



TESIS

“DESARROLLO DE BLOQUES DE ARENA CON CAL HIDRATADA PARA LADRILLOS EN AUTOCLAVE EN LA REGIÓN PUNO”

**PRESENTADO POR EL BACHILLER
JOSÉ FRANCISCO RAMÍREZ MEDINA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

JULIACA -2018

DEDICATORIA

A mi esposa e hijos por su aliento, paciencia y comprensión durante el tiempo que me dedique a las aulas universitarias; para poder continuar estudios de una carrera profesional por segunda oportunidad, actividad que implica restar tiempo y atención a la familia.

AGRADECIMIENTO

Para nuestra institución, Universidad Alas Peruanas filial de Juliaca, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por brindarnos la oportunidad de adquirir nuevos conocimientos de gran utilidad, para nuestro desempeño profesional.

Al director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil Ing. Gilmer Salas Madera, por contribuir con la conducción y liderazgo dentro de la carrera profesional de igual manera al Ing. Hugo Ccama Condori por su apoyo en la elaboración del Plan de Tesis.

A nuestros jurados, Ing. Alfredo Ponce, Ing. Fausto Mamani e Ing. Raúl Ito; por su apoyo, recomendaciones y consejos, para concluir satisfactoriamente el presente trabajo de tesis.

Para nuestros docentes universitarios, amigos y compañeros de aula, por compartir gratos momentos, experiencias y anécdotas con cada uno de nosotros. Y a todos los demás colaboradores que de forma directa e indirecta ayudaron en el desarrollo de nuestra formación académica.

RESUMEN

El presente trabajo de tesis se sustenta en la propiedad de resistencia mecánica que desarrolla la cal, material de construcción utilizado desde la antigüedad que permitió la construcción de grandes obras de ingeniería. Como el coliseo romano acueductos, la muralla china etc. Dentro de la construcción la cal, perdió cierta importancia con la aparición del cemento portland en el siglo XIX pero a pesar de ello en la actualidad tiene nuevas aplicaciones, en la industria, la medicina, tratamiento de aguas, control ambiental, en la minería etc.

El presente trabajo consiste en desarrollar pruebas de laboratorio de bloques de cal con mezclas de arena, acelerando su fraguado, tomando en consideración lo establecido en la norma de concreto armado E.060:

5.11.8 "Curado acelerado, el curado con vapor a alta presión, vapor a presión atmosférica, calor y humedad, u otro proceso aceptado, puede emplearse para acelerar el desarrollo de resistencia y reducir el tiempo de curado."

Con diferentes proporciones de arena y cal hidratada, se elaboran bloques de arena y cal en proporciones de 10,15 y 20% de cal hidratada que luego de preparar un mortero bajo condiciones controladas se moldean en cubos de 2 pulgadas de lado de acuerdo a la norma ASTM C 109.

Muestra 1 (M1): 90% de Arena con 10% de Cal Hidratada + Agua

Muestra 2 (M2): 85% de Arena con 15% de Cal Hidratada + Agua

Muestra 3 (M3): 80% de Arena con 20 % de Cal Hidratada + Agua

La parte experimental se sustenta en la preparación de cubos que después son curados bajo presión en un autoclave u olla a presión, para luego realizar pruebas de compresión utilizando una prensa de rotura cuyos resultados, se evalúan en función a los valores de resistencia establecidos en la norma E070 de albañilería. De igual manera se proceden con las pruebas de absorción y eflorescencia siguiendo los parámetros establecidos en la norma E070.

Para determinar la cantidad de agua para mezclar con las diferentes cantidades de adición de cal hidratada, se utiliza la mesa de fluidez o cono de abrams.

