la Universidad San Pedro, titulado: “RESISTENCIA DEL CONCRETO  $F'C=210$  KG/CM<sup>2</sup> CON RELAVE DE LA MINERA HUINAC DISTRITO DE TICAPAMPA, RECUAY – ANCASH”. El objetivo de esta tesis es determinar la resistencia a compresión del concreto usando el relave minero Huinac en porcentajes de 0 %, 5%, 10% y 15 % al sustituir el cemento, a través de ensayos experimentales para verificar su factibilidad de uso en la elaboración del concreto.

Conclusiones: Las composiciones químicas del relave minero de la Mina Huinac, contienen alto porcentaje de silicio en un 43.00% y Hierro en un 36.12 %, lo que permitirá que el concreto pueda deteriorarse prematuramente.

La resistencia obtenida a compresión en los testigos cilíndricos del patrón se visualizó que superó la resistencia de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , de la misma forma se visualizó la disminución de la resistencia conforme se sustituía mayor porcentaje de relave minero al cemento.

El concreto sustituido 5% de relave minero, presenta características con mejor resultados de las 2 sustituciones de relave minero, para lo cual podrían ser aprovechadas para concreto estructural, no obstante, se debe estudiar efectos a largo plazo que tienen los relaves dentro del concreto.

El relave minero de la Mina Huinac, en las proporciones trabajadas de (3" – 4") según diseño, no tiene efectos de cambio en la trabajabilidad en la elaboración del concreto.

La investigación realizada se justifica de diversas maneras, tiene una justificación teórica porque mediante esta investigación se pretendió proporcionar una bibliografía que permita reducir el costo del mortero y a la vez disminuir la contaminación. Reaprovechando los recursos inorgánicos que no están siendo aprovechados y que se encuentran como materia prima.

Por lo cual la razón principal del enfoque de esta investigación, es la implementación del relave minero como sustituto porcentual del cemento en la elaboración de mortero.

Se busca lograr mejorar las características de dicho mortero, a base de utilizar el relave minero como material aditivo, en remplazo de una fracción del cemento.

Además, esta investigación tuvo una justificación social porque va a promover la reutilización del componente de un depósito de relave minero abandonado y de volumen significativo, que impacta ambientalmente a su entorno circundante.

Contribuyendo de este modo con la minimización del problema de contaminación ambiental que puede alterar el medio físico que puede generar impactos negativos en nuestra región Áncash.

Será de gran utilidad establecer una metodología del procedimiento experimental para la elaboración de mortero de albañilería con relave minero; el cual podría ser utilizado en las futuras construcciones de nuevas viviendas.

Finalmente, su utilidad y relevancia social, estriba en promocionar el uso y masificación de este insumo (relave minero) en la elaboración de morteros en la ciudad de Huaraz – Ancash, que luego se podría replicar a otras zonas similares del país.

Para usar el relave minero como material de sustitución del cemento, se deben de estudiar de manera cautelosa para determinar si es apto para ser utilizado y ser procesado para la elaboración de morteros para la construcción, el cual deberá estar dentro de los parámetros establecidos para el uso del mortero.

Esta investigación es factible de ser realizado, porque permitiría optimizar el valor económico del relave minero analizado. Al utilizar el relave minero como aditivo de sustitución en porcentaje del cemento, nos ayudaría a economizar el costo del mortero al usar menos cemento.

El uso de relave minero como sustitución en porcentaje del cemento, en nuestro país no es tan común la aplicación de esta tecnología que es tan novedoso hasta la actualidad, una de las dificultades es que no hay material bibliográfico sobre este tema que nos brinde información teórica completa y detallado sobre cómo usarlo e ser aplicado a estudios previos para ser reaprovechado en los diseños y ejecuciones de proyectos. Para realizar este tipo de estudio es necesario tener un manual que tenga la información necesaria sobre cómo utilizar el relave minero.

Mediante esta información recopilada en esta investigación, ofrecemos información más a detalle para futuros estudiantes para que tengan donde consultar sobre el tema, que permita conocer los procedimientos y criterios que se deben considerar al realizar estudios sobre relaves que tenga relación con el mortero.

En nuestra ciudad la actividad de la construcción se desarrolló de una manera incontrolada por el crecimiento de la población por la misma necesidad de tener un espacio donde vivir lo cual provoco el uso inadecuado de los recursos naturales, como consecuencia tenemos la necesidad de preservar el medio ambiente de la contaminación teniendo en cuenta la legislación vigente del cuidado del medio ambiente.

Lo cual nos restringe la obtención de un buen material, lo que genera un aumento de costo para diferentes actividades de construcción de obras, por el hecho de que casi nunca se consigue el material cercano a la obra. Ante esta situación surge una necesidad de buscar nuevas técnicas que permita mitigar el impacto ambiental, y la sostenibilidad en la

construcción, tal como el uso del relave minero como un aditivo de sustitución en porcentajes de fracción del cemento en la elaboración del mortero.

Por todo lo mencionado anteriormente podemos describir la problemática encontrada: En los últimos años la actividad minera se estuvo desarrollando de una manera incontrolada y a la vez uno de los principales sectores de la economía nacional en nuestro país, por su contribución a la riqueza generando muchos puestos de trabajo, a su vez es uno de los sectores que en la actualidad genera grandes volúmenes de desechos que no se puede reaprovechar. En todos los países cercanos a nuestro país 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.

En la provincia de Recuay podemos hablar del distrito de Ticapampa, donde el relave minero de esa zona, en la actualidad es una de las fuentes que contamina la cuenca de Río Santa, y este relave podría tener múltiples usos de reaprovechamiento en su volumen total, como principal causa encontramos el relave minero activo y abandonado de la compañía minera alianza, para lo cual se tendrá que realizar estudios con detalles para garantizar si es probable reaprovechar para la elaboración del mortero de albañería y también disminuir el impacto negativo que causa daño a la ciudad de Huaraz y a los demás anexos cercanos.

La existencia de pasivos ambientales en nuestro país genera un gran impacto negativo que es dañino para la salud y medio ambiente; dándose la particularidad que los departamentos de Ancash y Cajamarca, son los que tiene el mayor volumen acumulado de pasivos ambientales derivados de la minería, los cuales no tienen ningún uso y más por el contrario son fuentes generadoras de contaminación del medio ambiente.

Se plantea una propuesta de investigación, el uso de relave minero como insumo para elaborar mortero de albañilería, usando como alternativa el relave minero en remplazo de porcentaje de fracción de cemento, que nos permita minimizar el uso del cemento, en las construcciones rurales y urbana de la ciudad de Huaraz.

Los problemas que se generan con los relaves mineros son:

- ❖ Contamina la flora y fauna.
- ❖ Contamina el medio ambiente.
- ❖ Contamina las canteras de agregados.
- ❖ Contamina el agua de Rio Santa, cuyas aguas también se usan para riego y también es usada para el consumo humano (después de realizar un tratamiento adecuado), en la ciudad de Trujillo.

Es por ello que se pretende responder la siguiente interrogante: ¿Cuál es el efecto de la sustitución de 5%, 10% y 15% de cemento, por la relave minero en la Resistencia de morteros de edificaciones de albañilería en Huaraz- 2017?

Se revisó abundante material bibliográfico para conceptualizar y operacionalizar la variable en estudio. Se define primeramente qué es un mortero; es una mezcla plástica aglomerante, que resulta de combinar arena y agua con un aglutinante que es el cemento Portland y otros. Generalmente se utiliza para obras de albañilería, como material de agarre, revestimiento de paredes, entre otras. El mortero de cemento Portland es un mortero en el que se utiliza cemento como conglomerante.

Es la mezcla de un aglomerante fino, realizada por vía humana. La mezcla de un conglomerante y agua se llama pasta, pero esta debe ofrecer cierta consistencia, pues cuando el conglomerante está muy líquido, la mezcla se llama lechada (Navarro, 2006).

Los morteros de cal son aquellos que están fabricados con cal, arena y agua. La cal puede ser aérea o hidráulica. Este tipo de morteros no se caracterizan por su gran resistencia, sino por su plasticidad, color, y porque se trabaja con facilidad.

Los morteros pobres o ásperos, son aquellos que tienen poca cantidad de cemento, siendo muy difíciles de trabajar. Por otro lado, los morteros que tienen gran cantidad de cemento se retraen y producen fisuras, además de ser de mayor costo (MAS, 2006).

$\text{Mortero} = \text{Cemento Portland} + \text{Agregado Fino} + \text{Aire} + \text{Agua}$
---

Son características del mortero, la Resistencia a la compresión; Cada trozo obtenido a ensayó a la compresión, en una sección de 50 x 50 mm, aplicándose la carga a las dos caras provenientes de las laterales del moldaje, colocándose entre las placas de la máquina de compresión. La velocidad de carga ha sido tal que la presión sobre la probeta de espécimen



aumente entre 10 y 20 kg/cm<sup>2</sup>/seg. Hasta la mitad de la carga de ruptura, la carga podrá aumentar a mayor velocidad, pero en todo caso la duración de cada ensayo será menor o igual en 10 segundos.

La adherencia; se manifiesta mediante la unión mecánica que debe existir entre el mortero y la unidad de mampostería. El grado de adherencia de un mortero contribuye a incrementar la capacidad del sistema para soportar los esfuerzos de tensión y cortante que generan las cargas. La plasticidad, la manejabilidad y la capacidad de retener agua en un mortero influyen de manera importante en la adherencia final que tendrá el mortero con las superficies de las unidades de mampostería.

La Retención de agua; por lo general, el mortero se coloca entre unidades de mampostería que le absorben agua, tan pronto como el mortero tiene contacto con sus superficies, por lo tanto, se vuelve indispensable que el mortero conserve suficiente cantidad de agua que le permita la hidratación de sus cementantes y alcanzar así su resistencia especificada a pesar de la absorción natural que las unidades de mampostería ejercen sobre él.

La manejabilidad; es una combinación de varias propiedades, entre las que se incluye la plasticidad, la consistencia, la cohesión, y por supuesto la adhesión. La manejabilidad del mortero está directamente relacionada al contenido de agua en la mezcla, y es un factor esencial en el ensamble de los componentes de la mampostería.

La Durabilidad, es una condición que debe cumplir el mortero, debe ser capaz de resistir la exposición al medio ambiente sin manifestar algún deterioro físico interno a edades tempranas. La durabilidad de un mortero contribuye a mantener la integridad de las estructuras de mampostería con el paso del tiempo, sobre todo en estructuras que están en contacto permanente con el suelo o la humedad y sometidos a ciclos de hielo y deshielo; donde el acoplamiento de las unidades de mampostería a través de las juntas de mortero adquiere una mayor relevancia.

La Fluidez, en las construcciones de mampostería reforzada interiormente se requiere que el mortero o lechada que se coloca en el interior de las celdas de los muros o unidades de mampostería sea capaz de penetrar perfectamente en las cavidades donde se aloja el acero de refuerzo sin que se manifieste una segregación del mortero. El contenido de agua en la mezcla, así como la capacidad del mortero de retenerla son factores que influyen directamente en el comportamiento posterior de la estructura.

La Consistencia, está definida por el agregado de humedecimiento de la mezcla, depende principalmente de la cantidad de agua usada.

La Resistencia, la resistencia a la compresión del mortero se obtiene conforme a los resultados del ensayo a los 28 días de edad. La resistencia a la compresión de mortero de cemento Portland, se determina llevando a la rotura especímenes de 50mm, preparados con mortero consistente de una parte de cemento y de arena dosificado en masa.

Método De Prueba Estándar Para La Resistencia A La Compresión De Mortero De Cemento Hidráulico (Usando Especímenes De 2 Pul. Que Equivale A [50 Mm]).

**a) Equipos para el ensayo**

Pesas y dispositivos de peso.

Molde cúbico de (5cm x 5cm x 5cm).

Mezclador, tazón y paleta.

Espátula.

Gabinete o cuarto de curado.

Máquina de prueba.

Cinta transparente para el forrado del molde cubico.

**b) Preparación de los moldes de especímenes**

Aplicar un delgado revestimiento de agente liberados en el interior de las caras del molde y en la placa base no absorbente. Aplicar aceite y grasa usando un paño impregnado u otro medio adecuado. Limpiar las caras del molde y la placa base con un paño tanto como sea necesario para remover cualquier exceso de agente liberador y para obtener una delgada y pareja capa de revestimiento en el interior de las superficies. Cuando se use un lubricante aerosol, rociar el agente liberador directamente sobre las caras de los moldes y la placa base a una distancia de 6 a 8 pulgadas o [150 a 200 mm] para obtener una completa cobertura. Después de engrasado, limpiar la superficie con un paño tanto como sea necesario para remover cualquier exceso de lubricante aerosol. El revestimiento sobrante deberá ser lo suficiente para permitir que las huellas de los dedos se impriman con una pequeña presión.

Sellar las superficies donde las mitades de los moldes se unirán, aplicando un revestimiento de una delgada capa de grasa lubricante como petrolato.

La cantidad deberá ser lo suficiente para resistir ligeramente cuando las dos mitades se hayan unido. Remover cualquier exceso de grasa con un paño.

Después de poner los moldes en la placa base (y fijarlos, si es del tipo mariposa) cuidadosamente remover con un paño seco cualquier exceso de grasa o aceite de la superficie de los moldes y de la placa base para que el sellador impermeable sea aplicado. Como sellador, usar parafina, cera micro cristalina o una mezcla de tres partes de parafina para cinco partes de resina por masa. Derretir el sellador por calentamiento entre 230 ° y 248 °F ó [110 y 220 °C]. Colocar el sellador impermeable por aplicación del sellador derretido en las líneas de contacto exteriores entre el molde y la placa base.

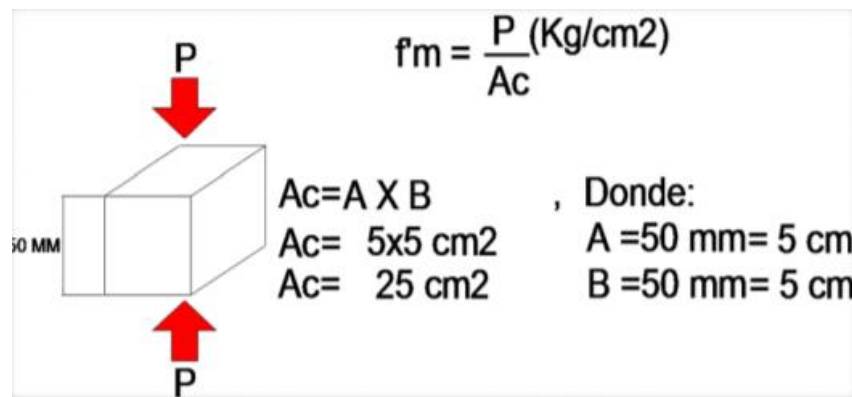


Figura 1: Molde cúbico para el ensayo

## ESPECIMEN CUBICO DE 50MM DE LADO

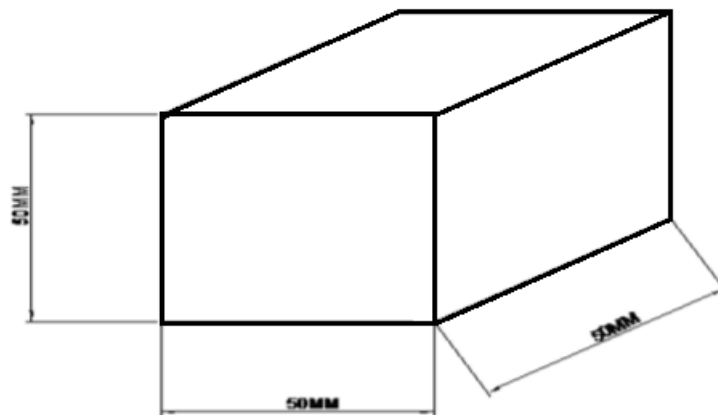


Figura 2: Espécimen cúbico.

### c) Materiales

- Agregado fino.
- Cemento portland tipo I.
- Agua.
- Relave minero.

### d) Preparación de mortero según la norma ASTM C109 – NTP 334.051 de (1998)

- Mezclar mecánicamente de acuerdo con el procedimiento dado en la práctica C 305.
- Hacer dos o tres especímenes de una colada de mortero para cada período de prueba o edad de prueba.
- Determinación del Flujo:
- Cuidadosamente limpie y seque la mesa de flujo, y ponga el molde de flujo al centro. Ponga una capa de mortero de aproximadamente 1 pulgada o [25 mm] de espesor en el molde y compacte 20 veces con el apisonador. La presión de apisonado será justo la suficiente para asegurar un llenado uniforme del molde. Entonces llenar el molde con mortero y apisonar como se especificó para la primera capa. Cortar el mortero para obtener una superficie plana, enrasar con la parte superior del molde con el borde recto de una espátula (sostenerla perpendicular al molde) con un

movimiento de sierra a través de toda la parte superior del molde. Limpie y seque la parte superior de la mesa, teniendo especial cuidado de remover cualquier partícula de agua alrededor del borde del molde de flujo. Eleve el molde lejos del mortero un minuto después de completada la operación de mezclado. Inmediatamente deje caer la mesa a través de una altura de 1/2 pulgada o [13 mm] 25 veces en 15 segundos. Usando el calibrador, determine el flujo por medida de los diámetros del mortero a lo largo de líneas marcadas en la parte superior de la mesa de flujo, añadiendo las cuatro lecturas. El total de las cuatro lecturas del calibrador es igual al porcentaje de incremento del diámetro original del mortero.

- Para cementos Portland y Portland con inclusores de aire, simplemente registre el flujo.
- En el caso de otros cementos diferentes al Portland y Portland con inclusores de aire, haga morteros de ensayo con varios porcentajes de agua hasta que el flujo especificado se obtenga. Haga cada ensayo con mortero fresco.

**e) Moldeado de Especímenes de Prueba**

- Inmediatamente después de completar la prueba de flujo, regresar el mortero de la mesa de flujo al tazón de mezclado. Rápidamente raspar los lados del tazón y transferir dentro del mortero lo que pudo haberse recolectado de los lados del tazón y entonces remezclar la colada por 15 segundos a velocidad media. Al completar el mezclado, la paleta se batirá dentro del tazón de mezclado para remover el mortero.
- Cuando una colada doble sea hecha inmediatamente para especímenes adicionales, -la prueba de flujo se omitirá y se dejará descansar al mortero en el tazón de mezclado por 90 segundos sin cubrirlo. Durante los últimos 15 segundos de este intervalo, rápidamente raspar los lados del tazón y transfiera lo raspado adentro del mortero. Entonces remezclar a velocidad media por 15 segundos.
- Iniciar el moldeo de los especímenes dentro de un tiempo total de no más de 2 minutos y 30 segundos después de completar el mezclado original del mortero. Poner una capa de mortero de aproximadamente 1 pulgada o [25 mm] (aproximadamente la mitad del peralte del molde) en todos los

compartimentos del cubo. Compacte el mortero en cada compartimiento 32 veces en alrededor de 10 segundos en cuatro rondas, cada ronda en ángulo recto respecto a la otra y consistente en ocho golpes contiguos sobre la superficie del espécimen. La presión de apisonado debe ser lo suficiente para asegurar un llenado uniforme de los moldes. Las cuatro rondas de compactación (32 golpes) del mortero deberá ser completadas en un cubo antes de continuar con el siguiente. Cuando se haya completado el compactado de la primera capa en todos los compartimientos de cubo, llenar los compartimientos con el mortero restante y apisonar como se especificó para la primera capa. Durante la compactación de la segunda cara regrese dentro del molde mediante las manos cubiertas con guantes y el apisonador el mortero que se haya salido al borde superior del molde, al completar cada ronda y antes de iniciar la siguiente ronda de apisonado. Al terminar la compactación, la parte superior de los cubos deberá extenderse ligeramente sobre los bordes superiores de los moldes. Regrese el mortero que se ha salido del molde con la espátula y alise los cubos con el filo de la espátula (con el borde de entrada ligeramente elevado) una vez a lo largo de la parte superior de cada cubo perpendicularmente a la longitud del molde. Entonces para propósito de nivelar el mortero empujarlo hacia la parte superior del molde de más uniforme espesor, pásese el lado plano de la espátula (con el borde de entrada ligeramente elevado) levemente una vez a lo largo del molde. Corte el mortero para obtener; una superficie a nivel del borde superior del molde por una pasada del borde recto de la espátula (sostenida aproximadamente perpendicular al molde) con un movimiento aserrado sobre la longitud del molde.

**f) Almacenamiento de los especímenes de pruebas**

- Almacenamiento de los Especímenes de Prueba- Inmediatamente al completar el moldeo, ponga los especímenes de prueba en el gabinete de curado o cuarto de curado. Guarde todos los especímenes. Inmediatamente después de moldeados en los moldes en la placa base en el gabinete de curado o cuarto de curado por 20 a 24 h con su superficie

superior expuesta al aire húmedo pero protegida de escurrimientos de agua.

- Si los especímenes son removidos antes de las 24 h, guardarlos en los anaqueles del gabinete de curado o cuarto de curado hasta que ellos tengan 24 h, y entonces sumerja los especímenes, excepto aquellos para la prueba de las 24 h, en agua saturada con cal en tanques de almacenamiento contruidos de material no corrosivo. Guarde el agua de curado limpia y cámbiela cuando se requiera.

**g) Determinación de la resistencia a la compresión**

- Pruebe los especímenes inmediatamente después de ser removidos del gabinete de curado en el caso de especímenes de 24 h, y del agua de curado en el caso de los otros especímenes. Todos los especímenes de prueba para una edad de prueba dada deberán ser ensayados dentro de la tolerancia permisible prescrita como sigue:

Tabla 1: Tolerancia para ensayos a compresion

EDAD DE CUBO	TOLERANCIA PERMISIBLE
24 horas	30 minutos
3 días	1 hora
7 días	3 horas
28 días	12 horas

- Si más de un espécimen a la vez se remueve del gabinete de curado para la prueba de 24h, guardar estos especímenes cubiertos con un paño húmedo hasta el momento de la prueba. Si más de un espécimen a la vez es removido del agua de curado, guardar estos especímenes en agua a una temperatura de  $73.4 \pm 3$  °F o  $[23 \pm 1.7$  °C] y de profundidad suficiente a manera de sumergir completamente cada espécimen hasta el momento de prueba.
- Limpiar cada espécimen hasta obtener una condición de superficie seca y remover cualquier grano de arena suelto o incrustaciones de las caras que

estuvieron en contacto con los bloques de soporte de la máquina de prueba. Revisar que las caras sean realmente planas mediante un rectificador. (Nota 7). Si las curvaturas son apreciables, afinar la cara o caras para obtener una superficie plana o descartar el espécimen. Un perfecto chequeo del área de la sección transversal del espécimen fue realizado.