Utilizando un equipo para el mezclado se prepara una mezcla de arena con cal hidrata con una determinada cantidad de agua. Una vez lograda la mezcla, una porción de esta mezcla se coloca sobre la mesa de fluidez donde por movimientos verticales la mezcla se expande en forma circular. Luego de un número de golpes controlados que permiten el movimiento vertical de la mesa la mezcla se extiende de forma circular. Utilizando un Caliper (instrumento de medición) se toman cuatro medidas equidistantes las cuales se promedian y cuyo resultado debe de encontrarse en el rango de 100 ± 5 . Se considera la cantidad de agua adecuada para la mezcla siempre que este resultado de medición se encuentre dentro del rango establecido.

La mezcla obtenida con los diferentes porcentajes de adición de cal hidratada se coloca en moldes metálicos de 50 mm x 50 mm x 50 mm, estos moldes de forma cúbica son rígidos y evitan la deformación del bloque. Luego de secarse el material moldeado en forma de cubo son desmoldados en 24 horas.

Los bloques una vez desmoldados son introducidos en la autoclave. El autoclave es un equipo de laboratorio de forma cilíndrica con una tapa en la parte superior y que cuenta con elementos de control de presión y temperatura como también una válvula de seguridad en caso se presente una sobre presión, este equipo trabaja con agua. También con fines prácticos por la poca disponibilidad de equipos se puede utilizar una olla a presión.

El autoclave debe alcanzar una presión y temperatura que permitan un aceleramiento del curado los bloques permanecen por 6 horas, por efecto de la presión y temperatura se produce un vapor saturado encargado de producir el fraguado de los bloques dentro del autoclave.

Estos cubos después del curado en autoclave, se someten a pruebas de compresión en prensa de rotura cuyos resultados, se evalúan en función a los valores de resistencia establecidos en la norma de albañilería.

De igual manera se proceden con las pruebas de absorción y eflorescencia siguiendo los parámetros establecidos en la norma E070.

Los resultados de resistencia a compresión han alcanzado valores máximos de 27.94 Kg/cm² con 15% de adición de cal hidratada. Resistencia que podría mejorarse utilizando equipos de mayor capacidad, limitaciones sobre infraestructura en laboratorios no permiten un mayor desarrollo y alcanzar los objetivos propuestos a nivel experimental de acuerdo a la norma E070 de Albañilería.

Adicionalmente se han realizado dos pruebas sobre las propiedades de las unidades de albañilería que son la Absorción y la Eflorescencia.

La Absorción es una de las propiedades relacionadas con la durabilidad de los ladrillos en situaciones de intemperismo. Unidades de albañilería con bajo porcentaje de absorción son ventajosos para utilizarlos en zonas húmedas y lluviosas, esta propiedad tiene que ver mucho la porosidad y la capilaridad, donde se observa la influencia de la cal hidratada en sus distintas proporciones de aplicación.

El fenómeno de la eflorescencia se identifica con la presencia de manchas que se presentan en las unidades de albañilería, también se ve reducido por el efecto de la cal hidratada que inhibe el efecto de las sales disueltas en los materiales y el agua.

ABSTRAC

The present thesis work is based on the property of mechanical resistance developed by lime, construction material used since antiquity that allowed the construction of large engineering works. As the Roman Coliseum aqueducts, the Chinese wall etc. Within the construction of lime, it lost some importance with the appearance of portland cement in the 19th century, but in spite of that it has new applications in industry, medicine, water treatment, environmental control, mining etc. .

He present work consists of developing laboratory tests of lime blocks with sand mixtures, accelerating their setting, taking into account the provisions of the E.060 reinforced concrete standard:

5.11.8 "Accelerated curing, steam curing at high pressure, steam at atmospheric pressure, heat and humidity, or other accepted process, may be used to accelerate the development of strength and reduce the curing time."

With different proportions of sand and hydrated lime, blocks of sand and lime are elaborated in proportions of 10, 15 and 20% of hydrated lime which, after preparing a mortar under controlled conditions, are molded in cubes of 2 inches on each side according to the ASTM C 109 standard.

Sample 1 (M1): 90% Sand with 10% Hydrated Lime + Water

Sample 2 (M2): 85% Sand with 15% Hydrated Lime + Water

Sample 3 (M3): 80% Sand with 20% Hydrated Lime + Water

The experimental part is based on the preparation of cubes that are then cured under pressure in an autoclave or pressure cooker, to then perform compression tests using a rupture press whose results are evaluated according to the resistance values established in the masonry standard E070. Likewise, the absorption and efflorescence tests are carried out following the parameters established in the E070 standard.

To determine the amount of water to be mixed with the different amounts of hydrated lime addition, the fluidity table or abrams cone is used.

Using a mixing equipment, a mixture of sand and hydrated lime is prepared with a certain amount of water. Once the mixture is achieved, a portion of this mixture is placed on the flow table where, by vertical movements, the mixture expands in a circular manner. After a number of controlled strokes that allow the vertical movement of the table the mixture extends in a circular manner. Using a Caliper (measurement instrument) four equidistant measurements are taken which are averaged and whose result must be in the range of 100 ± 5 . The amount of water suitable for the mixture is considered as long as this measurement result is within the established range.

The mixture obtained with the different percentages of addition of hydrated lime is placed in metal molds of 50 mm x 50 mm x 50 mm, these molds of cubic form are rigid and avoid deformation of the block. After drying, the molded cube-shaped material is unmoulded in 24 hours.

Once demolded, the blocks are introduced into the autoclave. The autoclave is a laboratory equipment of cylindrical shape with a lid on top and that has elements of pressure and temperature control as well as a safety valve in case of an overpressure, this equipment works with water. Also for practical purposes due to the limited availability of equipment, a pressure cooker can be used. The autoclave must reach a pressure and temperature that allows an acceleration of the curing. The blocks remain for 6 hours, due to the pressure and temperature effect, a saturated steam is produced in order to produce the blocks in the autoclave.

These cubes, after curing in an autoclave, are subjected to compression tests in the breaking press, the results of which are evaluated according to the resistance values established in the masonry standard.

Likewise, the absorption and efflorescence tests are carried out following the parameters established in the E070 standard. The results of resistance to compression have reached maximum values of 27.94 Kg / cm² with 15% addition

of hydrated lime. Resistance that could be improved by using higher capacity equipment, limitations on infrastructure in laboratories do not allow further development and achieve the objectives proposed at experimental level according to the E070 standard of Masonry. Additionally, two tests have been carried out on the properties of the masonry units, which are Absorption and Efflorescence. Absorption is one of the properties related to the durability of bricks in weathering situations. Masonry units with low absorption percentage are advantageous for use in wet and rainy areas, this property has much to do with porosity and capillarity, where the influence of hydrated lime in its different proportions of application is observed. The phenomenon of efflorescence is identified with the presence of stains that occur in masonry units, it is also reduced by the effect of hydrated lime that inhibits the effect of dissolved salts in materials and water.

SINTESIS

El desarrollo de bloques de arena con cal hidratada busca probar a través de pruebas de resistencia, absorción y eflorescencia que los bloques cumplan con lo establecido en la norma E070 para elementos de Albañilería.

Tomando como referencia lo establecido en la norma ASTM C 109. Se elaboran los bloques de arena y cal hidratada de 50 mm x 50 mm x 50 mm para realizar pruebas de laboratorio. Evaluando los resultados de estas pruebas verificamos lo planteado en la hipótesis del tema.

Los bloques elaborados y endurecidos mediante fraguado acelerado en autoclave, u olla a presión alcanzan resistencias a la compresión en un 50% de lo establecido por la norma.

La norma de albañilería E070 para ladrillos portantes especifica valores mínimos de 50 kg/cm² de capacidad portante para las unidades de albañilería.

En el resumen se puede observar el resultado promedio de las muestras M1, M2 y M3 cada una de ellas elaboradas con 10%,15% y 20% de adición de cal hidratada respectivamente.

Resumen de resultados Promedios obtenidos con M1, M2 y M3.