- Aplicar la carga a caras del espécimen que estuvieron en contacto con superficies realmente planas del molde. Cuidadosamente se puso el espécimen en la máquina de prueba debajo del centro del bloque de apoyo superior. Previo a la prueba de cada cubo, se averiguo si el bloque de asiento esférico estuvo libre para inclinarse. No usar acojinamiento o materiales de relleno. Una carga inicial mayor que la mitad de la carga máxima esperada para especímenes que tengan una carga máxima esperada de más de 3000 lbf o [15 kN] puede ser aplicada a una velocidad conveniente. No aplicar una carga inicial a especímenes que tengan una carga máxima esperada menor a 3000 lbf o [15 kN]. Ajustar la velocidad de aplicación de la carga tal que el remanente de la carga (o la carga entera en el caso de carga máxima esperada menor a 3000 lbf o [15 kN]) se aplique, sin interrupción, hasta la falla de manera que la carga máxima se alcance en no menos de 20 s y no más de 80 s desde el momento en que se comenzó a aplicar la carga. No realizar ningún ajuste en el control de la máquina de prueba mientras el espécimen fluye antes de la falla.

#### **h) Expresión de resultados**

Se debe anotar la carga máxima indicada por la máquina de ensayo en el momento de la rotura, y se debe calcular la resistencia a la compresión como sigue:

$$F = P / A$$

Donde:

F: es la resistencia a la compresión en MPa.

P: carga máxima total en Lb o N.

A: área de la superficie de carga en plg<sup>2</sup> o mm<sup>2</sup>.



### **i) Factores que afectan la Resistencia**

- ✓ La relación agua- cemento (a/c). - Es el factor principal que influye en la resistencia del mortero. La relación a/c, afecta la resistencia a la compresión de los concretos con o sin aire incluido. La resistencia en ambos casos disminuye con el aumento de a/c.
- ✓ El contenido de cemento, la resistencia disminuye conforme se reduce el contenido de cemento.
- ✓ El tipo de cemento. La rapidez de desarrollo de resistencia varía para los concretos hechos con diferentes tipos de cemento.
- ✓ Las condiciones de curado. Dado que las reacciones de hidratación del cemento sólo ocurren en presencia de una cantidad adecuada de agua, se debe mantener la humedad en el concreto durante el periodo de curado, para que pueda incrementarse su resistencia con el tiempo.

Cemento Portland: Es el producto resultante de la pulverización muy fina de Clinker (o clinquers) obtenido calcinando a fusión incipiente una mezcla rigurosamente homogénea de material calcáreo y arcillosos.

Es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua. El producto resultante de la molienda de estas rocas es llamada Clinker y se convierte en cemento cuando se le agrega yeso para que adquiera la propiedad de fraguar al añadirle agua y endurecerse posteriormente.

El cemento Portland, es un polvo de color gris, más o menos verdoso, de gran valor como material estructural, a consecuencia de alcanzar dureza pétreo después de ser amasado con agua, es también un aglomerante hidráulico por excelencia.

El proceso de fabricación del cemento se inicia con la explotación de los yacimientos de materia prima, en tajo abierto. El material resultante de la voladura es transportado en camiones para su trituración, la trituración de la roca, se realiza en dos etapas, inicialmente se procesa en una chancadora primaria, del tipo cono que puede reducirla de un tamaño máximo de 1.5 m hasta los 25 cm. El material se deposita en un parque de almacenamiento.

Luego de verificar su composición química, pasa a la trituración secundaria, reduciéndose su tamaño a 2mm aproximadamente.

El material triturado se lleva a la planta propiamente dicha por cintas transportadoras, depositándose en un parque de materias primas. En algunos casos se efectúa un proceso de pre-homogeneización.

La siguiente etapa comprende la molienda, por molinos de bolas o por prensas de rodillos, que producen un material de gran finura. En este proceso se efectúa la selección de los materiales, de acuerdo al diseño de la mezcla previsto, para optimizar el material crudo que ingresará al horno, considerando el cemento de mejores características.

El material molido debe ser homogeneizado para garantizar la efectividad del proceso de clinkerización mediante una calidad constante. Este procedimiento se efectúa en silos de homogeneización. El material resultante constituido por un polvo de gran finura debe presentar una composición química constante.

La harina cruda es introducida mediante sistema de transporte neumático y debidamente dosificada a un intercambiador de calor por suspensión de gases de varias etapas, en la base del cual se instala un moderno sistema de pre calcinación de la mezcla antes de la entrada al horno rotatorio donde se desarrollan las restantes reacciones físicas y químicas que dan lugar a la formación del Clinker. El intercambio de calor se produce mediante transferencias térmicas por contacto íntimo entre la materia y los gases calientes que se obtienen del horno, a temperaturas de 950 a 1,100°C en un sistema de 4 a 6 ciclones en cascada, que se encuentran al interior de una torre de concreto armado de varios pisos, con alturas superiores a los cien metros.

El horno es el elemento fundamental para la fabricación del cemento. Está constituido por un tubo cilíndrico de acero con longitudes de 40 a 60m y con diámetros de 3 a 6m, que es revestido interiormente con materiales refractarios, en el horno para la producción del cemento se producen temperaturas de 1,500 a 1,600°C, dado que las reacciones de clinkerización se encuentra alrededor de 1,450°C.

El Clinker que egresa al horno de una temperatura de 1,200°C pasa luego a un proceso de enfriamiento rápido por enfriadores de parrilla. Seguidamente por transportadores metálicos es llevado a una cancha de almacenamiento.

Desde este depósito y mediante un proceso de extracción controlada el Clinker es conducido a la molienda de cemento por molinos de bolas a circuito cerrado o prensas de rodillos con separadores neumáticos que permiten obtener una finura de alta superficie específica. El cemento así obtenido es transportado por medios neumáticos para depositarse en silos donde se encuentra listo para ser despachado. El despacho del cemento portland que produce la planta, se realiza en bolsas de 42,5Kg, así como a granel.

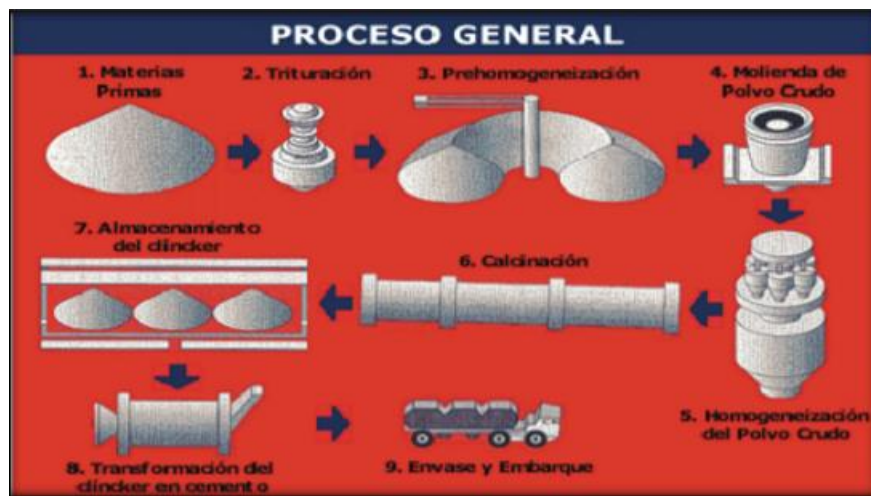


Figura 3: Proceso General de Producción del cemento.

El proceso de fabricación del cemento se puede agrupar en dos sistemas:

### **Procedimiento por vía seca**

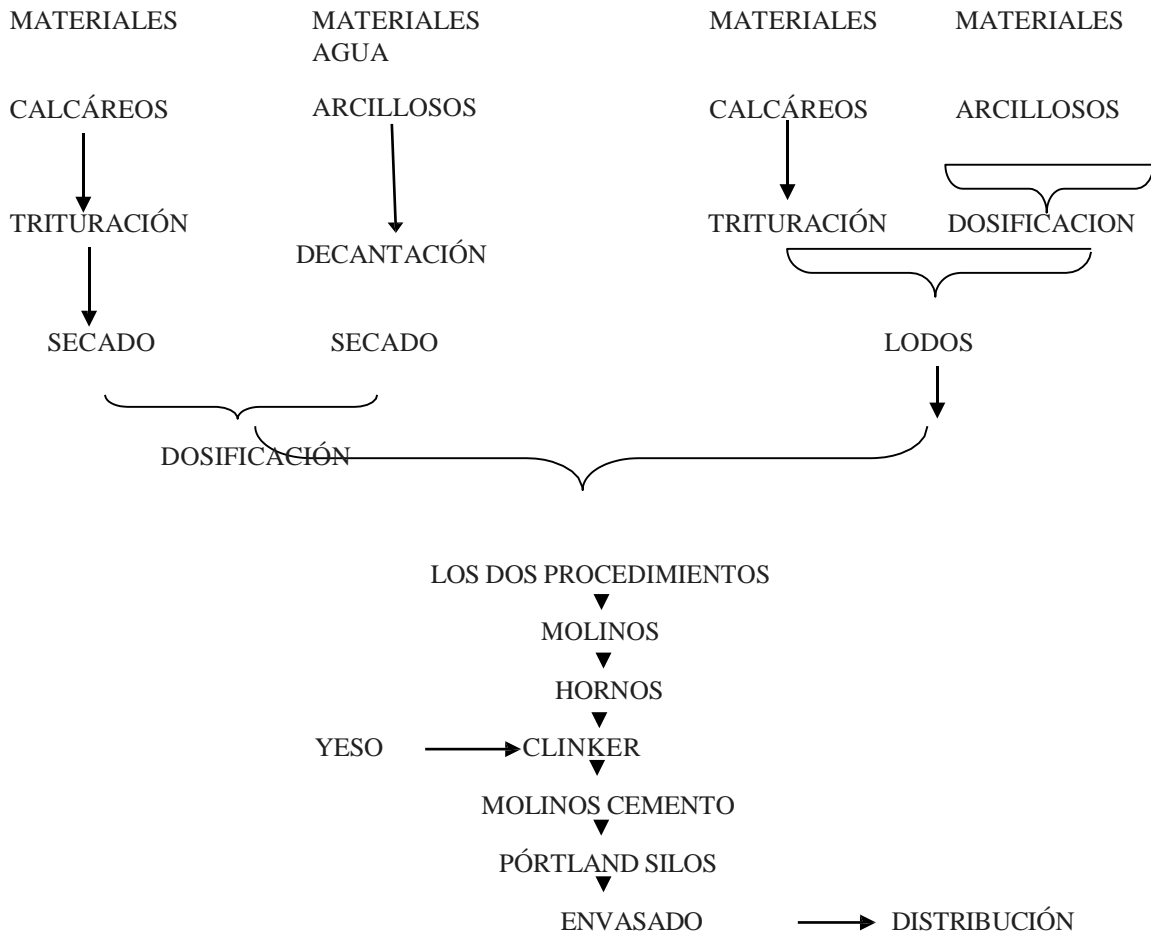
En la cual las materias primas se muelen y se desecan en primer lugar, luego se mezclan dosificándolas y después son reducidas a polvo, pasando luego a los hornos.

### **Procedimiento por vía húmeda**

En que las materias primas después de haber sido molidas separadamente, se dosifican y se mezclan, amasándolas con mucha agua, el lodo así formado pasa a los hornos. El producto resultante de la calcinación en los hornos se llama Clinker. Estos hornos pueden ser verticales o fijos e inclinados o giratorios.

### PROCEDIMIENTO POR VÍA HÚMEDA

### PROCEDIMIENTO POR VÍA SECA



### Propiedades Generales

- Buena resistencia al ataque químico.
- Buena resistencia a temperaturas elevadas.
- Se puede usar en bajas temperaturas.

### Propiedades Físicas

#### **Finura**

- La finura se aprecia por medio del análisis granulométrico, el que consiste en hacerlos pasar por los tamices o zarandas, para apreciar el porcentaje de peso que atraviesa el material a cada tamiz. Las especificaciones que se mencionan en la norma usualmente indica que más del 78% en peso pase la malla N° 200.

- **Peso Específico:** su peso específico debe ser superior a 3.10.
- **Fraguado inicial:** 2-3 horas.
- **Fraguado final:** Entre 7-8 horas tiene el 80 % de la resistencia.
- **Calor de hidratación:** Muy exotérmico. Desprende rápidamente una gran cantidad de calor.

Muy resistente a sulfatos y muy buena durabilidad y resistente a compuestos ácidos.

Buenas propiedades refractarias aguanta 1500-1600 °C manteniendo resistencias y propiedades físicas.

### Componentes Químicos

1. Silicato tri cálcico, el cual le confiere su resistencia inicial e influye directamente en el calor de hidratación.
2. Silicato di cálcico, el cual define la resistencia a largo plazo y no tiene tanta incidencia en el calor de hidratación.
3. Aluminato tri cálcico, es un catalizador en la reacción de los silicatos y ocasiona un fraguado violento. Para retrasar este fenómeno, es preciso añadirle y eso durante la fabricación del cemento.
4. Aluminio- ferrito tetra cálcico, influye en la velocidad de hidratación y secundariamente en el calor de hidratación.
5. Componentes menores: oxido de magnesio, potasio, sodio, manganeso y titanio.

Los componentes químicos principales de las materias primas para la fabricación del cemento y las proporciones generales en que intervienen son:

Tabla 2: Composición química del cemento

%	COMPONENTE QUIMICO	PROCEDENCIA USUAL
95% <	Oxido de calcio (CaO)	Rocas Calizas
	Oxido de Sílice (SiO <sub>2</sub> )	Areniscas
	Oxido de Aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Arcillas
	Oxido de Hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Arcillas, Mineral de Hierro, pirita
5% <	Oxido de Magnesio, Sodio, potasio, titanio, azufre, fósforo.	Minerales Varios

#### Tipos De Cemento En El Mercado Nacional

- ✓ Cemento portland
- ✓ cemento portland puzolánico
- ✓ cemento portland de escoria de alto horno
- ✓ cemento tipo MS
- ✓ cemento portland compuesto tipo 1Co
- ✓ cemento de albañilería

#### Tipos De Cementos

- ❖ Tipo I, para uso general que no requiera propiedades especiales especificadas para cualquier otro tipo.
- ❖ Tipo II, para uso general y específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos.
- ❖ Tipo III, para ser utilizado cuando se requiere altas resistencias iniciales (no se fabrica en Perú).
- ❖ Tipo IV, para usar cuando se desea bajo calor de hidratación.
- ❖ Tipo V, para usar cuando se desea alta resistencia a los sulfatos.

Para la presente tesis usaremos el cemento Portland tipo I, de estos 5 tipos, en el Perú solo se fabrican los tipos I, II y V.

## Normas de cemento en el Perú

El cemento en el Perú es uno de los productos con mayor número de normas, que datan del inicio del proceso de normalización en el país. Se cuenta con 7 normas sobre especificaciones, una de muestreo e inspección, 5 sobre adiciones y 30 sobre método de ensayo.

En la actualidad, la responsabilidad de la normalización se encuentra en el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual - INDECOPI, creado por Ley N° 25868, promulgada el 18.11.92. La dación de normas se encuentra dentro de las atribuciones de una de las secretarías de INDECOPI, denominada Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales. El INDECOPI, como los organismos que lo antecedieron y la práctica internacional, efectúa la normalización por intermedio de comités técnicos tripartitos que congregan a especialistas de la producción, el consumo y la tecnología.

La normalización del cemento se lleva a cabo por el Comité Técnico Permanente de Normalización de Cementos y Cales, cuya gestión tiene a su cargo la Asociación de Productores de Cemento - ASOCEM quien ejerce la secretaría técnica.

Inicialmente las normas adoptadas por la industria fueron las de American Society for Testing and Materials (ASTM), consignando en el rotulado del envase la designación correspondiente. La primera entidad de normalización fue el Instituto Nacional de Normas Técnicas Industriales y Certificación - INANTIC creado por la ley de promoción industrial, Número 13270 del 31-11-59.

Entidad que aprobó una serie de normas sobre cemento. Posteriormente, este organismo fue reemplazado por el Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas -ITINTEC, comprendido en la Ley General de Industrial, D.L: 18350 promulgada el 27.08-70, organismo que actualizó las normas existentes y formuló otras nuevas.

## Agregado Fino

Los agregados también llamados áridos son aquellos materiales inertes, de forma granular, naturales o artificiales, que aglomerados por el cemento Portland en presencia de agua forman un todo compacto (piedra artificial), conocido como mortero o concreto.

Se considera como agregados finos a la arena o piedra natural finamente triturada, de dimensiones reducidas y que pasan el tamiz 9.5 mm (3/8") y que es retenido en la malla N° 200 (74µm), los límites establecidos en la norma NTP 400.037 y ASTM C 33.

Propiedades Físicas Del Agregado Fino

#### **a) Módulo de fineza**

Es un índice aproximado del tamaño medio de los agregados. Cuando este índice es bajo quiere decir que el agregado es fino, cuando es alto es señal de lo contrario.

El módulo de fineza de un agregado se calcula sumando los porcentajes acumulativos retenidos en la serie de mallas estándar: 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100 y dividiendo entre 100. Según la norma ASTM la arena debe tener un módulo de fineza no menor de 2.3 ni mayor que 3.1. Módulos de fineza comprendidos entre 2.2 y 2.8 producen Concretos de buena trabajabilidad y reduce la segregación. Módulos de fineza comprendidos entre 2.8 y 3.1 son las más favorables para concretos de alta resistencia.

#### **b) Peso unitario según la NTP 400.017**

Se denomina peso unitario del agregado al peso que alcanza un determinado volumen unitario. este valor es requerido cuando se trata de clasificar agregados ligeros o pesados. El peso unitario del agregado varía de acuerdo a condiciones intrínsecas, como la forma, granulometría y tamaño máximo.

#### **Peso unitario suelto**

Se denomina PUS, para determinar se coloca el material seco suavemente en el recipiente hasta llegar al punto de derrame, luego se nivela a ras del molde con la barra metálica. Es importante tener en cuenta cuando se trata del manejo y transporte del agregado debido a que esto se hacen en estado suelto.

#### **Peso unitario compactado**

se llama así cuando los granos han sido sometidos a compactación incrementando así el grado de acomodamiento de las partículas del agregado fino y por lo tanto el valor de la masa unitaria aumenta, sirve para determinar el volumen absoluto de los agregados.



Usualmente se llena en tres capas iguales, se apisona cada tercio del volumen con 25 veces con una varilla compactadora de punta redondeada de 5/8" de diámetro, y después de a rasa al nivel del molde.

**c) Peso específico según la NTP 400.022**

El Peso Específico, es la relación entre el peso del material y su volumen, su diferencia con el peso unitario está en que este no toma en cuenta el volumen que ocupan los vacíos del material.

El peso específico de los agregados adquiere importancia en la construcción, cuando se requiere que el concreto tenga un peso límite, sea máximo o mínimo. El peso específico es un indicador de calidad.

**d) Contenido de humedad según la NTP 400.010**

Es la cantidad de agua retenida por las partículas del agregado fino, esta propiedad varía en función al tiempo o condiciones ambientales. Esta propiedad es importante porque de acuerdo a su valor (en porcentaje), la cantidad de agua en el concreto varia. También se define como la diferencia entre el peso del material natural y el peso del material secado en horno (24 hrs.), dividido entre el peso natural del material, todo multiplicado por 100.

**e) Absorción según la NTP 400.022**

Es la capacidad que tiene los agregados de atrapar moléculas de agua en sus poros, producido por la capilaridad es denominado como absorción, radica en aportar agua en la elaboración del concreto o mortero, lo cual puede variar propiedades importantes como la resistencia y trabajabilidad.

**f) Granulometría según la NTP 400.012**

Es la distribución de los tamaños del agregado, la granulometría está directamente relacionada con las características de manejabilidad del concreto en su estado fresco, el límite de la granulometría recomendada está dada por NTP 400.037 o ASTM C 33 según lo establecido para el agregado fino. La granulometría seleccionada no deberá tener más del 5% del agregado retenido en la malla de 1 ½" y no más del 6% del agregado que pasa la malla de ¼".

### **g) Tamaño máximo de agregados**

El tamaño máximo del conjunto de agregados, está dado por la abertura en la malla inmediata superior a la que retiene el 15% o más, al cribar por ella el agregado más grueso.

### **Agua Para La Mezcla**

Se entiende por agua de mezclado a la cantidad de agua total contenida en el concreto fresco. Esta cantidad es utilizada para el cálculo de la relación agua/cemento (a/c) y está compuesta por el agua agregada a la mezcla y la humedad superficial de los agregados.

El agua de amasado cumple una doble función en el concreto; por un lado, permite la hidratación del cemento y por el otro es indispensable para asegurar la trabajabilidad y la buena compactación del concreto. Está prohibido el empleo de aguas ácidas, calcáreas, minerales ya sea carbonatadas o minerales; aguas provenientes de minas o relaves, aguas que contengan residuos industriales, agua con contenido de sulfatos mayor del 1%, agua que contengan algas, materia orgánica, humus o descargas de desagües, aguas que contengan azúcares o sus derivados, igualmente aquellas aguas que contengan porcentajes significativos de sales de sodio o de potasio disueltas, que puedan producir efectos desfavorables sobre el fraguado, la resistencia o la durabilidad del concreto o sobre las armaduras. El agua empleada en la preparación del mortero deberá cumplir con los requisitos de la norma N.T.P. 339.088 y ser de preferencia, potable. Se considerarán aptas para el mezclado del concreto o mortero el empleo de aguas no potables cuyas propiedades y contenidos en sustancias disueltas sean como máximo la siguiente:

Tabla 3: Requisitos para usar el agua en la mezcla según la NTP 339.088

Requisitos	Unidad.	Limite Max.
Cloruros	Ppm	300
Sulfatos	Ppm	300
Sales de magnesio	Ppm	125
sales solubles	Ppm	500
PH		Mayor de 7
Sólidos en suspensión	Ppm	500
Materia orgánica expresada en oxígeno	ppm	10

*Fuente: Normas Técnicas Peruanas.*

## Diseño De Mortero (CAPECO)

Para el diseño del mortero se tendrá en cuenta la dosificación y la referencia que tiene CAPECO en proporción volumétrica, para una determinada resistencia requerida según el tipo de uso.

Para realizar los cálculos respectivos se tendrá en cuenta las propiedades físicas del agregado fino con el cual se procede al cálculo de material necesario para los ensayos respectivos, para determinar la resistencia que se alcanza con el mortero al sustituir el cemento por el relave minero en cantidad de porcentajes.

Tabla 4: Proporción de materiales según CAPECO

Proporción	Relación a/c	cantidad de materiales por m3 de mortero		
		cemento (bolsa)	arena(m3)	agua(litros)
1:1	0.29	23.2	0.66	286
1:2	0.43	15.2	0.86	277
1:3	0.57	11.2	0.96	272
1:4	0.72	8.9	1	272
1:5	0.85	7.4	1.05	268
1:6	1	6.3	1.07	269
1:7	1.14	5.5	1.1	267
1:8	1.29	4.9	1.11	268

Tabla 5: Resistencia de morteros según su dosificación

Clases de mortero	Dosificación	Resistencia (kg/cm2)
Mortero de cemento-cal-arena	1:1:10	20
	1:1:6	50
Mortero de cemento-arena, equivalente dosificación de 250 kg de cemento/m3	a 1:6	50
Mortero de cemento-arena, equivalente dosificación de 380 kg de cemento/m3	a 1:4	100
Mortero de cemento-arena, equivalente dosificación de 450 kg de cemento/m3	a 1:3	150

## Procedimiento de cálculo de materiales para el ensayo según CAPECO

### ✓ **Primer paso**

Se debe escoger una dosificación en volumen de la Tabla 4.0, para proceder con el diseño de mortero, la resistencia de cada proporción en volumen se detalla en la Tabla 5.0.

### ✓ **Segundo paso**

Calculamos el volumen de especímenes, que es un dato necesario para realizar cálculos de material.

### ✓ **Tercer paso**

Una vez calculado el volumen de especímenes se procede a realizar el cálculo de la cantidad necesaria de cemento para los ensayos, teniendo como referencia la dosificación escogida.

### ✓ **Cuarto paso**

Del mismo modo que el paso tres se calcula el agregado fino teniendo como referencia la dosificación elegida.

### ✓ **Ultimo paso**

Ya con los valores obtenidos en los pasos anteriores se calcula el agua necesaria para el amasado del mortero teniendo en cuenta el agua que aporta el mismo material.

## **Relave Minero**

Son conjunto de desechos tóxicos de procesos mineros de la concentración de minerales, usualmente constituido por una mezcla de rocas molidas, agua y minerales de ganga, aunque también se encuentran bajas concentraciones de metales pesados, tales como, cobre, plomo, mercurio y metaloides como el arsénico. Los relaves contienen altas concentraciones de químicos y elementos que alteran el medio ambiente, por lo que deben ser transportados y almacenados en «tanques o depósitos de relaves» donde lentamente los contaminantes se van decantando en el fondo y el agua es recuperada mayoritariamente. Los residuos almacenados proceden del tratamiento de minerales para la obtención de plata, plomo y zinc.

### **Antecedentes Del Relave Minero De Ticapampa**

La relavera de la Compañía Minera Alianza se ubica en el Distrito de Ticapampa, construida a orillas del río Santa en el km 170, en paralelo a la carretera asfaltada Pativilca-Huaraz. Sus dimensiones son: 750 x 200 metros, con una altura máxima de 19 metros, lo que supone alrededor de 5 millones de toneladas métricas de relaves. El depósito presenta varios niveles y sectores que han sido utilizados en forma alternada desde hace más de 50 años y, en los últimos años, por la Empresa Minera Alianza. Los residuos almacenados proceden del tratamiento de minerales para la obtención de plata, plomo y zinc. La relavera se encuentra inactiva o abandonada desde el año 1985. Después de varios años de paralización, se ha observado que la escorrentía superficial procedente desde el depósito de relaves posee un pH cercano a la neutralidad, si bien el contenido de metales pesados en el agua es alto (Jara, 2011).



Figura 4: Relave minero Ticapampa (2017).

### **Manejo de relaves**

Cruzado & Bravo (2010) afirman que históricamente, la disposición de los relaves se hacía en riachuelos, ríos o lagos; sin embargo, se vienen presentando alternativas distintas para la disposición de este material, debido, entre otros factores, a la creciente preocupación por la aparición del “drenaje ácido de roca” ARD (Acid Rock Drainage) que se originan en la actividad minera, especialmente en etapas de cierre y/o abandono cuando no se han tomado las precauciones para evitar su producción; hecho que genera contaminación del agua y las tierras que lo reciben.

En los últimos años, el manejo de relaves genera mayor preocupación por el problema ambiental que afrontamos con la industria minera en nuestro país. En el manejo de relaves

tenemos dos etapas: operación y post cierre. Durante la etapa de operación, normalmente se almacena en presas, recubierto con agua, la que es recirculada a la planta, y en la etapa de cierre se puede dar distintos tratamientos, siendo ésta la etapa más crítica desde el punto de vista ambiental y de costos.

El manejo de relaves en el Perú es más difícil que en cualquier otro país del mundo debido a sus condiciones extremas en topografía, clima y riesgo sísmico, agregado a la prevalencia de cuerpos mineralizados altamente sulfurados y a los problemas de contaminación por drenaje ácido (ARD) que ellos poseen.

Actualmente prácticas novedosas de disposición de relaves, tal como el relleno subterráneo, método de descarga espesada y disposición de relaves deshidratados. Estas operaciones demuestran claramente que alternativas a los depósitos de relaves convencionales pueden ser prácticas y posibles en el Perú. (Guía Ambiental Para el Manejo de Relaves Mineros, 1995).

### **Depósitos de relaves**

#### ❖ **Superficiales**

Los depósitos de relaves superficiales son tradicionalmente los métodos más versátiles y económicos para disponer de ellos en la mayoría de operaciones mineras. Este método se basa en la deposición hidráulica de relaves, detrás de una presa que puede ser construida utilizando una variedad de materiales y configuraciones. La represa es construida intentando servir el propósito fundamental de confinar la pulpa de relaves para permitir que los sólidos se asienten y el agua sea recirculada a la concentradora, en contraste con muchas operaciones existentes en el Perú en donde la recirculación es raramente practicada

#### ❖ **Subterráneo**

Es posible retornar prácticamente la mitad y hasta dos tercios de los relaves producidos hacia las labores explotadas en las minas subterráneas. El relleno, como se denomina a este procedimiento, es parte esencial de algunas operaciones subterráneas de extracción de mineral como el procedimiento de «corte y relleno», y puede también ser utilizado para incrementar la recuperación y extracción de mineral mediante el reemplazo de los pilares

de sostenimiento en las operaciones subterráneas del tipo de «cámaras y pilares».

En las operaciones de relleno los relaves son usualmente retornados al frente de trabajo en forma de pulpa, aunque algunos otros métodos, como el neumático, también son usados algunas veces. El relleno no cementado requiere una forma de relave permeable y de drenaje libre, de tal manera que el ciclo neo es utilizado en la concentradora para separar y retornar la fracción de arena al frente de trabajo dejando las lamas para disposición superficial.

❖ **Relaves deshidratados**

Es posible eliminar agua de la pulpa de relaves en la concentradora utilizando equipos tales como: filtros de vacío, de presión, filtros de tambor, filtros de faja y/o centrífugas. El contenido de agua de los relaves puede ser reducido lo suficiente como para permitir su transporte y ubicación por camiones o fajas transportadoras, usualmente hasta 20-25% por peso (para gravedad específica del mineral cercano a 2.8). Debido a que los relaves aún contienen humedad significativa, la terminología de relaves «secos» que algunas veces se aplica al método no es estrictamente correcta.

Aunque los costos de capital y operación del equipo pueden ser altos y las limitaciones en confiabilidad requieren un sistema de disposición de relaves de respaldo, el método ofrece ventajas únicas para las minas ubicadas en los valles estrechos y montañas empinadas del Perú.

❖ **Descarga espesada**

El procedimiento de descarga espesada se basa en la eliminación de mayor cantidad de agua de los lodos de relaves, mediante espesamiento en la concentradora hasta por lo menos 50-60% de sólidos (% peso). Tales lodos pueden alcanzar una inclinación de 3-6 grados cuando son depositados a partir de una tubería. Esta forma de disposición tiene el potencial de reducir la extensión de la construcción de la represa requerida para depósitos superficiales convencionales, con el correspondiente ahorro en costos de

construcción de la presa, aunque esto pueda ser contrarrestado en alguna medida por el costo de espesamiento y bombeo de los lodos de relave.

Se requiere un lugar amplio y plano para utilizar la deposición mediante descarga espesada, y es por ello inadecuado para las áreas montañosas del Perú.

#### ❖ **Construcción del muro método aguas arriba**

Consiste en un muro inicial construido con material de empréstito compactado sobre el cual se inicia la depositación de los relaves, utilizando clasificadores denominados “Hidrociclones”; la fracción más gruesa o arena, se descarga por el flujo inferior del hidrociclón y se deposita junto al muro inicial, mientras la fracción más fina o lamas, que sale por el flujo superior del hidrociclón, se deposita hacia el centro del tranque en un punto más alejado del muro, de modo tal que se va formando una especie de playa al sedimentar las partículas más pesadas de lamas y gran parte del agua escurre, formando el pozo de sedimentación o laguna de sedimentación, la que una vez libre de partículas en suspensión es evacuada mediante un sistema de estructura de descarga, que pueden ser las denominadas torres de evacuación, o bien, se utilizan bombas montadas sobre una balsa flotante. Una vez que el depósito se encuentra próximo a llenarse, se procede al levante del muro, desplazando los Hidrociclones a una mayor elevación en la dirección hacia aguas arriba y comenzando una nueva etapa de descarga de arenas, y peralte del muro; se continúa sucesivamente la construcción en la forma indicada. Con este método, en la práctica, se pueden alcanzar alturas de hasta 25 metros.

#### ❖ **Construcción del muro método aguas abajo**

La construcción se inicia también con un muro de partida de material de empréstito compactado desde el cual se vacía la arena cicloneada hacia el lado del talud aguas abajo de este muro y las lamas se depositan hacia el talud aguas arriba. Cuando el muro se ha peraltado lo suficiente, usualmente 2 a 4 m., se efectúa el levante del muro, desplazando los Hidrociclones a una



mayor elevación en la dirección hacia aguas abajo y comenzando una nueva etapa de descarga de arenas y peralte del muro. A veces se dispone también de un segundo muro pre-existente aguas abajo. Las arenas se pueden disponer en capas inclinadas, según el manteo del talud del muro de partida, o bien, disponerlas en capas horizontales hacia aguas abajo del muro de partida.

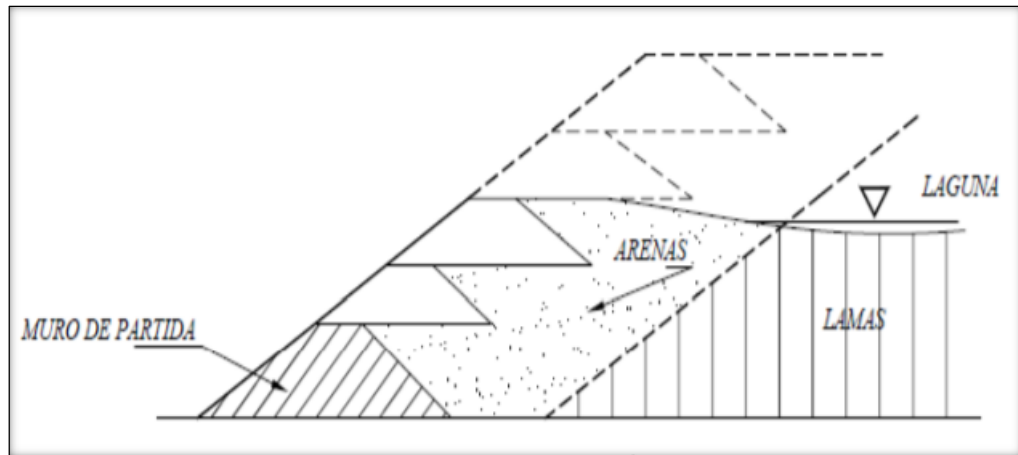


Figura 5: Método aguas arriba

Este método de aguas abajo requiere disponer de un gran volumen de arenas y permite lograr muros resistentes más estables del punto de vista de la resistencia sísmica.

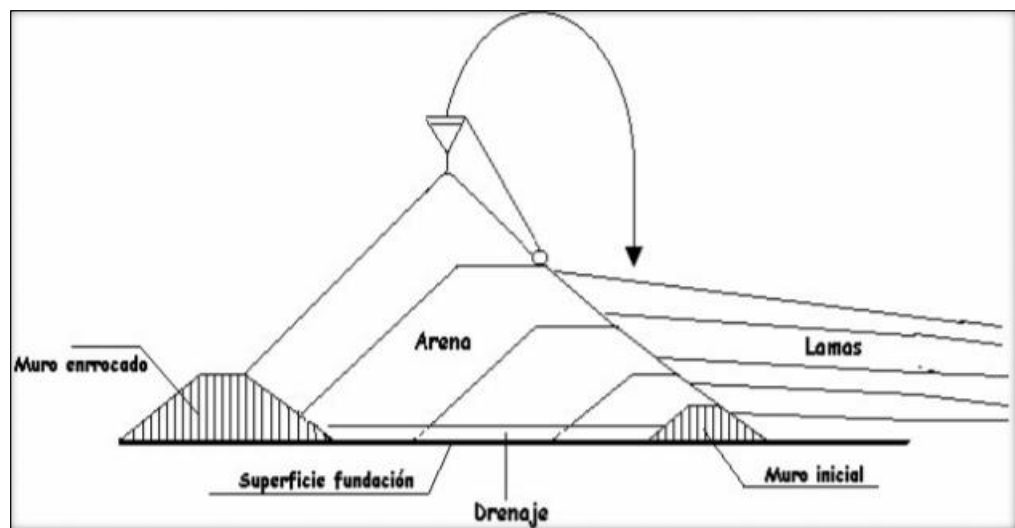


Figura 6: Método de aguas abajo

## Características de los relaves mineros

### **a) Origen y producción de relaves de concentradoras**

El proceso de concentración comienza con el chancado del mineral proveniente de la mina hasta tamaños de partículas generalmente en el rango de centímetros o milímetros. El mineral chancado es luego reducido a tamaños menores a un milímetro, en grandes tambores rotatorios clasificados como molinos de bolas, molinos de varillas y molinos semi-autógenos (SAG). Se agrega agua al mineral molido y el material permanece en forma de lodo a través del resto del proceso de extracción.

La flotación opera sobre el principio de que partículas individuales que contienen el mineral que se extrae y las partículas de desecho que quedan constituyen los relaves.

### **b) Propiedades físicas y estructurales**

Las características físicas de los depósitos de relaves dependen fundamentalmente de la forma hidráulica de su deposición. Estas propiedades son importantes para comprender cómo responderá el depósito a la carga, a la infiltración y al movimiento sísmico.

### **c) Características de la deposición**

La primera es, si el contenido de sólidos de la pulpa se incrementa, mediante es pesadores, a más del 50%. Esto reduce la segregación por tamaño de partícula y tiende a reducir tanto la estratificación como la reducción sistemática del tamaño de partícula en función de la distancia desde el punto de descarga.

La segunda, es para relaves molidos a tamaños muy finos y que tienen un mínimo contenido de arena para empezar, los relaves de cianuración de oro y plata corresponden a este tipo según lo describe Lefebvre y Dastous (1991). En tales casos, cualquier playa de arena puede ser tan angosta como 30 a 50 metros, con el remanente del depósito constituido por lamas más o menos uniformes.

El último caso es cuando los ciclones son utilizados para separar y eliminar arena de los relaves de la concentradora, ya sea para su uso en la construcción de la presa o como relleno en las minas subterráneas.

#### d) Características químicas

Desde un punto de vista físico, los relaves es un material manufacturado y la naturaleza básica del proceso admite algunas generalizaciones razonables sobre el asunto. Esto no es así, con respecto a las características químicas que pueden variar ampliamente de un yacimiento a otro. A este respecto, es importante anotar que varios depósitos de características diferentes, cada uno con distinta geoquímica, pueden ser explotados a lo largo de la vida de la mina, ocasionando las variaciones correspondientes en las características químicas de los relaves producidos tales como:

Relaves sólidos.

Efluentes líquidos de flotación.

Efluentes cianurados.

Drenaje ácido de relaves.

#### e) Características fisiográficas

Las características geográficas del Perú están entre las más variadas del mundo y afectan profundamente tanto las operaciones mineras en general, como los requerimientos del manejo de relaves en particular. El país puede ser dividido en varias provincias fisiográficas tales como:

La zona costera.

La zona de la sierra.

La zona de la selva.

Tabla 6: Límites o niveles máximos permisibles de emisión para las unidades minero - metalúrgicas en el Perú

PARAMETRO	VALOR EN CUALQUIER MOMENTO	VALOR PROMEDIO ANUAL
pH	Mayor que 6 y Menor 9	Mayor que 6 y Menor que 9
Sólidos suspendidos (mg/l)	50	25
Plomo (mg/l)	0.4	0.2
Cobre (mg/l)	1.0	0.3
Zinc (mg/l)	3.0	1.0
Fierro (mg/l)	2.0	1.0
Arsénico (mg/l)	1.0	0.5
Cianuro total (mg/l)*	1.0	1.0

Por todo lo anteriormente expuesto se propuso la siguiente hipótesis:

Si sustituimos un 5%,10% y 15% de cemento por relave minero “Ticapampa”, se obtendría

un mortero con una resistencia mayor a lo convencional.

Es por ello que se planteó como objetivo general: Determinar el efecto de la sustitución del 5%, 10% y 15% de cemento, por la combinación de relave minero en la elaboración de morteros de edificaciones de albañilería en Huaraz- 2017.

Para lograr los resultados esperados se planearon como objetivos específicos los siguientes: Activar mecánicamente el relave minero y analizar las características del mortero a elaborar; Elaborar probetas de concreto sustituidas con 0%, 5%, 10% y 15% de cemento por relave minero; determinar la resistencia de las probetas de concreto a los 7,

14 y 28 días; comparar la resistencia a la compresión de especímenes 5%, 10% y 15 % de sustitución en peso del cemento, por el relave minero a los 7,14 y 28 días de curado. Características De La Zona De Estudio

### **Ubicación y acceso**

Se encuentra ubicado en el departamento de Ancash, en la provincia de Recuay y distrito de Ticapampa a 26 km de Huaraz y con una altitud de 3450 msnm. Para esta investigación de tesis se tomó el relave minero de Ticapampa.

### **Topografía**

La topografía de la zona donde está ubicado este relave, es un terreno plano por estar a la misma altura que la urbanización de Ticapampa, por lo general presenta poca pendiente, la sierra peruana es muy variado de acuerdo a la ubicación del terreno, el terreno alejado a cierta distancia del relave minero presenta alta fertilidad para la agricultura y ganadería a la cual la población se dedica como principal sustento económico.

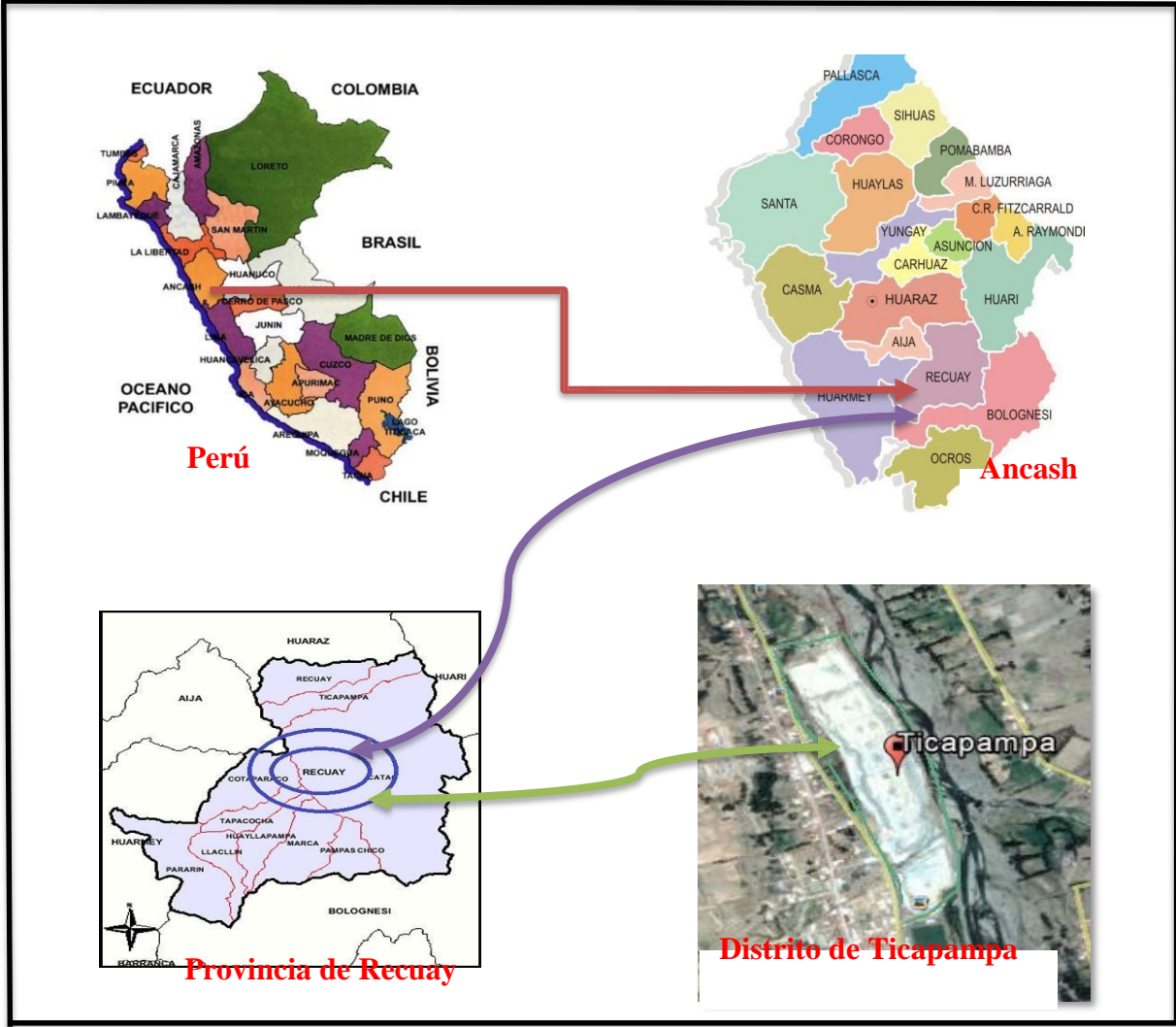


Figura 7: Mapa de Perú con departamento, provincia y distrito.