	Muestra M1 10% de Cal Hidratada	Muestra M2 15 % de Cal Hidratada	Muestra M3 20% de Cal Hidratada
Resist. Compresión (Kgf/cm ²)	17.235	26.916	10.352
Promedio de absorción (%)	16.81	13.46	11.34
Eflorescencia (intensidad)	Alta	Intermedio	Baja

Fuente: Elaboración propia

INTRODUCCIÓN

Estos materiales para la construcción denominados como ladrillos Sillico - Calcáreos en nuestro país son producidos por la Compañía Minera Luren LACASA en la ciudad de Lima, que utilizan como materia prima la cal hidratada, arena fina y agua para la fabricación de elementos de albañilería, en Sudamérica su fabricación esta difundida en Argentina; en Europa y Asia por las características aislantes que se logran para protegerse del frío con esta combinaciones de materiales e inclusive otros aditivos químicos como el óxido de aluminio; que no es materia de esta tesis logran forman burbujas al interior del ladrillo que le confiere propiedades de aislamiento térmico y menor peso a los ladrillos con los cuales se construyen las viviendas.

El primer paso de esta investigación es determinar si la mezcla propuesta de arena: cal hidratada: agua cumple con los requerimientos de la Norma de Albañilería E070. Dentro del campo de la ingeniería civil, el profesional debe investigar y desarrollar el uso de materiales alternativos, contar con nuevas alternativas como los ladrillos elaborados con cal y arena para las edificaciones.

Dentro del objetivo del presente trabajo, como primer paso se tiene el propósito de realizar pruebas con mezclas de cal y arena en diferentes proporciones para la posterior fabricación de ladrillos, para también demostrar las propiedades del material.

Frente a un mercado regional donde la oferta de ladrillos es insuficiente, para las construcciones locales estamos obligados a abastecernos de ladrillos producidos en las regiones de Arequipa, Cusco y del vecino país Bolivia específicamente desde el Alto la Paz.

La fabricación de ladrillos de arena con cal hidratada en autoclave está difundida en muchos países del mundo y también en nuestro país con la empresa Luren en la ciudad de Lima que utilizan tecnología alemana. El uso de esta tecnología tiene como resultado ladrillos geoméricamente de dimensiones uniformes, alabeo inexistente unidades de una mayor resistencia a la compresión, bajo nivel de

absorción y casi nula eflorescencia por las características químicas del material que se utiliza.

El tema tiene relevancia puesto que el ladrillo es un material importante para la construcción, un nuevo proceso de fabricación permitirá ofrecer al mercado unidades de albañilería de mejores características y propiedades que permitan tener construcciones más seguras.

La investigación pretende a nivel de laboratorio preparar estas unidades a pequeña escala para ensayos que cumplan lo establecido en la normativa. La normativa establece que la resistencia a la compresión para unidades de albañilería portante debe alcanzar un mínimo de 50 Kg/cm².

Asimismo, que el valor máximo de absorción para estas unidades de albañilería debe de ser 22%.

Otro aspecto a considerar en la presente investigación es la eflorescencia que está relacionada a las sales que tiene el material con el que se fabrican los ladrillos, cuando entran en contacto con el agua se disuelven, al secarse dejan manchas de color blanco en la superficie del ladrillo, que en muchos casos por la intensidad de estas manchas producen un deterioro prematuro del ladrillo.

Para la preparación de estos bloques en forma de cubos se utiliza la arena para darle consistencia al bloque, la cal hidratada como aglomerante que da la forma a la mezcla dentro del molde, se procede de acuerdo a Norma. Los bloques moldeados son curados en autoclave de laboratorio teniendo como referencia el fraguado acelerado según lo indicado en la norma E.060 de concreto armado ítem 5.11.8.

La presente investigación pretende satisfacer lo establecido en la norma aspecto que se demuestra con las pruebas y los resultados obtenidos.