## II. MATERIAL Y MÉTODOS

### TIPO Y DISEÑO

#### TIPO DE INVESTIGACIÓN

1. Según el proceso: Aplicada, porque la investigación estuvo orientada a lograr un nuevo conocimiento destinado a procurar soluciones a fin de conocer el efecto de la sustitución del cemento en un 5, 10, y 15% por la combinación de relave minero en la elaboración de morteros de edificaciones de albañilería en Huaraz – 2017.
2. En coherencia con el fin de la ciencia: Explicativa porque los datos de la investigación fueron obtenidos por observación de fenómenos condicionados por el investigador. Se utilizó la experimentación.

#### DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Se utilizó un diseño *experimental del tipo en bloque al azar*, porque fue un proceso para estudiar el diseño convencional del mortero en comparación con el nuevo diseño elaborado con el remplazo o sustitución de un porcentaje de cemento por la combinación de relave minero, el estudio en su mayor parte se concentró en las pruebas realizadas en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, donde el investigador estuvo en contacto con los ensayos a realizar obteniendo resultados de acuerdo a lo planeado en sus objetivos.

#### POBLACIÓN Y MUESTRA

##### **Población**

Diseño de mortero con sustitución de cemento por relave minero en porcentajes de fracción determinado según los cálculos.

##### **Muestra**

Fueron 48 especímenes de mortero distribuido de la siguiente manera para cada porcentaje de sustitución:

12 especímenes de control (0% de sustitución, patrón)

12 especímenes experimentales (5 % de sustitución)

12 especímenes experimentales (10 % de sustitución)

12 especímenes experimentales (15% de sustitución)

## TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

Técnicas de recolección de información	Instrumento
Observación Científica	Guía de observación y Resumen. Fichas Técnicas de las pruebas a realizar en el laboratorio de suelos y concreto.

Para esto utilizamos como instrumento una guía de observación para registrar las resistencias de los cubos de mortero y fichas de laboratorio para los diversos ensayos de resistencia a la compresión.

## PROCESO Y ANÁLISIS DE DATOS

Una vez recolectada la información mediante el método de la experimentación se procedió a procesar los datos con el programa Excel.

Para el análisis de los datos se aplicaron los métodos estadísticos descriptivos para la presentación, descripción, análisis e interpretación de datos obtenidos en la observación por cada indicador ensayado. Los datos son presentados en tablas y figuras.

### III. RESULTADOS

#### 3.1 RESULTADO DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE LOS MATERIALES DE AGREGADO FINO Y RELAVE MINERO

Resultados de los ensayos de materiales (ver anexo 2)

**a) Cemento portland**

Tipo	sol
P. específico	3.11

**b) Agua**

Tipo	potable
------	---------

**c) Agregado fino**

Peso específico de masa	2.65
Peso unitario suelto(seco)	1519 kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado(seco)	1784 kg/m <sup>3</sup>
Contenido de humedad	5.88 %
Absorción	1.14 %
Módulo de fineza	2.66

#### 3.2 DISEÑO DE MORTERO A UNA RESISTENCIA FC= 100 KG/CM<sup>2</sup>

Previos cálculos para el diseño de mortero:(ver anexo 3)

#### **DISEÑO DE MORTERO FC = 100 KG/CM<sup>2</sup>**

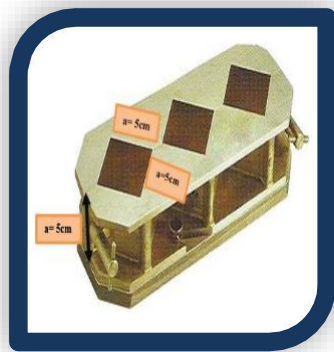
**TESIS:** “EFECTO DE LA SUSTITUCIÓN DEL 5%, 10% Y 15% DE CEMENTO, POR LA COMBINACIÓN DE RELAVE MINERO EN LA ELABORACIÓN DE MORTEROS DE EDIFICACIONES DE ALBAÑILERÍA EN HUARAZ- 2017”

**CANTERA:** “Tacllan”

**MATERIAL:** “Agregado fino”

**FECHA:** 01/03/2017





	Medida	Und.	Medida	Unidad
<b>L=a</b>	2	Pul.	5	cm
<b>L=a</b>	2	Pul.	5	cm
<b>H=a</b>	2	Pul.	5	cm

<b>1"</b>	≡	2.5	cm
-----------	---	-----	----

<b>Volumen</b>	<b>125.00</b>	<b>cm3</b>
<b>Volumen</b>	<b>0.000125</b>	<b>m3</b>

$$\square = \square * \square * \square$$

MATERIALES PARA EL MOLDE  
DE ENSAYO

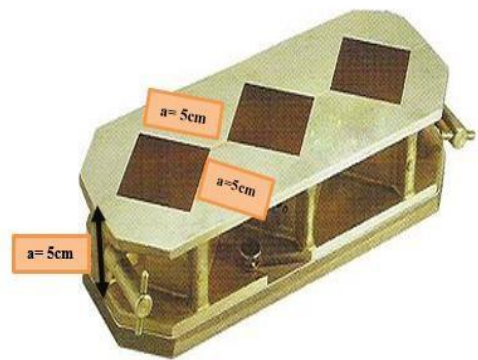
Materiales	Proporción Final	Und.
<b>CEMENTO</b>	2.50	Kg
<b>AGUA DE MEZCLADO</b>	1.63	LTS
<b>AG. FINO</b>	10.03	Kg

### 3.3 CANTIDADES DE MATERIALES PARA CADA DOSIFICACIÓN

#### 3.3.1 MATERIALES PARA UTILIZAR EN EL PATRÓN

La Cantidad De Materiales Es Para 12 Especímenes

LADO= a (m)	0.05
LADO= a (m)	0.05
Altura= a (m)	0.05
% Desperdicio	10%
Nº ESPECIMENES	12
Volumen (m3)	0.000125



#### Molde Para Ensayo De Especímenes

MATERIALES	PROPORCIONES FINALES	UNIDADES	Nº	TOTAL
CEMENTO	0.052	Kg	12	0.624
AGUA DE MEZCLADO	0.034	Lts	12	0.408
AG. FINO	0.209	Kg	12	2.506

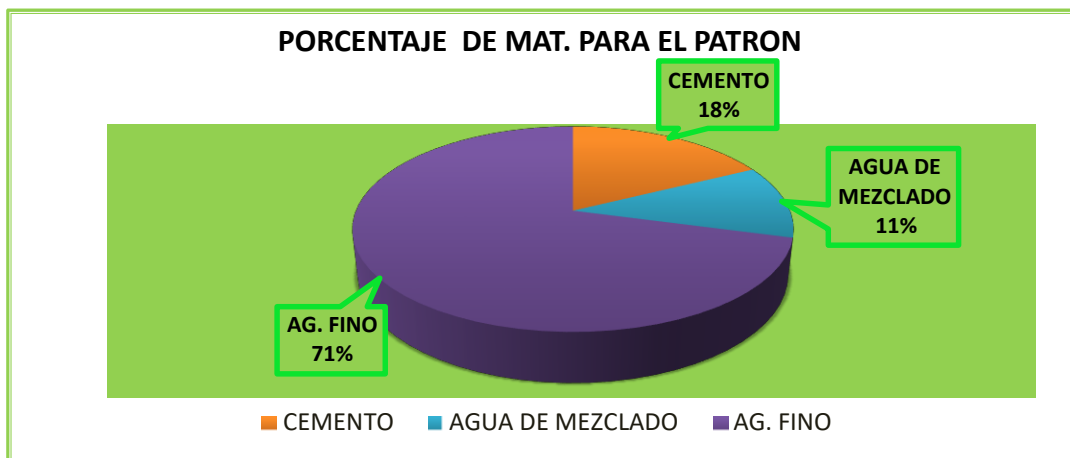


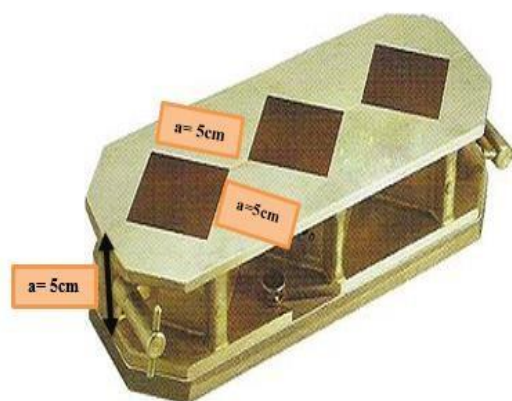
Figura 8: Porcentaje de materiales para el patrón.

### 3.3.2 MATERIALES A UTILIZAR EN LA SUSTITUCIÓN DE 5% DE RELAVE MINERO “TICAPAMPA” POR EL CEMENTO

La Cantidad De Materiales Es Para 12 Especímenes

#### Molde para ensayo de especímenes

LADO= a(m)	0.05
LADO= a(m)	0.05
ALTURA= a(m)	0.05
% Desperdicio	10.00%
N° Probetas	12.00
Volumen (m3)	0.000125



MATERIALES	PROPORCIONES FINALES	UNIDADES	N°	TOTAL
CEMENTO	0.049	Kg	12	0.593
AGUA DE MEZCLADO	0.034	Lts.	12	0.408
AG. FINO	0.209	Kg	12	2.506
RELAVE MINERO	0.003	Kg	12	0.031

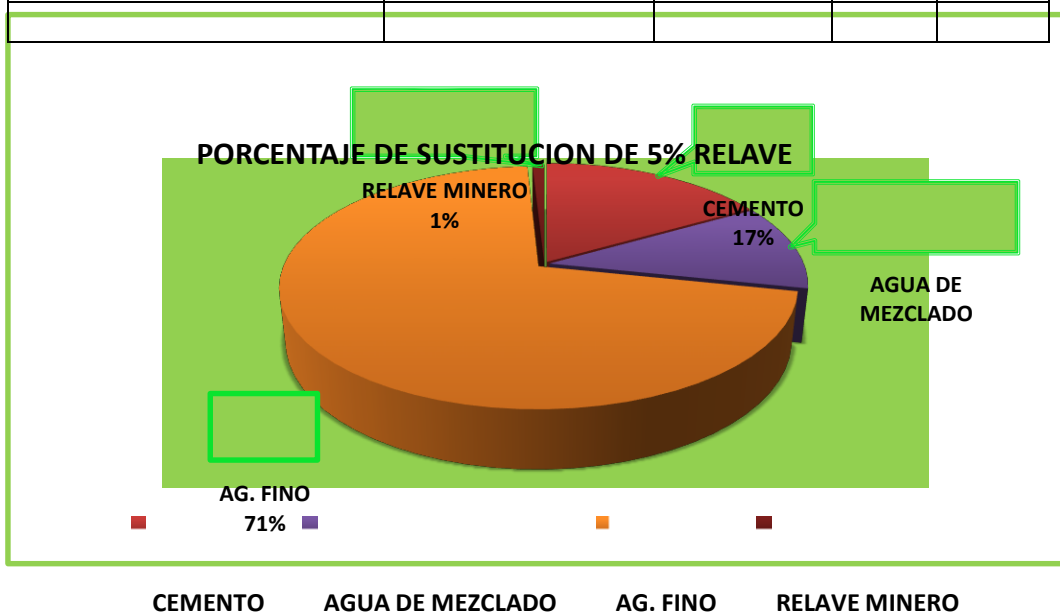
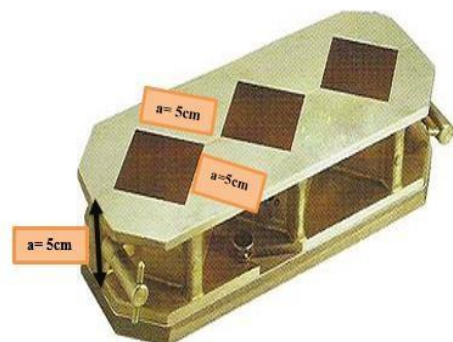


Figura 9: Porcentaje de sustitución de 5% de relave minero

### 3.3.3 MATERIALES A UTILIZAR EN LA SUSTITUCIÓN DE 10% DE RELAVE MINERO MINERO “TICAPAMPA” POR CEMENTO

La Cantidad De Materiales Es Para 12 Especímenes

LADO= a(m)	0.05
LADO= a(m)	0.05
ALTURA= a(m)	0.05
% Desperdicio	10.00%
Nº Probetas	12.00
Molde para ensayo de especímenes	
volumen (m <sup>3</sup> )	0.000125



MATERIALES	PROPORCIONES FINALES	UNIDADES	Nº	TOTAL
CEMENTO	0.047	Kg	12	0.562
AGUA DE MEZCLADO	0.034	Lts	12	0.408
AG. FINO	0.209	Kg	12	2.506
RELAVE MINERO	0.005	Kg	12	0.062

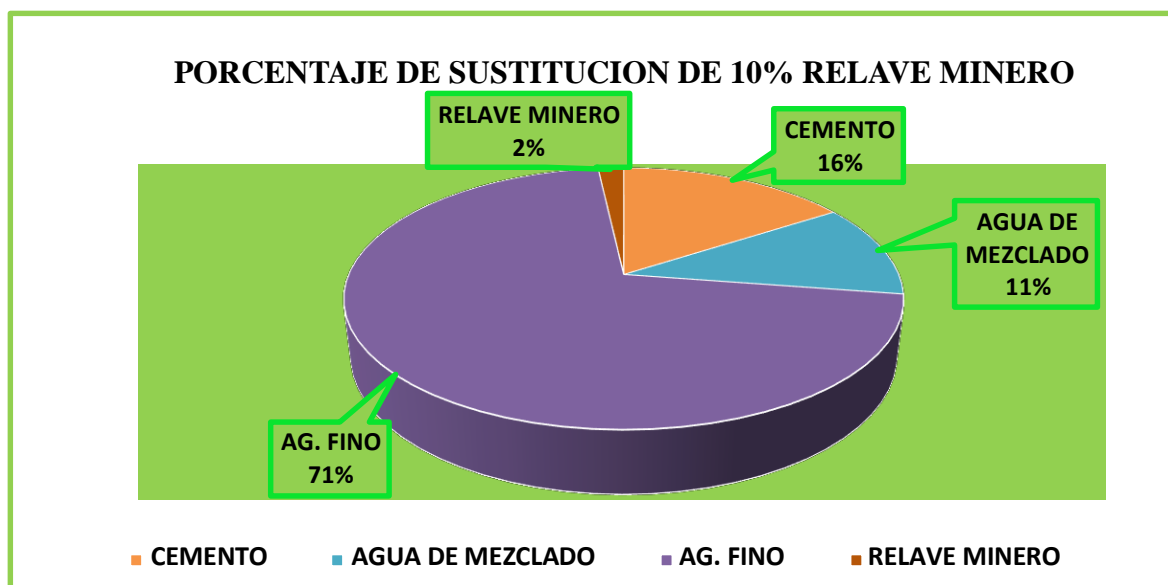
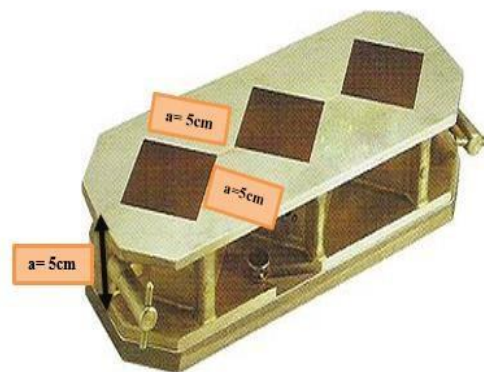


Figura 10: Porcentaje de sustitución de 10% de relave minero.

### 3.3.4 MATERIALES A UTILIZAR EN LA SUSTITUCIÓN DE 15 % DE RELAVE MINERO “TICAPAMPA” POR CEMENTO

La Cantidad De Materiales Es Para 12 Especímenes



LADO= a(m)	0.05
LADO= a(m)	0.05
ALTURA= a(m)	0.05
% Desperdicio	10.00%
Nº Probetas	12.00
Molde para ensayo de especímenes	
Volumen (m3)	0.000125

MATERIALES	PROPORCIONES FINALES	UNIDADES	Nº	TOTAL
CEMENTO	0.044	Kg	12	0.530
AGUA DE MEZCLADO	0.034	Lts	12	0.408
AG. FINO	0.209	Kg	12	2.506
RELAVE MINERO	0.008	Kg	12	0.094

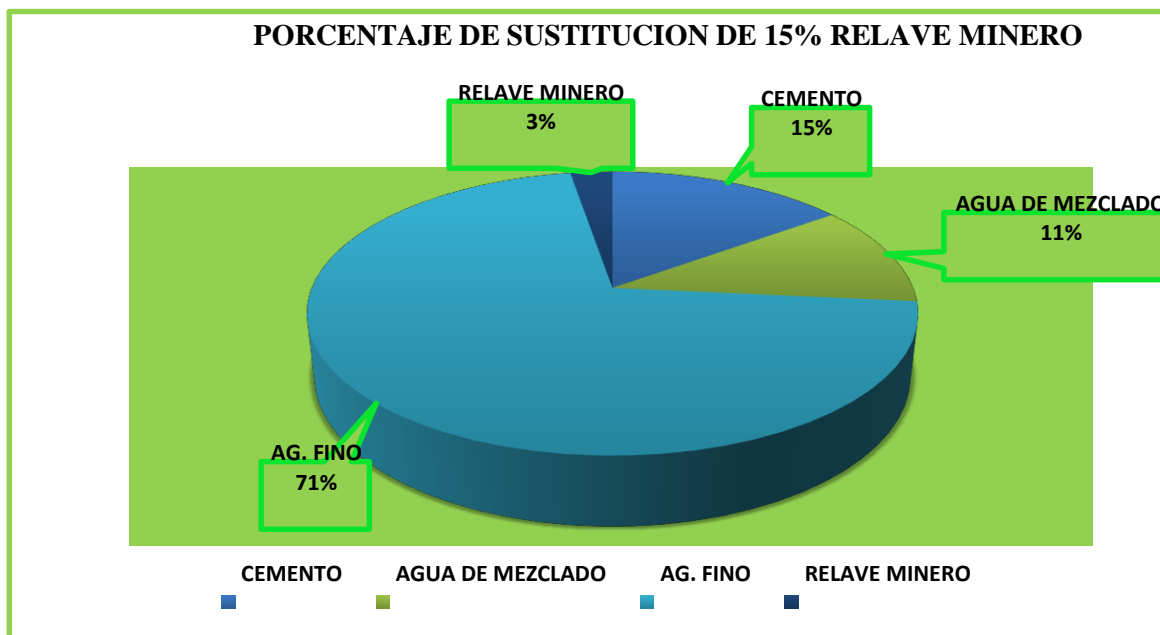


Figura 11: Porcentaje de sustitución de 15% de relave minero.

### 3.4 RESUMEN DE TODO LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL MORTERO FC = 100 KG/CM2

- Después de haber culminado con los ensayos planificados en seguida se tendrá un cuadro de resumen general de todos los ensayos (anexo 4)

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL MORTERO F'c=100 Kg/cm2	
<b>SOLICITA</b>	: Bach. Namuche Colonia Franklin G. “EFECTO DE LA SUSTITUCIÓN DEL 5%, 10% Y 15% DE CEMENTO, POR LA COMBINACIÓN DE RELAVE MINERO EN LA
<b>TESIS</b>	: ELABORACIÓN DE MORTEROS DE EDIFICACIONES DE ALBAÑILERÍA EN HUARAZ- 2017”
<b>LUGAR</b>	: Laboratorio Ensayos de Materiales USP.
<b>FECHA</b>	: 09/03/2017
<b>F'c</b>	: 100 Kg/cm2

	Medida	Und.
a	5	cm
a	5	cm

$$\square = a \times a$$

1"	=	2.5	Cm
----	---	-----	----

Área=	25.00	cm2
-------	-------	-----

#### 1°- VALORES DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SEGÚN LA EDAD

Tabla 7: Resistencia a la compresión según días de curado.

DISEÑO DE MORTERO	CONCRETO PATRÓN				RELAVE 5% DE REEMPLAZO DE CEMENTO				RELAVE 10% DE REEMPLAZO DE CEMENTO				RELAVE 15% DE REEMPLAZO DE CEMENTO				
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	7	10930	8290	4060	8930	3150	5060	5540	4390	4680	6250	4220	2100	6710	5620	7460	5720
<b>EDAD</b>	<b>14</b>	8140	10840	9580	7900	5780	7400	6630	6390	7590	6370	6780	8160	7350	6890	7400	6050
	<b>28</b>	11020	9460	8880	7950	7030	7420	8980	5790	9860	8230	7570	8540	9750	9900	9960	7810

## 2°- RESISTENCIA DE COMPRESIÓN PARA 7 DIAS DE CURADO

Tabla 8: Resistencia a la compresión para siete días de curado

DESCRIPCIÓN		CARGA (Lib)	CARGA (Kg.)	Área (Cm2)	F'c =P/A (Kg/Cm2)	Resistencia en (%)
CONCRETO PATRÓN	I	10930	4958	25	198.31	<b>198%</b>
	II	8290	3760	25	150.41	<b>150%</b>
	III	4060	1842	25	73.66	<b>74%</b>
	IV	8930	4051	25	162.02	<b>162%</b>
CONCRETO CON 5% RELAVE	V	3150	1429	25	57.15	<b>57%</b>
	VI	5060	2295	25	91.81	<b>92%</b>
	VII	5540	2513	25	100.52	<b>101%</b>
	VIII	4390	1991	25	79.65	<b>80%</b>
CONCRETO CON 10% RELAVE	IX	4680	2123	25	84.91	<b>85%</b>
	X	6250	2835	25	113.40	<b>113%</b>
	XI	4220	1914	25	76.57	<b>77%</b>
	XII	2100	953	25	38.10	<b>38%</b>
CONCRETO CON 15% RELAVE	XIII	6710	3044	25	121.74	<b>122%</b>
	XIV	5620	2549	25	101.97	<b>102%</b>
	XV	7460	3384	25	135.35	<b>135%</b>
	XVI	5720	2595	25	103.78	<b>104%</b>

## 3°- RESISTENCIA DE COMPRESIÓN PARA 14 DIAS DE CURADO

Tabla 9: Resistencia a la compresión para 14 días de curado.

DESCRIPCIÓN		CARGA (Lib)	CARGA (Kg.)	Área (Cm2)	F'c =P/A (Kg/Cm2)	Resistencia en (%)
CONCRETO PATRÓN	I	8140	3692	25	147.69	<b>148%</b>
	II	10840	4917	25	196.68	<b>197%</b>
	III	9580	4345	25	173.82	<b>174%</b>
	IV	7900	3583	25	143.34	<b>143%</b>
CONCRETO CON 5% RELAVE	V	5780	2622	25	104.87	<b>105%</b>
	VI	7400	3357	25	134.26	<b>134%</b>
	VII	6630	3007	25	120.29	<b>120%</b>
	VIII	6390	2898	25	115.94	<b>116%</b>
CONCRETO CON 10% RELAVE	IX	7590	3443	25	137.71	<b>138%</b>
	X	6370	2889	25	115.58	<b>116%</b>
	XI	6780	3075	25	123.01	<b>123%</b>
	XII	8160	3701	25	148.05	<b>148%</b>
CONCRETO CON 15% RELAVE	XIII	7350	3334	25	133.36	<b>133%</b>
	XIV	6890	3125	25	125.01	<b>125%</b>
	XV	7400	3357	25	134.26	<b>134%</b>
	XVI	6050	2744	25	109.77	<b>110%</b>

#### 4°- RESISTENCIA DE COMPRESIÓN PARA 28 DÍAS DE CURADO

Tabla 10: Resistencia a la compresión para 28 días de curado

DESCRIPCIÓN		CARGA (Lib)	CARGA (Kg.)	Área (Cm2)	F'c =P/A (Kg/Cm2)	Resistencia en (%)
CONCRETO PATRÓN	I	11020	4999	25	199.94	200%
	II	9460	4291	25	171.64	172%
	III	8880	4028	25	161.12	161%
	IV	7950	3606	25	144.24	144%
CONCRETO CON 5% RELAVE	V	7030	3189	25	127.55	128%
	VI	7420	3366	25	134.63	135%
	VII	8980	4073	25	162.93	163%
	VIII	5790	2626	25	105.05	105%
CONCRETO CON 10% RELAVE	IX	9860	4472	25	178.90	179%
	X	8230	3733	25	149.32	149%
	XI	7570	3434	25	137.35	137%
	XII	8540	3874	25	154.95	155%
CONCRETO CON 15% RELAVE	XIII	9750	4423	25	176.90	177%
	XIV	9900	4491	25	179.62	180%
	XV	9960	4518	25	180.71	181%
	XVI	7810	3543	25	141.70	142%

### 3.5 DATOS ESTADÍSTICOS

En la siguiente tabla se detalla la resistencia y el porcentaje para cada ensayo. En el grafico se puede apreciar la forma estadística como fue comportamiento de la resistencia para cada periodo de curado.

Tabla 11: Resistencia Promedio por tipo de ensayo y por edad.

DISEÑO DE MORTE- RO	RELAVE 5 % DE		RELAVE 10 % DE		RELAVE 15% DE				
	CONCRETO	PATRÓN	REEMPLAZO DE	REEMPLAZO DE	REEMPLAZO DE	REEMPLAZO DE			
DESCRIPC IÓN	RESISTE NCIA F'C (Kg/cm2)	PORCEN TAJE (%)	RESISTE NCIA F'C (Kg/cm2)	PORCEN TAJE (%)	RESISTE NCIA F'C (Kg/cm2)	PORCEN TAJE (%)	RESISTE NCIA F'C (Kg/cm2)	PORCEN TAJE (%)	
Edad (días)	0	0.00	0%	0.00	0%	0.00	0%	0.00	0%
	7	146.10	146%	82.28	82%	78.24	78%	115.71	116%
	14	165.40	165%	118.84	119%	131.09	131%	125.60	126%
	28	169.24	169%	132.54	133%	155.13	155%	169.73	170%



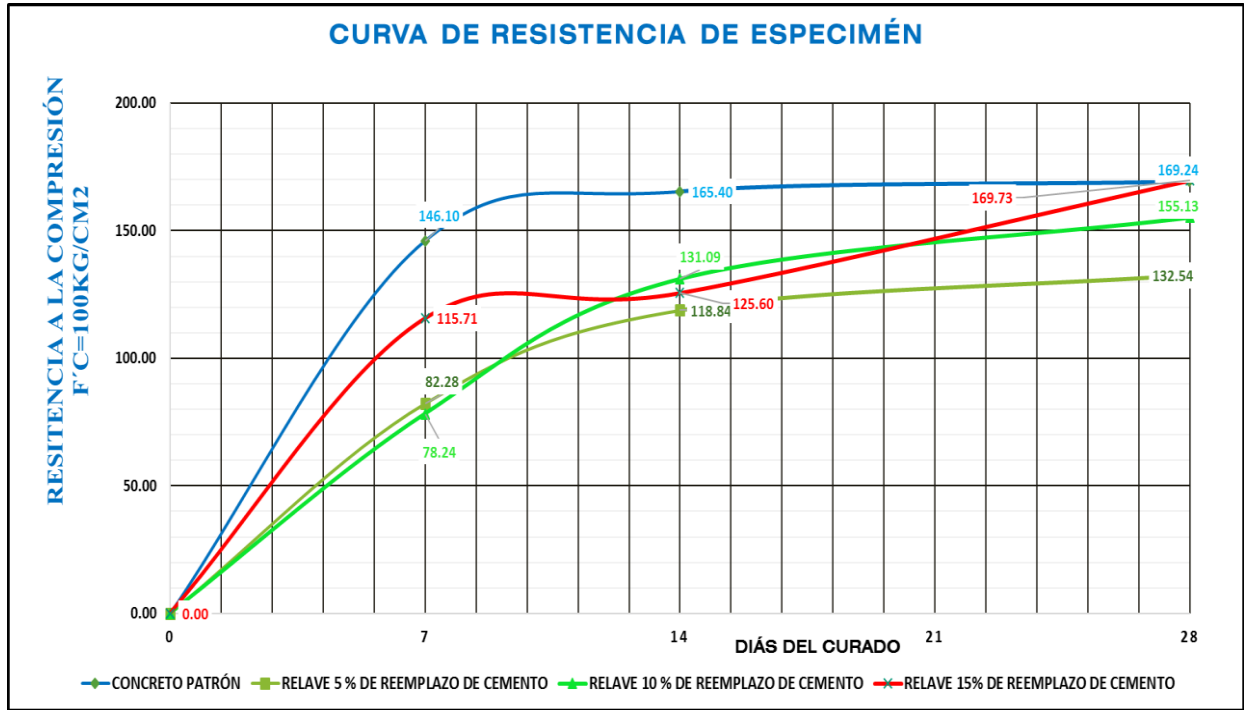


Figura 12: Curva de Resistencia de espécimen

Tabla 12: Resistencias a la compresión de probetas de concreto con un porcentaje de cemento sustituido por relave minero, según días de curado

Días de curado	Resistencia de probeta con porcentaje de sustitución de cemento por relave minero.			
	0%	10%	20%	30%
7	146,10	82,28	78,25	115,71
14	165,40	118,84	131,09	125,60
28	169,24	132,54	155,13	169,73

Fuente: Resultados de los ensayos del laboratorio de la USP

En la tabla 12, se puede apreciar que las resistencias a la compresión de las probetas de concreto son mayores a los 28 días de curado.

Después de verificar el cumplimiento de los supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk con  $p > 0.05$  para todas las muestras) y homogeneidad de varianzas (Contraste de Levene con  $p > 0.05$ ) de las probetas de concreto para cada tratamiento (sustitución de un porcentaje de cemento por relave minero) se procedió a realizar la prueba ANOVA.

Tabla 13: Cálculo de la prueba ANOVA para verificar las diferencias entre las medias de las resistencias a la compresión de los cubos de concreto.

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig
Sustitución	4092,918	3	1364,306	7,160	,021
Días de curado	5262,357	2	2631,178	13,808	,006
Error	1143,322	6	190,554		
Total	221149,748	11			

Fuente: Resultados de los ensayos del laboratorio de la USP

En la tabla 13 se puede visualizar que para la sustitución el  $p\text{-value} < \alpha$  ( $p=0.021$ ,  $p < 0.05$ ) entonces podemos decir que los datos muestran suficientes evidencias para rechazar la hipótesis nula. Por lo que podemos concluir que con nivel de 5% de significancia las resistencias medias en  $\text{kg/cm}^2$  logradas en las probetas de concreto, con sustitución del cemento en 0%, 5%, 10% y 15% por relave minero, no son iguales. Es decir, existe una diferencia significativa entre las resistencias medias de las probetas de concreto.

También se tienen que para los días de curado  $p\text{-value} < \alpha$  ( $p=0.006$ ,  $p < 0.05$ ) entonces podemos decir que las resistencias medias de las probetas de concretos son diferentes a consecuencia de los días de curado.

Tabla 14: Calculo de la prueba de Duncan para verificar cuál de las resistencia a la compresión de las probetas de concreto es diferente.

Sustitución	Subconjunto para $\alpha = 0,05$	
	1	2
T 5% Sustit.	111,2200	
T 10% Sustit.	121,4900	
T 15% Sustit.	137,0133	137,0133
T 0% Sustit.		160,2467

Fuente: Resultados de los ensayos del laboratorio de la USP

T 0%	de sustitución	160,2467	-----	a
T 15%	de sustitución	137,0133	-----	a
T 10%	de sustitución	121,4900	-----	b
T 5%	de sustitución	111,2200	-----	b

En la tabla 14 y, después de realizar la prueba de Duncan podemos apreciar que las probetas de concreto que tiene mayor resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>) es la que se no se sustituye el cemento por relave minero (patrón) y a su vez esta es significativamente igual a la resistencia cuando se sustituye el cemento en un 15% por relave minero, y la que registra menor resistencia es cuando se sustituye al cemento con un 10% y 5% de relave minero.

#### IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

##### A) COMPOSICIÓN DEL CEMENTO

Cemento Portland

COMPOSICIÓN QUÍMICA	RESULTADOS (%)
calcio	64
Silicio	21
aluminio	5.5
Hierro	4.5
magnesio	2.4
sulfatos	1.6
otros materiales	1

##### B) RESULTADO DEL ENSAYOS DE ROTURA DE ESPECIMEN

Tabla 15: Ensayo de rotura a los 7 días de curado.

DESCRIPCIÓN	PATRON	SUSTITUCIÓN 5	SUSTITUCIÓN 10 %	SUSTITUCIÓN 15	
		%	%	%	
7 DIAS	I	198.31	57.15	84.91	121.74
	II	150.41	91.81	113.40	101.97
	III	73.66	100.52	76.57	135.35
	IV	162.02	79.65	38.10	103.78

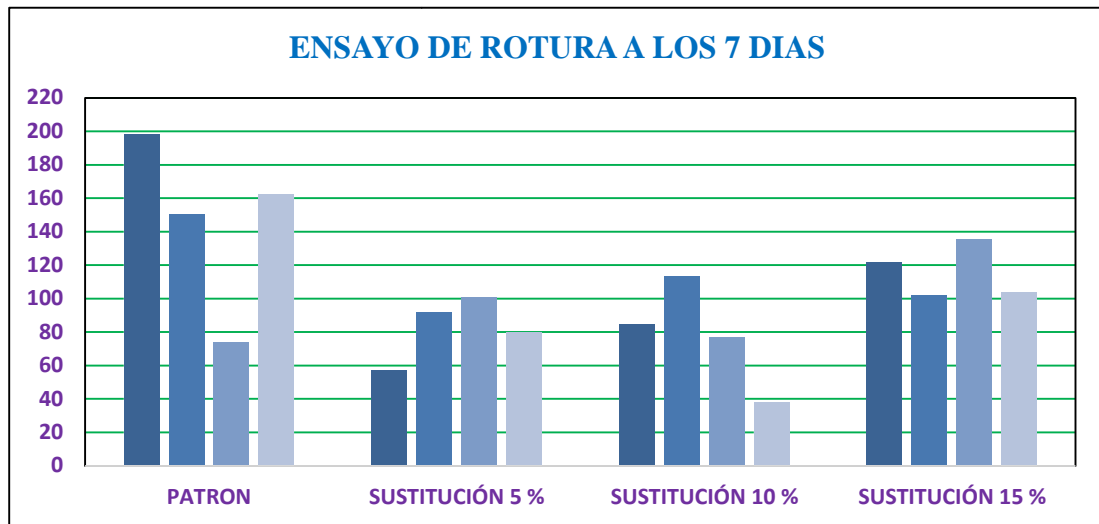


Figura 13: Ensayo de rotura a los siete días de curado

Tabla 16: Resumen del promedio a los 7 días curado.

PROMEDIO DE RESISTENCIA EN KG/CM <sup>2</sup>					
DIAS DE CUR.	DISEÑO	PATRON	SUST. 5%	SUST. 10%	SUST. 15%
7	100	146	82	78	116

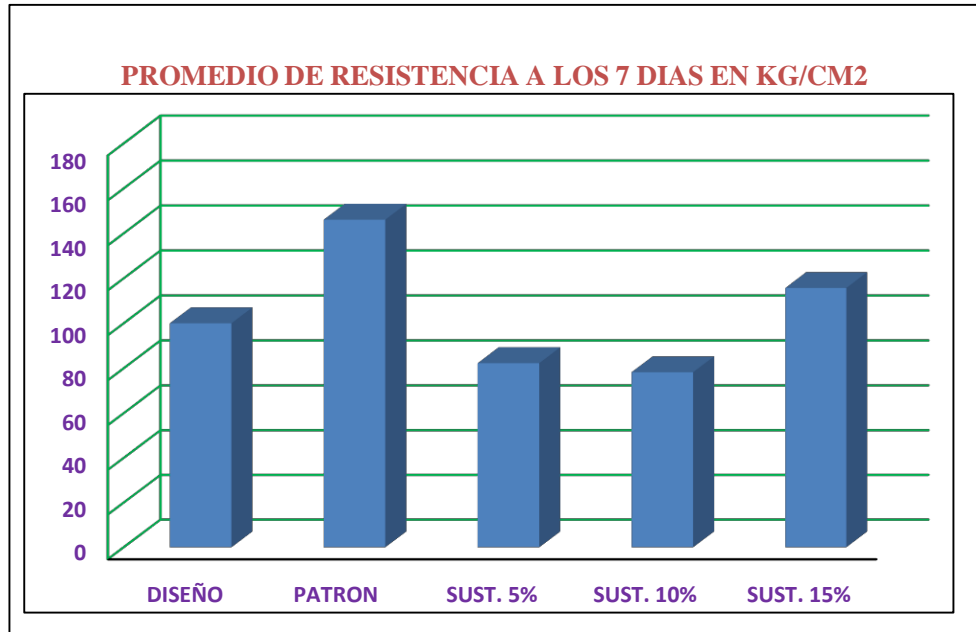


Figura 14: Resistencia promedio a los siete días de curado

En la figura mostrada podemos observar la resistencia obtenida a los 7 días de curado del patrón y de la sustitución de relave minero en fracción de 5%, 10% y 15% del cemento del volumen total, podemos concluir que la sustitución de 15% de fracción de relave minero a los 7 días, se obtiene una resistencia más próxima a la del patrón, superando el valor del diseño a los 7 días de ensayo.

Tanto el patrón y la sustitución de 15 % a los 7 días superan la resistencia del diseño de mortero, se observa con la sustitución en fracción de 5% y 10% se alcanza una resistencia de 80 % del diseño, que son valores favorables.

En la tabla 16 podemos diferenciar los valores obtenidos a los 7 días de curado respecto a la resistencia del diseño con el cual fue realizado el ensayo de compresión.

Tabla 17: Ensayo de rotura a los 14 días de curado.

DESCRIPCION	PATRON	SUSTITUCIÓN	SUSTITUCIÓN 10	SUSTITUCIÓN 15	
		5 %	%	%	
14 DIAS	V	147.6	104.87	137.71	133.36
	VI	196.8	134.26	115.58	125.01
	VII	174	120.29	123.01	134.26
	VIII	143.2	115.94	148.05	109.77

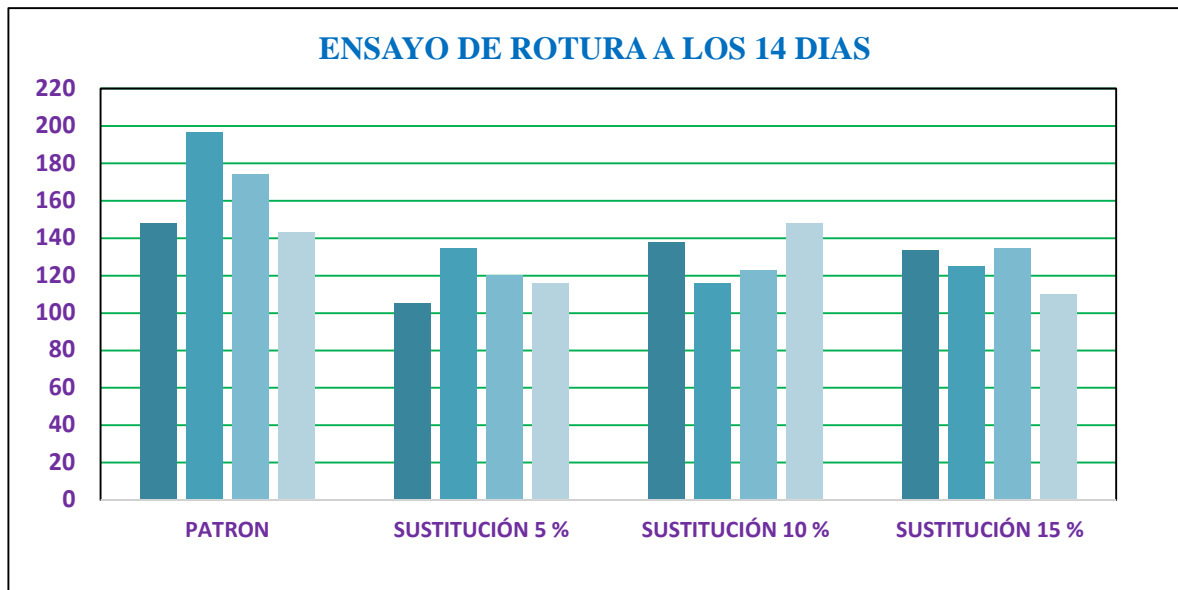


Figura 15: Ensayo de rotura a los 14 días.

Tabla 18: Promedio de resistencias a los 14 días de curado.

PROMEDIO DE RESISTENCIA EN KG/CM2					
DIAS DE CUR.	DISEÑO	PATRON	SUST. 5%	SUST. 10%	SUST. 15%
14	100	165	119	131	126

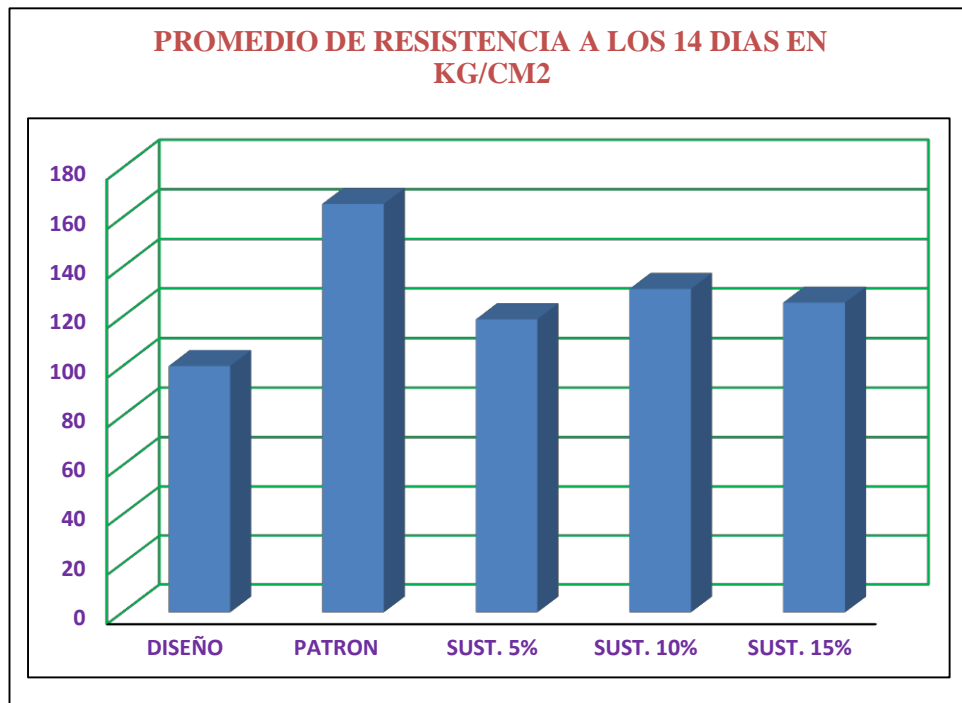


Figura 16: Resistencia a los 14 días de curado.

Se observa que la resistencia a los 14 días de curado, el patrón lleva ventaja a las sustituciones de relave minero en fracción de 5%, 10% y 15% del cemento, se observa que la resistencia a los 14 días hay una ligera variación en la sustitución de 10% que obtiene un valor más cercano al patrón a comparación de las demás sustituciones que también obtienen valores que superan al diseño.

Con más detalle se puede verificar dichos valores en la tabla 18 donde se hace una ligera comparación teniendo como base la resistencia del diseño que nos sirve para diferenciar cada valor obtenido de las sustituciones 5%, 10% y 15% en cantidad de fracción de relave minero por el cemento del volumen total.