La cal hidratada es un material muy antiguo anterior al cemento cuyos principales usos están en el manejo del medio ambiente, la minería, la construcción, tratamiento de suelos, aplicaciones químicas, industriales y agrícolas.

ÍNDICE

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	II
RESUMEN	III
ABSTRAC.....	VI
SINTESIS.....	IX
INTRODUCCIÓN	X
CAPITULO I	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	1
1.2 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.2.1 Delimitación espacial.....	2
1.2.2 Delimitación social.....	2
1.2.3 Delimitación temporal.....	2
1.2.4 Delimitación conceptual.....	3
1.3 PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE INVESTIGACION.....	3
1.3.1 Problema general	3
1.3.2 Problemas específicos	3
1.4 OBJETIVOS.....	3
1.4.1 Objetivo general	3
1.4.2 Objetivos específicos	3
1.5 FORMULACION DE LA HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION	4
1.5.1 Hipótesis general	4
1.5.2 Hipótesis específicas.....	4
1.6 VARIABLES DE LA INVESTIGACION	4
1.6.1 Variables independientes	4
1.6.2 Variables dependientes	5
1.6.3 Operacionalización de las variables.....	5
1.7 DISEÑO DE LA INVESTIGACION	5
1.7.1 Tipo de investigación	5
1.7.2 Nivel de investigación.....	6
1.7.3 Métodos de investigación.....	6
1.7.4 Diseño de investigación.....	6

1.8	POBLACION Y MUESTRA DE LA INVESTIGACION.....	8
1.8.1	Población	8
1.8.2	Muestra	9
1.9	TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS	9
1.9.1	Técnicas	9
1.9.2	Instrumentos	10
1.10	JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACION	11
1.10.1	Justificación	11
1.10.2	Importancia.....	12
	CAPITULO II	13
	MARCO TEÓRICO.....	13
2.1.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION	13
2.2.	BASES TEÓRICAS	16
2.2.1.	Cal hidratada.....	17
2.2.2.	Composición Química de la Cal Hidratada.....	19
2.2.3.	Tipos de cal	20
2.2.4.	Arena	21
2.2.5.	Agua	22
2.2.6.	Preparación de bloques de arena y cal hidratada	23
2.2.7.	Unidades de albañilería	24
2.2.8.	Clasificación por sus dimensiones	25
2.2.9.	Clasificación por su materia prima y fabricación.....	25
2.2.10.	Procesos de producción en general.....	26
2.2.11.	Propiedades físicas y mecánicas norma E.070.....	26
2.3.	DEFINICION DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	29
	CAPITULO III	34
	PRESENTACION DE RESULTADOS	34
2.4.	CONFIABILIDAD Y VALIDACION DEL INSTRUMENTO	34
2.4.1.	Revisión de la Información.	34
2.4.2.	Materiales para elaborar bloques de arena con cal hidratada.	35
2.4.3.	Determinación de fineza de la Cal hidratada.	35
2.4.4.	Composición química de la Arena	36
2.4.5.	Granulometría de la arena.....	37
2.4.6.	Agua	38
2.5.	ANALISIS CUANTITATIVO DE LAS VARIABLES.....	38

2.5.1. Preparación de la mezcla.....	38
2.5.2. Determinación de la Fluidéz	40
2.5.3. Resultados de la fluidez y contenido de agua de las mezclas	42
2.5.4. Moldeo de Bloques de Arena con cal Hidratada.	43
2.5.5. Desmoldeo de los Bloques de Arena y Cal Hidratada.	45
2.5.6. Ingreso de los bloques al Autoclave	45
2.5.7. Resultados de compresión	47
2.5.8. Pruebas de Absorción del bloque de Arena y Cal Hidratada.....	47
2.5.9. Prueba de Eflorescencia de bloque de Arena y Cal Hidratada	53
2.6. PRUEBAS DE NORMALIDAD	55
2.6.1. Resultados de resistencia a la compresión.....	55
2.6.2. Conclusiones de la resistencia a compresión	56
2