Tabla 19: Ensayo de rotura a los 28 días de curado

DESCRIPCION	PATRON	SUSTITUCIÓN			
		5 %	10 %	15 %	
28 DIAS	IX	199.94	127.55	178.90	176.90
	X	171.64	134.63	149.32	179.62
	XI	161.12	162.93	137.35	180.71
	XII	144.24	105.05	154.95	141.70

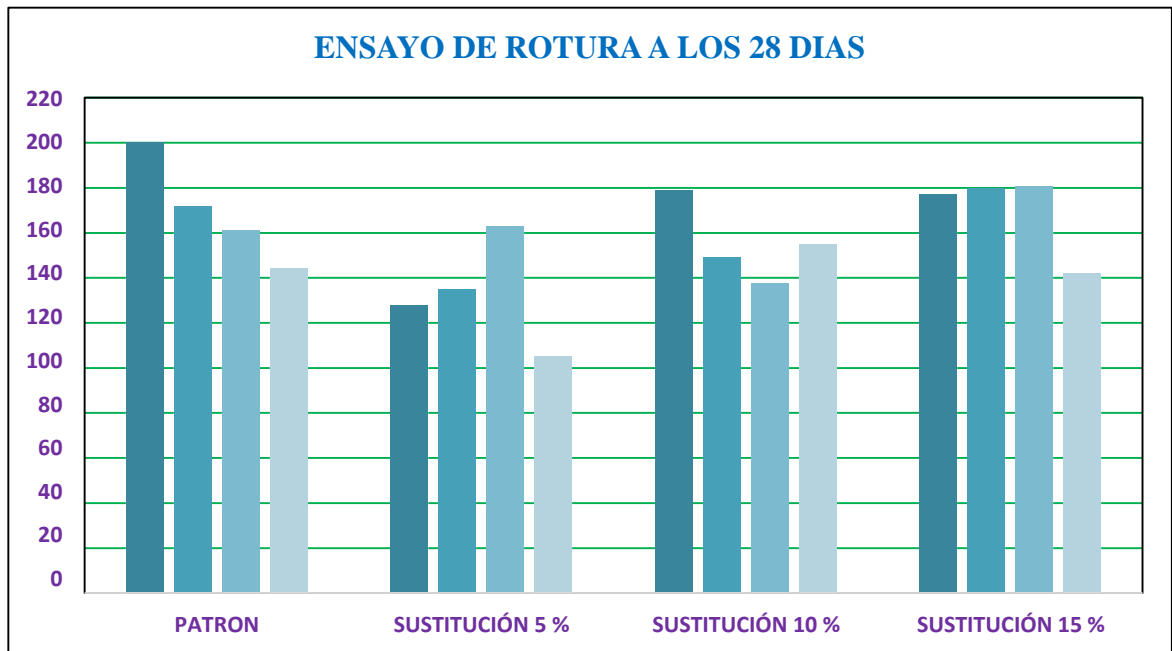


Figura 17: Ensayo de rotura a los 28 días.

Tabla 20: Resistencia promedio a los 28 días de curado.

DIAS DE CURADO	PROMEDIO DE RESISTENCIA EN KG/CM2				
	DISEÑO	PATRON	SUST. 5%	SUST. 10%	SUST. 15%
28	100	169	133	155	170



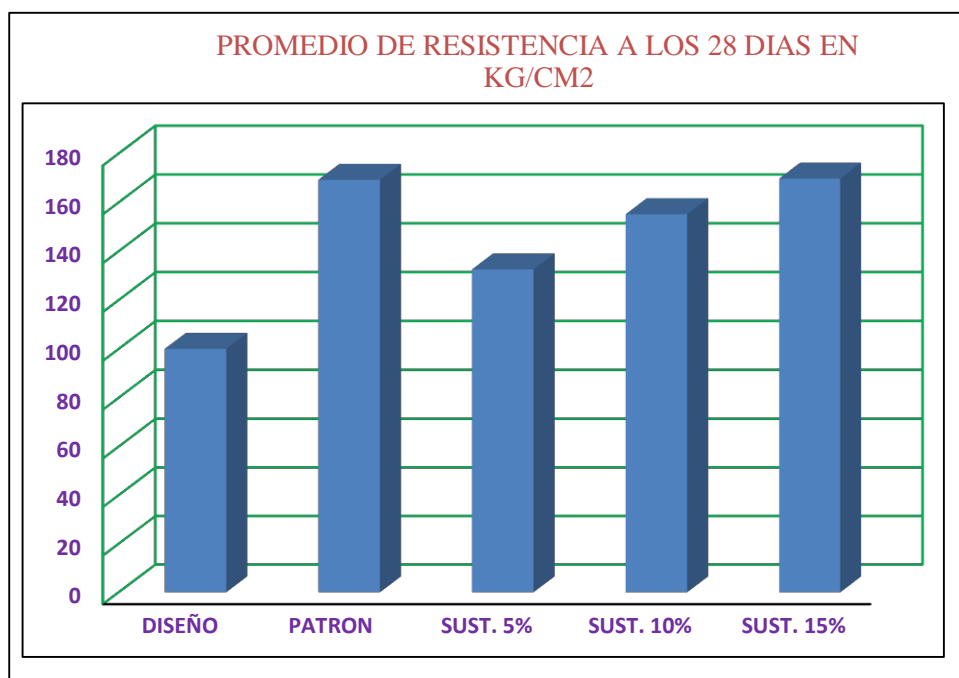


Figura 18: Resistencia promedio a los 28 días de curado.

A los 28 días de curado la resistencia del patrón y de la sustitución de relave en 15% de cemento se obtiene el mismo valor, a diferencia en las sustituciones de 5 % y 10% a los 28 días de curado se alcanza una resistencia mejor que a los 14 días superando la resistencia de diseño, pero siendo inferior al patrón y a la sustitución de 15%.

Las sustituciones de 5%, 10% y 15% superan la resistencia de  $F'c = 100 \text{ kg/cm}^2$  lo que significa que al manejar estos porcentajes de sustitución de relave en fracción de porcentaje del cemento no afecta la resistencia del mortero de albañilería.

El efecto de compresión en casos puntuales no fue gradual, para ciertos valores que escapaban de la línea de tendencia, es por eso que podemos observar que hay una ligera variación en la resistencia.

En la tabla 20 se puede diferenciar dichos valores mencionados con más precisión y claridad.

Coincidimos con lo expresado por Romero (2006), que tuvo como objetivo formular y proponer una alternativa de solución a la problemática ambiental nacional y crítica, mediante la aplicación de un valor agregado de manera directa al relave minero, que permita la utilización de este bajo la forma de agregado de construcción para la fabricación de ladrillos y baldosas. En este sentido, los resultados indican que es posible utilizar el relave minero para la elaboración de morteros de edificaciones porque superan los porcentajes de resistencia. Asimismo, según lo indica Romero (2006), la calidad del agregado de construcción, mediante diversas pruebas se estableció que el producto final, que es el agregado de construcción obtenido a partir de los relaves mineros polimetálicos, no es contaminante.

No se ha podido establecer procesos constructivos, sin embargo, es importante tener en cuenta lo indicado por Palomino (2012) durante todo el proceso de operación del depósito de relaves para la construcción se deberá monitorear la densidad y humedad de compactación, espesor de capa compactada y granulometría de los relaves depositados. Este control será como mínimo de cuatro controles semanales. Las capas luego de compactadas deberán tener una pendiente uniforme de 2%, en dirección hacia aguas abajo a fin de que se pueda utilizar el relave minero en el proceso constructivo.

Un antecedente muy importante es el de Anicama (2010), quien buscó, a través de un grupo de 3 muestras de relave minero, verificar a través de ensayos experimentales la factibilidad del uso de los mismos en concreto. Proponer aplicaciones prácticas para el concreto encontrado; que puedan usarse en poblaciones cercanas a las operaciones mineras. Coincidimos con él cuando indica que una de las principales características de los diseños obtenidos fue su simplicidad. Al plantear diseños que no usaron tantos aditivos, ni combinaciones de agregados difíciles de obtener, aseguramos que puedan realizarse y adaptarse en cualquier parte de nuestro país. Efectivamente, en la presente investigación sólo se realizó el reemplazo porcentual del cemento por relave minero.

Los relaves en las proporciones trabajadas no incorporan contenido de aire significativo a las mezclas de concreto. Los relaves en las proporciones trabajadas no hacen variar significativamente el SLUMP del concreto.

Según Anicama (2010), con respecto al relave escogido Andaychagua, éste presentó características químicas en el límite por lo especificado en la norma NTP 400.037

para sales solubles totales y sulfatos solubles, luego para obtener resistencias altas los relaves no deben usarse como relleno volumétrico en grandes cantidades ya que podrían atacar la estructura interna del concreto haciendo que el concreto se fisure y esponga al acero de refuerzo. Este aspecto no fue estudiado en la presente tesis, sin embargo, será necesario realizar dichos estudios.

Anicama (2010) concluye que las adiciones de relave en proporciones menores a 5% no afectarán las características físicas principales de los concretos convencionales. Siendo los resultados de la presente investigación que el 15% de reemplazo mejora la resistencia, será necesario realizar estudios respecto a las características físicas del mortero.

Coincidimos con Barreda, Aguilar & Cueva (2012), que realizaron el desarrollo de un prototipo para la fabricación de ladrillos de construcción a partir de la utilización de relaves mineros del proceso de cianuración en plantas minero-artesanales; ellos indican que el desarrollo del proyecto permite la aplicación y difusión de conocimientos y técnicas que actualmente se utilizan en otros países, permitiendo así la disminución de relaves (desechos) mediante la fabricación de un producto. Es justamente la orientación del presente estudio, la búsqueda de técnicas que permitan la disminución de los relaves mineros buscándoles una utilidad.

Igualmente, se coincide con Romero & Flores (2011) que estudian dar una aplicación en la industria de la construcción a los relaves mineros.

Discrepamos con los resultados de Pedrozo & Tuya (2016), que estudiaron la resistencia a compresión del concreto usando el relave minero Huinac en porcentajes de 0 %, 5%, 10% y 15 % al sustituir el cemento, a través de ensayos experimentales para verificar su factibilidad de uso en la elaboración del concreto. Ellos indican que las composiciones químicas del relave minero de la Mina Huinac, contienen alto porcentaje de silicio en un 43.00% y Hierro en un 36.12 %, lo que permitirá que el concreto pueda deteriorarse prematuramente. Indican además que el concreto sustituido 5% de relave minero, presenta características con mejor resultados de las 2 sustituciones de relave minero, para lo cual podrían ser aprovechadas para concreto estructural, no obstante, se debe estudiar efectos a largo plazo que tienen los relaves dentro del concreto. Lo que difiere con los resultados obtenidos por la presente investigación, que indican que la sustitución del 15% nos da mejor un mortero con mayor resistencia a la convencional.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES:

Se determinó el efecto de la sustitución del 5%, 10% y 15% de cemento, por la combinación de relave minero en la elaboración de morteros de edificaciones de albañilería en Huaraz - 2017, a los 28 días de curado, una sustitución del 5% tiene una resistencia promedio de 133%, con la sustitución del 10% tiene una resistencia promedio de 155% y con la sustitución del 15% alcanza una resistencia de 170%, comparado con el 169% del patrón.

Se activaron mecánicamente las muestras del relave minero y se analizaron las características del mortero a elaborar, lo que se corrobora con la presentación de resultados obtenidos y se muestra fotográficamente en anexos.

Se elaboraron las probetas de concreto sustituidas con 0%, 5%, 10% y 15% de cemento por relave minero, lo que puede ser verificado en anexos.

A los siete días se determinó la resistencia de las probetas de concreto, obteniéndose 82, 78 y 115 Kg/cm<sup>2</sup> con reemplazo del cemento de 5, 10 y 15% respectivamente; a los 14 días se determinó la resistencia de las probetas de concreto, obteniéndose 118, 131 y 125 Kg/cm<sup>2</sup> con reemplazo del cemento de 5, 10 y 15% respectivamente; y a los 28 días se determinó la resistencia de las probetas de concreto, obteniéndose 132, 155 y 169 Kg/cm<sup>2</sup> con reemplazo del cemento de 5, 10 y 15% respectivamente.

Al comparar la resistencia a la compresión de especímenes 5%, 10% y 15% de sustitución en peso del cemento, por el relave minero a los 7, 14 y 28 días de curado, se observó que la sustitución del 15% de cemento en un mortero de edificaciones da mayor resistencia.

## RECOMENDACIONES

El agregado que se empleó para la elaboración del mortero patrón y las demás sustituciones presenta buena calidad de material, al superar la resistencia al diseño, se recomienda la cantera chancadora Tacllan para otros estudios de investigación y para las obras.

Se sugiere realizar un estudio del impacto ambiental para evitar futuras contaminaciones que pueda generar el mortero elaborado a base de la sustitución del relave minero por el cemento.

Como una recomendación hacia el futuro, seguir con esta línea de investigación para determinar la durabilidad del mortero al mezclarlo con relave minero.

Teniendo como línea base esta investigación lo recomendable es seguir investigando con sustituciones que sean mayores a 15% para su aplicación hacia el futuro en el concreto pre esforzado de alta resistencia. Se recomienda seguir experimentando con las sustituciones de relave minero en fracción de 20%, 25% y 30% del cemento en volumen total.

## **DEDICATORIA**

A mis padres y a nuestro señor todo poderoso, por darme la fortaleza necesaria para poder cumplir mi sueño de ser un gran profesional y seguir el camino correcto como profesional. A mis amigos quienes también me apoyaron en los momentos más difíciles con darme buenos consejos que me sirvieron mucho para hacer posible mi anhelo personal de ser profesionales con provecho.

**Franklin.**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por la vida y las bendiciones que me brinda cada día, a mis padres que siempre me brindaron su apoyo incondicional durante mi formación profesional, a mis maestros por guiarme por el camino correcto para percibir el amor por el estudio y perseverancia para seguir adelante y cumplir mi sueño de ser profesional.

**Franklin.**

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aduvire, O. (2006). Tratamiento drenaje Ácido de Mina. Revista del Instituto de Investigaciones UMSM. Recuperado de: [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol11\\_n22/a02vol11n22.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol11_n22/a02vol11n22.pdf)
- Almerco, D (2014). Construcción de Dique con tratamiento del relave, en mina Catalina Huanca-Región Ayacucho. Repositorio Académico USMP. Recuperado de: [http://www.repositorioacademico.usmp.edu.pe/bitstream/usmp/1045/1/almerco\\_documento.pdf](http://www.repositorioacademico.usmp.edu.pe/bitstream/usmp/1045/1/almerco_documento.pdf)
- Anicama, G. (2010). Estudio experimental del empleo se materiales de desecho de procesos mineros en aplicaciones prácticas con productos Cementicios. Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado de: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/500>
- Barreda, Aguila, Cueva (2012). Desarrollo de un Prototipo para la Fabricación de Ladrillos de Construcción a partir de la Utilización de Relaves Mineros del Proceso de Cianuración en Plantas Minero Artesanales. Instituto de Energía y Medio Ambiente. Recuperado de: <http://ucsp.edu.pe/investigacion/el-iem-ucsp-ha-presentado-un-proyecto-para-la-fabricacion-de-ladrillos-a-partir-de-reutilizacion/>
- Calzado, L. (1997). Caracterización y categorización de los problemas ambientales de la minería en el Perú. Revista del Instituto de Investigaciones UMSM. Recuperado de: [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol11\\_n22/a02vol11n22.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol11_n22/a02vol11n22.pdf)
- Guía Ambiental Para el Manejo de Relaves Mineros.(1995).Recuperado de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd27/compendio-manejo.pdf>
- Mas, X. (2006). Estudio y caracterización de morteros compuestos, para su aplicación en intervenciones de sellados, reposiciones y réplicas, de elementos pétreos escultórico-ornamentales. Universitat Politècnica de València Facultat de Belles arts de Sant Carles. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/1941/tesisUPV2517.pdf>



Navarro, J. (2006). Tecnología de los Materiales de Construcción. Apuntes de clases. Tecnología de los Materiales de Construcción. Universidad Peruana de los Andes, Facultad de Ingeniería. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/267609762/el-cemento>

NTP 400.017 - AGREGADOS (Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado)

NTP 400.022 - AGREGADOS (Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado)

NTP 400.010 – AGREGADOS (Método de ensayo normalizado para determinar el contenido de humedad del agregado)

NTP 400.012 – AGREGADOS (Método de ensayo normalizado para determinar el análisis granulométrico del agregado)

Romero, A. y Flores, S (2010). Re-uso de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas.

Recuperado de:

[http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/indata/v13\\_n2/pdf/a10v13n2.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/indata/v13_n2/pdf/a10v13n2.pdf)

# APÉNDICES Y ANEXOS

**ANEXO 1:**

## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE ARENA GRUESA

**SOLICITA :**

**CANTERA :**

**LUGAR :**

**FECHA :**

"ARENA GRUESA"

**PESO SECO INICIAL :**

**PESO SECO FINAL :**

TAMIZ		PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
N°	ABERT. (mm)				
N° 4					
N° 8					
N° 16					
N° 30					
N° 50					
N° 100					
N° 200					
FONDO					
(TOTAL)					

**PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DE ARENA GRUESA**

PARA "ARENA _____						
TIPO DE PESO UNITARIO	PESO UNITARIO VARILLADO			PESO UNITARIO SUELTO		
MUESTRA N°	I	II	III	I	II	III
PESO MATERIAL + MOLDE						
PESO DEL MOLDE						
PESO DEL MATERIAL						
VOLUMEN DEL MOLDE						
PESO UNITARIO						
PESO UNITARIO PROMEDIO						
PESO UNITARIO PROMEDIO						

**GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE ARENA GRUESA**

ARENA FINA				
IDENTIFICACION		N° 37	N° 19	PROMEDIO
A	PESO MATERIAL SATURADO SUPERFICIALMENTE SECA ( EN AIRE )			
B	PESO FRASCO + AGUA			
C	PESO FRASCO + AGUA + (A)(A + B)			
D	PESO DEL MATERIAL + AGUA EN EL FRASCO			
E	VOLUMEN DE MASA + VOLUMEN DE VACIO = C - D			
F	PESO DE MATERIAL SECO EN ESTUFA ( 105° C)			
G	VOLUMEN DE MASA = E - (A - F)			
Pe BULK (BASE SECA) = F / E				
Pe BULK (BASE SATURADA) = A / E				
Pe APARENTE (BASE SECA) = F / G				
% DE ABSORCIÓN = ((A - F) / F) * 100				

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

<b>ARENA FINA</b>		
<b>RECIPIENTES</b>	<b>N° 22</b>	<b>N° 35</b>
PESO RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO		
PESO RECIPIENTE + SUELO SECO		
PESO DE RECIPIENTE		
PESO DE AGUA		
PESO SUELO SECO		
HUMEDAD (%)		
HUMEDAD PROMEDIO ( % )		

**ANEXO 2:**

**A) ANALISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO**

ANALISIS GRANULOMETRICO	
<b>SOLICITA :</b>	Bach. Namuche Colonia Franklin G.
<b>TESIS :</b>	“EFECTO DE LA SUSTITUCIÓN DEL 5%, 10% Y 15% DE CEMENTO, POR LA COMBINACIÓN DE RELAVE MINERO EN LA ELABORACIÓN DE MORTEROS DE EDIFICACIONES DE ALBAÑILERÍA EN HUARAZ- 2017”
<b>CANTERA :</b>	"TACLLAN"
<b>MATERIAL:</b>	AGREGADO FINO
<b>FECHA :</b>	01/02/2017

TAMIZ		PESO RETENID O (gr)	% RETENID O PARCIAL	% RETENIDO ACUMULAD O	% QUE PASA
N°	ABERT. (mm)				
N° 4	4.760	48.00	2.85	2.85	97.15
N° 8	2.360	95.00	5.63	8.48	91.52
N° 16	1.180	250.80	14.87	23.34	76.66
N° 30	0.600	550.80	32.65	55.99	44.01
N° 50	0.300	450.70	26.72	82.71	17.29
N° 100	0.150	170.80	10.12	92.83	7.17
N° 200	0.075	90.90	5.39	98.22	1.78
FONDO		30.00	1.78	100.00	0.00
(TOTAL )		<b>1687.00</b>	100.00		

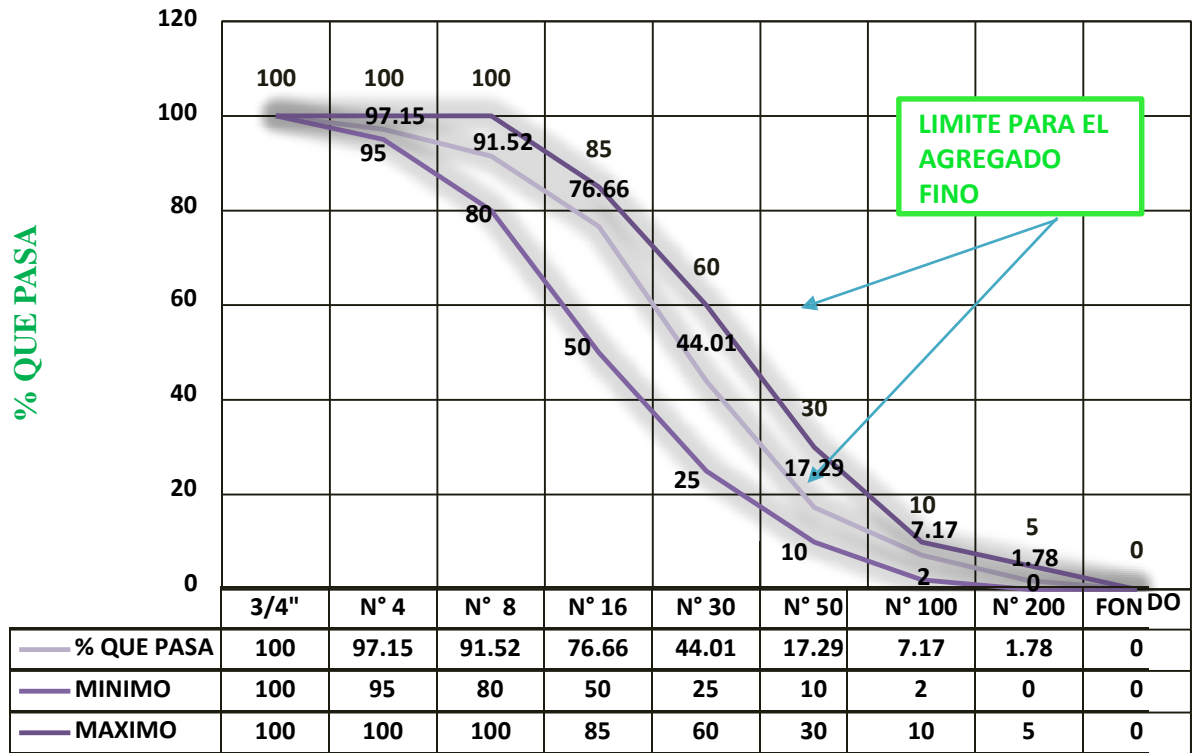
**Módulo de Finura (MF):**

$$MF = \frac{\% \text{ Retenido Acumulado}}{100}$$

$$\% \text{ RETENIDO ACUMULADO} = 266.20$$

$$MF = 2.66$$

### CURVA GRANULOMETRICA DEL AG. FINO



**PARAMETROS SEGUN NTP (400.012)**

## B) PESO UNITARIO

ANALISIS DE PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO	
<b>SOLICITA :</b>	Bach. Namuche Colonia Franklin G.
<b>TESIS :</b>	“EFECTO DE LA SUSTITUCIÓN DEL 5%, 10% Y 15% DE CEMENTO, POR LA COMBINACIÓN DE RELAVE MINERO EN LA ELABORACIÓN DE MORTEROS DE EDIFICACIONES DE ALBAÑILERÍA EN HUARAZ- 2017”
<b>CANTERA :</b>	"TACLLAN"
<b>MATERIAL:</b>	AGREGADO FINO
<b>FECHA :</b>	<u>02/02/2017</u>

ARENA FINA						
TIPO DE PESO UNITARIO	PESO UNITARIO VARILLADO			PESO UNITARIO SUELTO		
	1	2	3	1	2	3
MUESTRA N°						
PESO MATERIAL + MOLDE	8370	8385	8380	7635	7640	7650
PESO DEL MOLDE	3426	3426	3426	3426	3426	3426
PESO DEL MATERIAL	4944	4959	4954	4209	4214	4224
VOLUMEN DEL MOLDE	2776	2776	2776	2776	2776	2776
PESO UNITARIO	1.78	1.79	1.78	1.52	1.52	1.52
PESO UNITARIO PROMEDIO	1784			1519		
PESO UNITARIO PROMEDIO (Kg/m3)	1784			1519		

### C) PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN

<b>PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN</b>	
<b>SOLICITA :</b>	Bach. Namuche Colonia Franklin G. "EFECTO DE LA SUSTITUCIÓN DEL 5%, 10% Y 15% DE CEMENTO, POR LA COMBINACIÓN DE RELAVE MINERO EN LA ELABORACIÓN DE MORTEROS DE EDIFICACIONES DE ALBAÑILERÍA EN HUARAZ- 2017"
<b>TESIS :</b>	LA ELABORACIÓN DE MORTEROS DE EDIFICACIONES DE ALBAÑILERÍA EN HUARAZ- 2017"
<b>CANTERA :</b>	"TACLLAN"
<b>MATERIAL :</b>	AGREGADO FINO
<b>FECHA :</b>	<u>03/02/2017</u>

<b>ARENA FINA</b>				
<b>IDENTIFICACION</b>		<b>N° 37</b>	<b>N° 19</b>	<b>PROMEDIO</b>
A	PESO MATERIAL SATURADO SUPERFICILMENTE SECA ( EN AIRE )	300	300	
B	PESO FRASCO + AGUA	678.5	678.5	
C	PESO FRASCO + AGUA + (A)(A + B)	978.5	978.5	
D	PESO DEL MATERIAL + AGUA EN EL FRASCO	866	863.8	
E	VOLUMEN DE MASA + VOLUMEN DE VACIO = C - D	112.5	114.7	
F	PESO DE MATERIAL SECO EN ESTUFA ( 105° C)	294.2	299.1	
G	VOLUMEN DE MASA = E - (A - F)	106.7	113.8	
Pe BULK (BASE SECA) = F / E		2.615	2.608	<b>1.14</b>
Pe BULK (BASE SATURADA) = A / E		2.667	2.616	
Pe APARENTE (BASE SECA) = F / G		2.757	2.628	
% DE ABSORCIÓN = ((A - F) / F) * 100		<b>1.97</b>	<b>0.30</b>	

	<b>PROM. DE % DE ABSOR.</b>	<b>1.14</b>
<b>Prom. De Peso Específico de N° 37</b>	<b>2.62</b>	
<b>Prom. De Peso Específico de N° 19</b>	<b>2.68</b>	
	<b>PROM. PESO ESPECIFICO</b>	<b>2.65</b>

<b>PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN</b>	
<b>SOLICITA :</b>	Bach. Namuche Colonia Franklin G. "EFECTO DE LA SUSTITUCIÓN DEL 5%, 10% Y 15% DE CEMENTO, POR LA COMBINACIÓN DE RELAVE MINERO EN LA ELABORACIÓN DE MORTEROS DE EDIFICACIONES DE ALBAÑILERÍA EN HUARAZ- 2017"
<b>TESIS :</b>	LA ELABORACIÓN DE MORTEROS DE EDIFICACIONES DE ALBAÑILERÍA EN HUARAZ- 2017"
<b>CANTERA :</b>	"TACLLAN"
<b>MATERIAL :</b>	RELAVE MINERO - TICAPAMPA



FECHA : 03/02/2017

RELAVE MINERO TICAPAMPA				
IDENTIFICACION		N° 1		PROMEDIO
A	PESO MATERIAL SATURADO SUPERFICILMENTE SECA ( EN AIRE )	200		
B	PESO FRASCO + AGUA	678.5		
C	PESO FRASCO + AGUA + (A + B)	878.5		
D	PESO DEL MATERIAL + AGUA EN EL FRASCO	798.3		
E	VOLUMEN DE MASA + VOLUMEN DE VACIO = C - D	80.2		
F	PESO DE MATERIAL SECO EN ESTUFA ( 105° C)	195.3		
G	VOLUMEN DE MASA = E - (A - F)	75.5		
Pe BULK (BASE SECA) = F / E		2.435		2.41
Pe BULK (BASE SATURADA) = A / E		2.494		
Pe APARENTE (BASE SECA) = F / G		2.587		
% DE ABSORCIÓN = ((A - F) / F) * 100		2.41		

% DE ABSOR.	2.41
Peso Específico	2.51

#### D) CONTENIDO DE HUMEDAD

CONTENIDO DE HUMEDAD	
<b>SOLICITA :</b>	Bach. Namuche Colonia Franklin G.
<b>TESIS :</b>	“EFECTO DE LA SUSTITUCIÓN DEL 5%, 10% Y 15% DE CEMENTO, POR LA COMBINACIÓN DE RELAVE MINERO EN LA ELABORACIÓN DE MORTEROS DE EDIFICACIONES DE ALBAÑILERÍA EN HUARAZ- 2017”
<b>CANTERA :</b>	"TACLLAN"
<b>MATERIAL:</b>	AGREGADO FINO
<b>FECHA :</b>	04/02/2017

ARENA FINA		
RECIPIENTES	N° 22	N° 35
PESO RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	800.00	800.00
PESO RECIPIENTE + SUELO SECO	763.5	766
PESO DE RECIPIENTE	165.6	165.1
PESO DE AGUA	36.5	34
PESO SUELO SECO	597.9	600.9
HUMEDAD (%)	6.10	5.66
HUMEDAD PROMEDIO ( % )	5.88	

## ANEXO 3-A: DISEÑO DE MORTERO



### DISEÑO DE MORTERO

TESIS : "EFECTO DE LA SUSTITUCIÓN DEL 5%, 10% Y 15% DE CEMENTO, POR LA COMBINACIÓN DE RELAVE MINERO EN LA ELABORACIÓN DE MORTEROS DE EDIFICACIONES DE ALBAÑILERÍA EN HUARAZ- 2017"  
 LUGAR LABORATORIO DE LA USP  
 FECHA 05/02/2017

#### CALCULO DE MATERIALES PARA PROPORCIONES VOLU METRICAS

##### PASO UNO

se selecciona una proporción de 1:4 de la tabla 3.0

Tabla 3.0: Proporción de materiales según CAPECO

Proporción	Relación a:c	cantidad de materiales por m <sup>3</sup> de mortero		
		cemento (bolsa)	arena(m <sup>3</sup> )	agua(litros)
1:1	0.29	23.2	0.66	286
1:2	0.43	15.5	0.86	375
1:3	0.57	11.2	0.96	375
1:4	0.72	8.9	1	272
1:5	0.85	7.4	1.05	268
1:6	1	6.3	1.07	269
1:7	1.14	5.5	1.1	267
1:8	1.29	4.9	1.11	268

##### PASO DOS

se calcula el volumen de especímenes

L=a 5 cm  
 L=a 5  
 H=a 5

volumen =	125	cm <sup>3</sup>
volumen =	0.000125	m <sup>3</sup>

##### PASO TRES

calculo de cemento para el ensayo para un espécimen

→ teniendo como referencia la tabla 3.0 se calcula para 1m<sup>3</sup>

m<sup>3</sup> 1 → bls 8.9  
 0.000125 → \*



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 FILIAL HUARAZ  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
 Y ENSAYOS DE MATERIALES

Ing. Lucio Y. Dopaz Bailón  
 CIP: 189453  
 JEFE



**USP**  
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

$$x = 0.001 \text{ bls}$$

se sabe que:

$$\begin{array}{ccc} \text{bls} & & \text{kg} \\ 1 & \longrightarrow & 42.5 \\ 0.001 & \longrightarrow & x \end{array}$$

$$x = 0.047 \text{ kg}$$

$$10\% \text{ desperdicio} = 0.052 \text{ kg}$$

**PASO CUATRO**

calculo de arena para el ensayo para un especimen

se calcula para 1m<sup>3</sup> ver la tabla 3.0

$$\begin{array}{ccc} \text{m}^3 & & \text{m}^3 \\ 1 & & 1 \\ 0.000125 & & x \end{array}$$

$$x = 0.0001 \text{ m}^3$$

para convertir en kg se utiliza el p.u.s.s del agregado fino

por lo tanto:

$$P.U.S. = 1519 \text{ kg/m}^3$$

$$x = 0.190 \text{ kg}$$

$$10\% \text{ desperdicio} = 0.209 \text{ kg}$$

**ULTIMO PASO**

calculo de agua para la mezcla para un especimen

Del mismo modo de calcula para 1m<sup>3</sup> ver la tbla 3.0

$$\begin{array}{ccc} \text{m}^3 & & \text{Its} \\ 1 & & 272 \\ 0.000125 & & x \end{array}$$

$$x = 0.034 \text{ Its}$$

Resumen final de calculo de materiales						
	Valores Calculados	10 % desperdicio	para un especimen	cant. de espec.	Mat. Final	UND.
<b>cemento:</b>	0.047	0.005	0.052	48	2.50	kg
<b>arena:</b>	0.190	0.019	0.209	48	10.03	kg
<b>agua:</b>	0.034	0.003	0.037	48	1.80	Its



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
FILIAL HUARAZ  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MATERIALES DE SUELOS  
Y MATERIALES

*Ing. Lucio Y. Depe...*



# USP

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

SOLICITA : Bach. Namuche Colonia Franklin G.  
 TESIS : "EFECTO DE LA SUSTITUCIÓN DEL 5%, 10% Y 15% DE CEMENTO, POR LA COMBINACIÓN DE RELAVE MINERO EN LA ELABORACIÓN DE MORTEROS DE EDIFICACIONES DE ALBAÑILERÍA EN HUARAZ- 2017"  
 CANTERA : " TACLLAN "  
 MATERIAL : AGREGADO FINO  
 FECHA : 01/02/2017

PESO : 1687.00

TAMIZ	PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE PASA	
Nº	ABERT. (mm)	RETENIDO (g)	PARCIAL	ACUMULADO	
Nº 4	4.760	48.00	2.85	2.85	97.15
Nº 8	2.360	95.00	5.63	8.48	91.52
Nº 16	1.180	250.80	14.87	23.34	76.66
Nº 30	0.600	550.80	32.65	55.99	44.01
Nº 50	0.300	450.70	26.72	82.71	17.29
Nº 100	0.150	170.80	10.12	92.83	7.17
Nº 200	0.075	90.90	5.39	98.22	1.78
FONDO		30.00	1.78	100.00	0.00
(TOTAL)		1687.00	100.00		

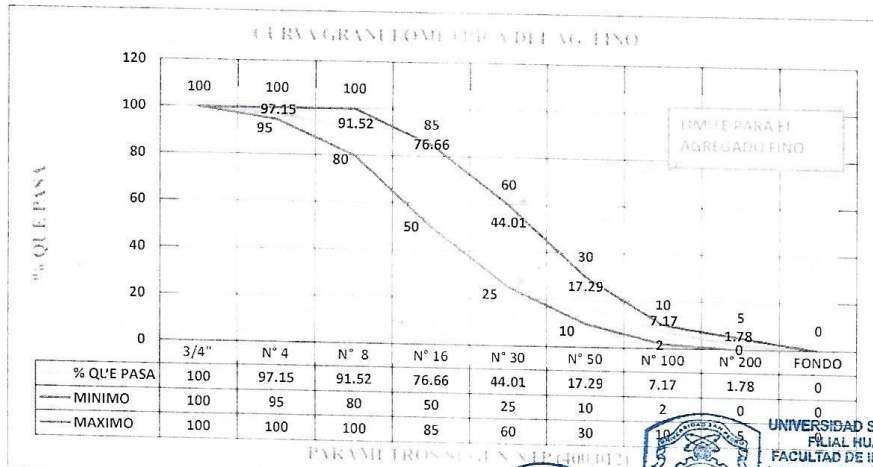
1687.00

#### Modulo de Finura (MF):

$$MF = \frac{\% \text{ Retenido Acumulado}}{100} \times 100$$

$$\% \text{ RETENIDO ACUMULADO} = 266.20$$

$$MF = 2.66$$



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 FILIAL HUARAZ  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
 Y ENSAYO DE MATERIALES  
**Ing. Lucio K. Depez Bailón**  
 CIP: 169453

RECTORADO: Av. José Pardo 194 Chimbote / Perú - Telf.: 043 341078 / 342809 / 328034 Fax: 327896  
 CIUDAD UNIVERSITARIA: Los Pinos B s/n Urb. Los Pinos Telf.: 043 323505 / 326150 / 329486 Bolognesi Av. Fco. Bolognesi 421 Telf.: 345042  
 - Nuevo Chimbote D1 -1 Urb. Las Casuarinas - Telf. 043 312842 - San Luis Nuevo Chimbote Telf.: 043 319704  
 OFICINA CENTRAL DE ADMISIÓN: Esq. Aguirre y Espinar - Telf.: (043) 345899 - www.usanpedro.edu.pe - facebook/ Universidad San Pedro

## ANEXO 4: ENSAYO DE RESISTENCIA GENERAL

### ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE ESPECIMENES(MORTERO)

F'c=100 Kg/cm<sup>2</sup>

**SOLICITA:** Bach. Namuche Colonia Franklin G.

**TESIS :** “EFECTO DE LA SUSTITUCIÓN DEL 5%, 10% Y 15% DE CEMENTO, POR LA COMBINACIÓN DE RELAVE MINERO EN LA ELABORACIÓN DE MORTEROS DE EDIFICACIONES DE ALBAÑILERÍA EN HUARAZ- 2017”

**LUGAR :** Laboratorio Ensayos de Materiales USP.

**FECHA :** 09/03/2017

**F'c :** 100 Kg/cm<sup>2</sup>

	Medida	Und.
a	5	cm
a	5	cm

□ = a x a

1"	=	2.5	cm
----	---	-----	----

Área=	25.00	cm <sup>2</sup>
-------	-------	-----------------

### 1º- VALORES DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SEGÚN LA EDAD Cº PATRON

DISEÑO DE CONCRETO		CONCRETO PATRÓN			
DESCRIPCIÓN		I	II	III	IV
EDAD	7	10930	8290	4060	8930
	14	8140	10840	9580	7900
	28	11020	9460	8880	7950

### 2º- RESITENCIA DE COMPRESIÓN PARA EL CONCRETO PATRON

DESCRIPCIÓN		CARGA (Lib)	CARGA (Kg.)	Área (Cm <sup>2</sup> )	F'c =P/A (Kg/Cm <sup>2</sup> )	Resistencia en (%)
7 DIAS	I	10930	4958	25.00	198.31	198%
	II	8290	3760	25.00	150.41	150%
	III	4060	1842	25.00	73.66	74%
	IV	8930	4051	25.00	162.02	162%
14 DIAS	V	8140	3690	25.00	147.60	148%
	VI	10840	4920	25.00	196.80	197%
	VII	9580	4350	25.00	174.00	174%
	VIII	7900	3580	25.00	143.20	143%
28 DIAS	IX	11020	4999	25.00	199.94	200%
	X	9460	4291	25.00	171.64	172%
	XI	8880	4028	25.00	161.12	161%
	XII	7950	3606	25.00	144.24	144%



**ENSAYO A LA COMPRESION DE CUBOS 5.08 cm-PATRON  
(ASTM C 109)**

SOLICITA : BACH. NAMUCHE COLONIA FRANKLIN G.  
 PROYECTO : EFECTO DE LA SUSTITUCION DEL 5%, 10% Y 15 % DE CEMENTO POR LA COMBINACION DE RELAVE MINERO EN LA ELABORACION DE MORTEROS DE EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA EN HUARAZ - 2017  
 LUGAR : HUARAZ -PROVINCIA DE HUARAZ - ANCASH  
 FECHA : 09/08/2017

N°	TESTIGO ELEMENTO	FECHA DE ROTURA	Peso Muestra (gr)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Longitud (a) (cm)	Longitud (b) (cm)	Longitud (c) (cm)	Area (a <sup>2</sup> b) (cm <sup>2</sup> )	Carga Maxima (kg)	Resistencia f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
01	PATRON 7 DIAS	7/06/2017	287.7	2.302	5.00	5.00	5.00	25.00	4958.00	198.32
02	PATRON 7 DIAS	7/06/2017	285.4	2.283	5.00	5.00	5.00	25.00	3760.00	150.40
03	PATRON 7 DIAS	7/06/2017	286.7	2.294	5.00	5.00	5.00	25.00	1842.00	73.68
04	PATRON 7 DIAS	7/06/2017	295.2	2.362	5.00	5.00	5.00	25.00	4051.00	162.04
05	PATRON 14 DIAS	14/06/2018	295.4	2.363	5.00	5.00	5.00	25.00	3690.00	147.60
06	PATRON 14 DIAS	14/06/2018	294.9	2.359	5.00	5.00	5.00	25.00	4920.00	196.80
07	PATRON 14 DIAS	14/06/2018	300.2	2.402	5.00	5.00	5.00	25.00	4350.00	174.00
08	PATRON 14 DIAS	14/06/2018	299.8	2.398	5.00	5.00	5.00	25.00	3580.00	143.20
09	PATRON 28 DIAS	27/06/2018	299.7	2.398	5.00	5.00	5.00	25.00	4990.00	199.60
10	PATRON 28 DIAS	27/06/2018	300.2	2.402	5.00	5.00	5.00	25.00	4291.00	171.64
11	PATRON 28 DIAS	27/06/2018	299.8	2.398	5.00	5.00	5.00	25.00	4028.00	161.12
12	PATRON 28 DIAS	27/06/2018	299.7	2.398	5.00	5.00	5.00	25.00	3606.00	144.24

UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales  
 JEFATURA  
 Ing. Jorge Montañez Reyes  
 JEFE



**ENSAYO A LA COMPRESION DE CUBOS 5.08 cm-EXPERIMENTAL  
(ASTM C 109)**

SOLICITA : BACH. NAMUCHE COLONIA FRANKLIN G.  
 PROYECTO : EFECTO DE LA SUSTITUCION DEL 5%, 10% Y 15 % DE CEMENTO POR LA COMBINACION DE RELAVE MINERO EN LA ELABORACION DE MORTEROS DE EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA EN HUAZARAZ - 2017  
 LUGAR : HUAZARAZ -PROVINCIA DE HUAZARAZ - ANCASH  
 FECHA : 09/08/2017

N°	TESTIGO ELEMENTO	FECHA DE ROTURA	Peso	Densidad	Longitud	Longitud	Longitud	Area	Carga	Resistencia
			Muestra (gr)	(gr/cm3)	(a) (cm)	(b) (cm)	(c) (cm)	(a <sup>2</sup> b) (cm <sup>2</sup> )	Maxima (kg)	Fc (kg/cm <sup>2</sup> )
01	EXPERIMENTAL 15% 7 DIAS	7/06/2017	266.0	2.128	5.00	5.00	5.00	25.00	3044.00	121.76
02	EXPERIMENTAL 15% 7 DIAS	7/06/2017	276.0	2.208	5.00	5.00	5.00	25.00	2549.00	101.96
03	EXPERIMENTAL 15% 7 DIAS	7/06/2017	270	2.160	5.00	5.00	5.00	25.00	3384.00	135.36
04	EXPERIMENTAL 15% 7 DIAS	7/06/2017	287.0	2.296	5.00	5.00	5.00	25.00	2595.00	103.80
05	EXPERIMENTAL 15% 14 DIAS	14/06/2018	273.0	2.184	5.00	5.00	5.00	25.00	3334.00	133.36
06	EXPERIMENTAL 15% 14 DIAS	14/06/2018	256	2.048	5.00	5.00	5.00	25.00	3125.00	125.00
07	EXPERIMENTAL 15% 14 DIAS	14/06/2018	281.0	2.248	5.00	5.00	5.00	25.00	3357.00	134.28
08	EXPERIMENTAL 15% 14 DIAS	14/06/2018	277.0	2.216	5.00	5.00	5.00	25.00	2744.00	109.76
09	EXPERIMENTAL 15% 28 DIAS	27/06/2018	289	2.312	5.00	5.00	5.00	25.00	4423.00	176.92
10	EXPERIMENTAL 15% 28 DIAS	27/06/2018	259.0	2.072	5.00	5.00	5.00	25.00	4491.00	179.64
11	EXPERIMENTAL 15% 28 DIAS	27/06/2018	276.0	2.208	5.00	5.00	5.00	25.00	4518.00	180.72
12	EXPERIMENTAL 15% 28 DIAS	27/06/2018	288	2.304	5.00	5.00	5.00	25.00	3543.00	141.72



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales  
 Jefe  
 Ing. Jorge Montañez Reyes



**ENSAYO A LA COMPRESION DE CUBOS 5.08 cm-EXPERIMENTAL  
(ASTM C 109)**

SOLICITA : BACH. NAMUCHE COLONIA FRANKLIN G.  
 PROYECTO : EFECTO DE LA SUSTITUCION DEL 5%, 10% Y 15 % DE CEMENTO POR LA COMBINACION DE RELAVE MINERO EN LA ELABORACION DE MORTEROS DE EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA EN HAUARAZ - 2017  
 LUGAR : HUARAZ -PROVINCIA DE HUARAZ - ANCASH  
 FECHA : 09/08/2017

N°	TESTIGO ELEMENTO	FECHA DE ROTURA	Peso	Densidad	Longitud	Longitud	Longitud	Area	Carga	Resistencia
			Muestra (gr)	(gr/cm <sup>3</sup> )	(a) (cm)	(b) (cm)	(c) (cm)	(a <sup>2</sup> b) (cm <sup>2</sup> )	Maxima (kg)	Pc (kg/cm <sup>2</sup> )
01	EXPERIMENTAL 10% 7 DIAS	7/06/2017	245.0	1.960	5.00	5.00	5.00	25.00	2123.00	84.92
02	EXPERIMENTAL 10% 7 DIAS	7/06/2017	260.0	2.080	5.00	5.00	5.00	25.00	2835.00	113.40
03	EXPERIMENTAL 10% 7 DIAS	7/06/2017	254	2.032	5.00	5.00	5.00	25.00	1914.00	76.56
04	EXPERIMENTAL 10% 7 DIAS	7/06/2017	268.0	2.144	5.00	5.00	5.00	25.00	953.00	38.12
05	EXPERIMENTAL 10% 14 DIAS	14/06/2018	279.0	2.232	5.00	5.00	5.00	25.00	3443.00	137.72
06	EXPERIMENTAL 10% 14 DIAS	14/06/2018	265	2.120	5.00	5.00	5.00	25.00	2889.00	115.56
07	EXPERIMENTAL 10% 14 DIAS	14/06/2018	287.0	2.296	5.00	5.00	5.00	25.00	3075.00	123.00
08	EXPERIMENTAL 10% 14 DIAS	14/06/2018	279.0	2.232	5.00	5.00	5.00	25.00	3701.00	148.04
09	EXPERIMENTAL 10% 28 DIAS	27/06/2018	278	2.224	5.00	5.00	5.00	25.00	4472.00	178.88
10	EXPERIMENTAL 10% 28 DIAS	27/06/2018	284.0	2.272	5.00	5.00	5.00	25.00	3733.00	149.32
11	EXPERIMENTAL 10% 28 DIAS	27/06/2018	254.0	2.032	5.00	5.00	5.00	25.00	3434.00	137.36
12	EXPERIMENTAL 10% 28 DIAS	27/06/2018	278	2.224	5.00	5.00	5.00	25.00	3874.00	154.96

UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 Ing. Jorge Montañez Reyes  
 JEFE





**ENSAYO A LA COMPRESION DE CUBOS 5.08 cm-EXPERIMENTAL**  
(ASTM C 109)

SOLICITA : BACH. NAMUCHE COLONIA FRANKLIN G.  
 PROYECTO : EFECTO DE LA SUSTITUCION DEL 5%, 10% Y 15 % DE CEMENTO POR LA COMBINACION DE RELAVE  
 MINERO EN LA ELABORACION DE MORTEROS DE EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA EN HAUARAZ - 2017  
 LUGAR : HUARAZ -PROVINCIA DE HUARAZ - ANCASH  
 FECHA : 09/09/2017

N°	TESTIGO ELEMENTO	FECHA DE ROTURA	Peso	Densidad	Longitud	Longitud	Longitud	Area	Carga	Resistencia
			Muestra (gr)	(gr/cm <sup>3</sup> )	(a) (cm)	(b) (cm)	(c) (cm)	(a <sup>2</sup> b) (cm <sup>2</sup> )	Maxima (kg)	Fe (kg/cm <sup>2</sup> )
01	EXPERIMENTAL 5% 7 DIAS	7/06/2017	233.0	1.864	5.00	5.00	5.00	25.00	1429.00	57.16
02	EXPERIMENTAL 5% 7 DIAS	7/06/2017	243.0	1.944	5.00	5.00	5.00	25.00	2295.00	91.80
03	EXPERIMENTAL 5% 7 DIAS	7/06/2017	254	2.032	5.00	5.00	5.00	25.00	2513.00	100.52
04	EXPERIMENTAL 5% 7 DIAS	7/06/2017	258.0	2.064	5.00	5.00	5.00	25.00	1991.00	79.64
05	EXPERIMENTAL 5% 14 DIAS	14/06/2018	263.0	2.104	5.00	5.00	5.00	25.00	2622.00	104.88
06	EXPERIMENTAL 5% 14 DIAS	14/06/2018	262	2.096	5.00	5.00	5.00	25.00	3357.00	134.28
07	EXPERIMENTAL 5% 14 DIAS	14/06/2018	254.0	2.032	5.00	5.00	5.00	25.00	3007.00	120.28
08	EXPERIMENTAL 5% 14 DIAS	14/06/2018	268.0	2.144	5.00	5.00	5.00	25.00	2898.00	115.92
09	EXPERIMENTAL 5% 28 DIAS	27/06/2018	287	2.296	5.00	5.00	5.00	25.00	3189.00	127.56
10	EXPERIMENTAL 5% 28 DIAS	27/06/2018	284.0	2.272	5.00	5.00	5.00	25.00	3366.00	134.64
11	EXPERIMENTAL 5% 28 DIAS	27/06/2018	270.0	2.160	5.00	5.00	5.00	25.00	4073.00	162.92
12	EXPERIMENTAL 5% 28 DIAS	27/06/2018	278	2.224	5.00	5.00	5.00	25.00	2636.00	105.44

UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
 JEFATURA  
 Ing. Jorge Montañez Reyes  
 JEFE



**ENSAYO A LA COMPRESION DE CUBOS 5.08 cm-PATRON  
(ASTM C 109)**

SOLICITA : BACH. NAMUCHE COLONIA FRANKLIN G.  
 PROYECTO : EFECTO DE LA SUSTITUCION DEL 5%, 10% Y 15% DE CEMENTO POR LA COMBINACION DE RELAVE MINERO EN LA ELABORACION DE MORTEROS DE EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA EN HAUARAZ - 2017  
 LUGAR : HUARAZ -PROVINCIA DE HUARAZ - ANCASH  
 FECHA : 09/08/2017

TESTIGO	FECHA DE ROTURA	Peso Muestra (gr)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Longitud (a) (cm)	Longitud (b) (cm)	Longitud (c) (cm)	Area (a*b) (cm <sup>2</sup> )	Carga Maxima (kg)	Resistencia f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
01 PATRON 7 DIAS	7/06/2017	287.7	2.302	5.00	5.00	5.00	25.00	4958.00	198.32
02 PATRON 7 DIAS	7/06/2017	285.4	2.283	5.00	5.00	5.00	25.00	3760.00	150.40
03 PATRON 7 DIAS	7/06/2017	286.7	2.294	5.00	5.00	5.00	25.00	1842.00	73.68
04 PATRON 7 DIAS	7/06/2017	295.2	2.362	5.00	5.00	5.00	25.00	4051.00	162.04
05 PATRON 14 DIAS	14/06/2018	295.4	2.363	5.00	5.00	5.00	25.00	3690.00	147.60
06 PATRON 14 DIAS	14/06/2018	294.9	2.359	5.00	5.00	5.00	25.00	4920.00	196.80
07 PATRON 14 DIAS	14/06/2018	300.2	2.402	5.00	5.00	5.00	25.00	4350.00	174.00
08 PATRON 14 DIAS	14/06/2018	299.8	2.398	5.00	5.00	5.00	25.00	3580.00	143.20
09 PATRON 28 DIAS	27/06/2018	299.7	2.398	5.00	5.00	5.00	25.00	4990.00	199.60
10 PATRON 28 DIAS	27/06/2018	300.2	2.402	5.00	5.00	5.00	25.00	4291.00	171.64
11 PATRON 28 DIAS	27/06/2018	299.8	2.398	5.00	5.00	5.00	25.00	4028.00	161.12
12 PATRON 28 DIAS	27/06/2018	299.7	2.398	5.00	5.00	5.00	25.00	3606.00	144.24



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales  
 Ing. Jorge Montañez Reyes  
 JEFE



**UNIVERSIDAD  
SAN PEDRO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

**ENSAYO A LA COMPRESION DE CUBOS 5.08 cm-PATRON  
(ASTM C 109)**

SOLICITA : BACH. NAMUCHE COLONIA FRANKLIN G.  
 PROYECTO : EFECTO DE LA SUSTITUCION DEL 5%, 10% Y 15% DE CEMENTO POR LA COMBINACION DE RELAVE  
 MINERO EN LA ELABORACION DE MORTEROS DE EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA EN HUAARAZ - 2017  
 LUGAR : HUARAZ - PROVINCIA DE HUARAZ - ANCASH  
 FECHA : 09/08/2017

TESTIGO	FECHA DE ROTURA	Peso Muestra (gr)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Longitud (a) (cm)	Longitud (b) (cm)	Longitud (c) (cm)	Area (a <sup>2</sup> b) (cm <sup>2</sup> )	Carga Maxima (kg)	Resistencia f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	
N°	ELEMENTO									
01	PATRON 7 DIAS	7/06/2017	287.7	2.302	5.00	5.00	5.00	25.00	4958.00	198.32
02	PATRON 7 DIAS	7/06/2017	285.4	2.283	5.00	5.00	5.00	25.00	3760.00	150.40
03	PATRON 7 DIAS	7/06/2017	286.7	2.294	5.00	5.00	5.00	25.00	1842.00	73.68
04	PATRON 7 DIAS	7/06/2017	295.2	2.362	5.00	5.00	5.00	25.00	4051.00	162.04
05	PATRON 14 DIAS	14/06/2018	295.4	2.363	5.00	5.00	5.00	25.00	3690.00	147.60
06	PATRON 14 DIAS	14/06/2018	294.9	2.359	5.00	5.00	5.00	25.00	4920.00	196.80
07	PATRON 14 DIAS	14/06/2018	300.2	2.402	5.00	5.00	5.00	25.00	4350.00	174.00
08	PATRON 14 DIAS	14/06/2018	299.8	2.398	5.00	5.00	5.00	25.00	3580.00	143.20
09	PATRON 28 DIAS	27/06/2018	299.7	2.398	5.00	5.00	5.00	25.00	4990.00	199.60
10	PATRON 28 DIAS	27/06/2018	300.2	2.402	5.00	5.00	5.00	25.00	4291.00	171.64
11	PATRON 28 DIAS	27/06/2018	299.8	2.398	5.00	5.00	5.00	25.00	4028.00	161.12
12	PATRON 28 DIAS	27/06/2018	299.7	2.398	5.00	5.00	5.00	25.00	3606.00	144.24

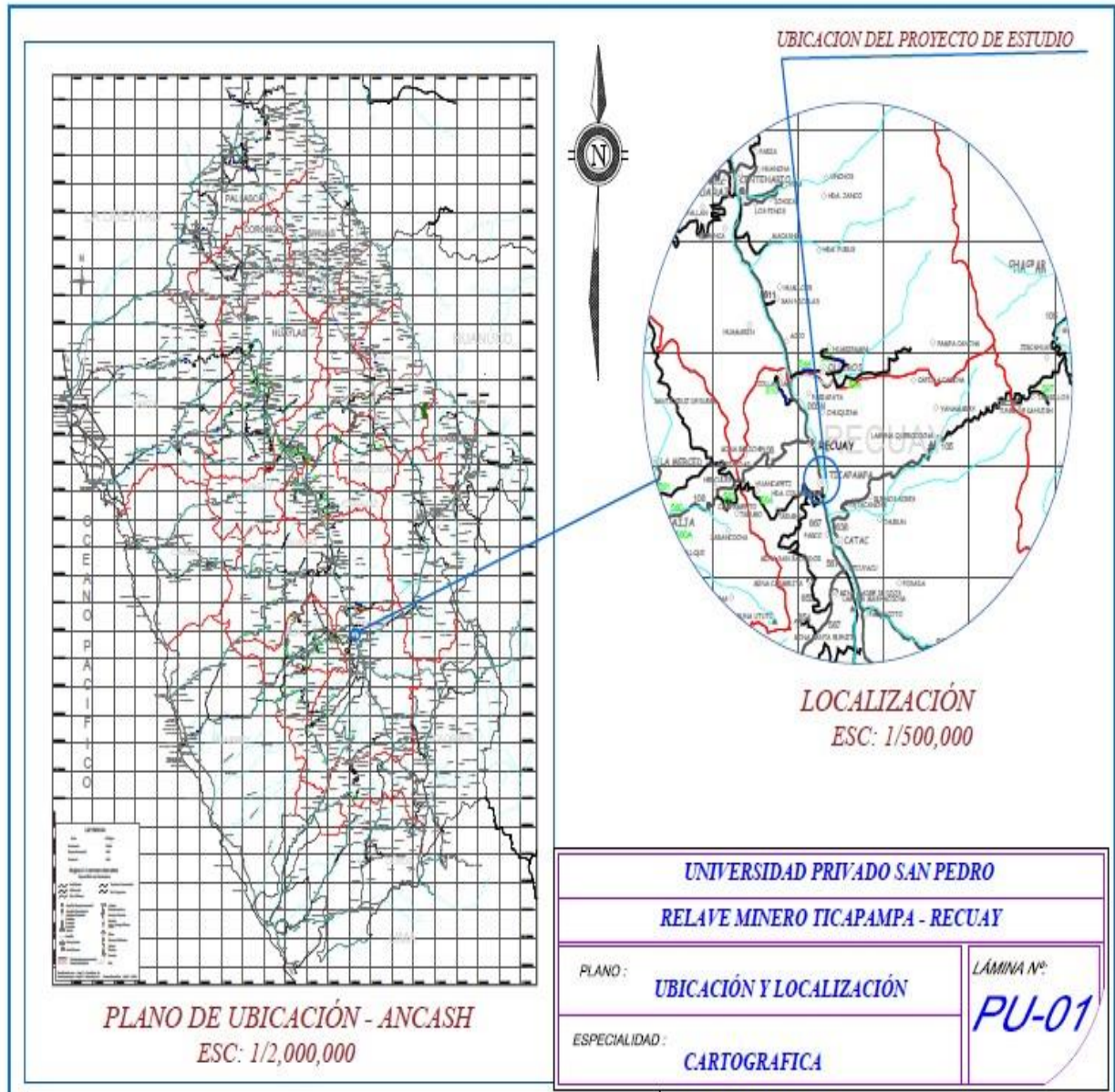
UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales  
  
 Ing. Jorge Montañez Reyes  
 JEFE

www.usanpedro.edu.pe

Ciudad Universitaria - Urb. Los Pinos Mz. B s/n - Chimbote  
 Cel. 990579937  
 Email: lmsyem@usanpedro.edu.pe

**ANEXO 5:**

**PLANO DE UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**



## PANEL FOTOGRÁFICO

### 1. Fotografía del relave minero Ticapampa para el estudio de la tesis



## 2. Relave minero molido para el ensayo



### GRANULOMETRÍA

#### a. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO

- ✚ Se toma la muestra del agregado fino aproximadamente de 10 kg, luego se cuartea para escoger muestra representativa para el ensayo. Después se lava para eliminar impurezas que contiene el agregado, luego se somete al secado del agregado en el horno.



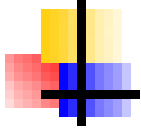


- ✚ Se ordenan las mallas según la NTP 400.012 para el análisis granulométrico del agregado fino, para comenzar llenar la muestra y se comienza a agitar la malla de tamiz, para luego pesas el material retenido en cada malla.

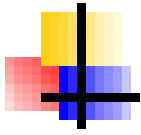


## PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

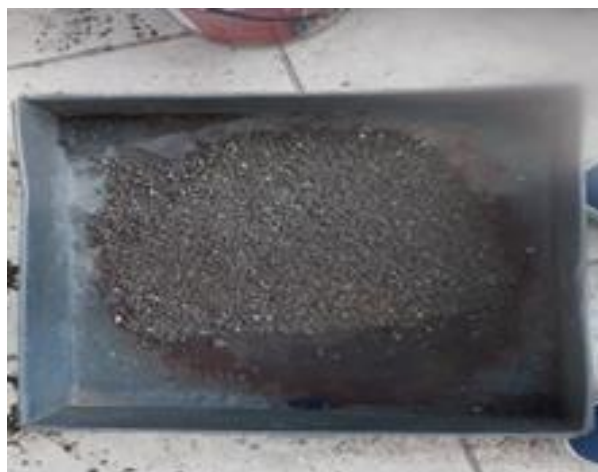
### a. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO



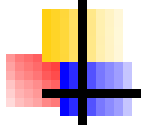
Se toma una muestra representativa aproximadamente de 1500 g, cubriéndola con agua y dejándola reposar por 24 horas, después se dispone la muestra en una superficie plana y expuesto a una suave corriente de aire, para un secado uniforme.



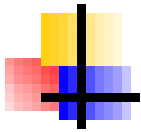
Después de ello se procede a colocar al agregado fino suelto en el molde cónico, aplicando 25 golpes con el pisón sobre la superficie, levantando el molde verticalmente, si existe presencia de humedad superficial,



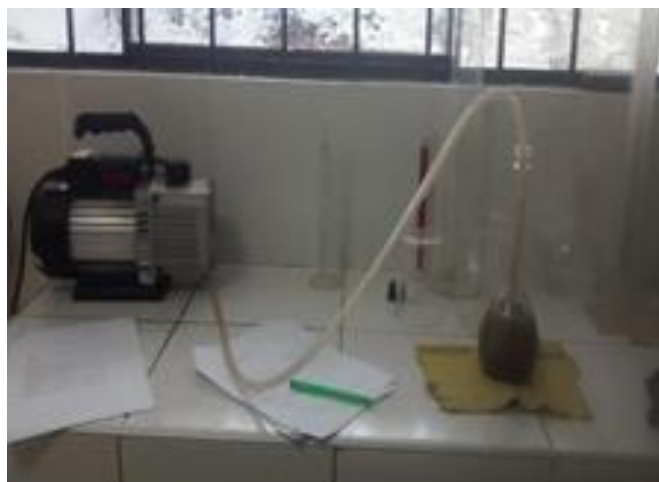




Se tomó 500 g aproximadamente de arena en condición superficialmente seca para colocar la muestra en el frasco volumétrico.



Se pesa la arena y el agua en el frasco para luego retirar el agua y la arena del frasco para depositar en una tara para colocar en el horno a una temperatura de 110 °c por 24 horas, en este tiempo se considera que el árido pierde toda el agua e inclusive la que se encuentra en los poros permeables transcurrido ese tiempo se retira la tara del horno para enfriar la muestra a una temperatura del ambiente para determinar el peso seco



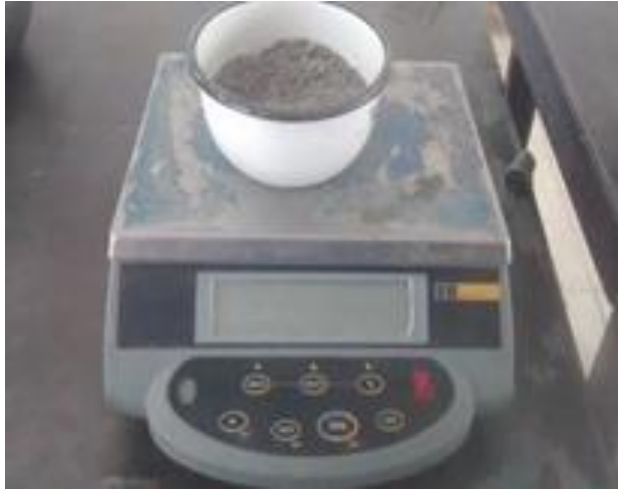




**b. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL  
RELAVE MINERO(TICAPAMPA)**

- ✚ El procedimiento del ensayo es de la misma forma que para el agregado fino.





## PESO UNITARIO SUELTO Y VARILLADO

### a. PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO

- ✚ **peso unitario suelto:** se tomó una muestra aproximadamente de 5 a 8 kg previamente seca, se deposita el material en el recipiente con la ayuda de un cucharon utilizando una altura constante sobre el molde que no exceda los cinco centímetros.



- ✚ **peso unitario compactado:** se tomó una muestra se depositó material en el recipiente en tres capas iguales con la ayuda de una cucharon utilizando una altura constante sobre el molde que no debe exceder de cinco centímetros de altura aplicando los 25 golpes con la ayuda de la varilla punta de bala distribuida en toda la área del recipiente.





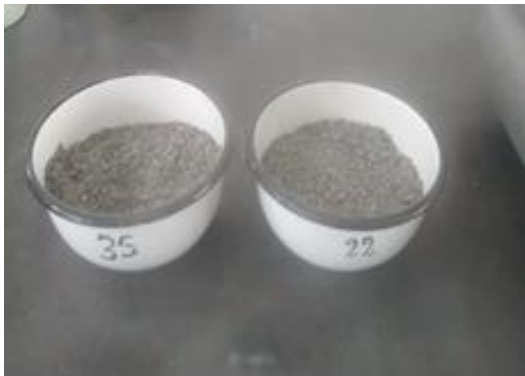


## **CONTENIDO DE HUMEDAD**

### **a. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO**

- ✚ se toma una muestra de 800 g aproximadamente por cuarteo, luego se coloca la muestra húmeda en un deposito adecuado determinando su peso (peso de recipiente + muestra húmeda), para llevar el recipiente con la muestra húmeda al horno por 24 horas de secado a una temperatura de 110 °C, después de ello se retira la muestra del horno y se deja enfriar en un ambiente seco y templado, después de ello se pesa el recipiente con la muestra seca para determinar la cantidad de agua evaporada.





## ELABORACIÓN DEL MORTERO PARA EL MOLDEADO DE ESPECÍMENES

Se comienza a pesar la cantidad de material calculado en el diseño de mortero tales como: cemento – arena fina - relave minero – agua.

Cemento:



Arena fina:



Relave minero:



Agua:



Proceso de mezclado de mortero para el caso de control- patrón.



Mezcla de mortero patron con la relacion agua cemento segun diseño.

Moldes de probetas de mortero de 50mm x 50mm de lado



Llenado de probetas de mortero patron de 50mm x 50mm.



Se continuo con la elaboracion de las probetas de mortero experimentales con sustitucion del cemento por relave minero en 5%, 10% y 15% respectivamente de la misma forma que se elaboró el patron.





para la sustitución de 10% de cemento por el relave minero. se seguirá el mismo proceso que se empleó, solo con la variación de la sustitución del material en cantidades diferentes.







Finalmente, con la sustitución de 15% de cemento por el relave minero el ensayo de moldeado se concluye.





## RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

1. Luego se procedió al ensayo de rotura del cubo de espécimen a la compresión a los 7, 14 y 28 días de curado, en todas las sustituciones de relave minero y del concreto patrón.

### PATRÓN:



**EXPERIMENTAL AL 5% DE SUSTITUCION:**

Sustitución de 5% de cemento por relave minero:



## EXPERIMENTAL AL 10% DE SUSTITUCION

Sustitución de 10% de cemento por relave minero:



## EXPERIMENTAL AL 15% DE SUSTITUCION

Sustitución de 15% de cemento por relave minero:



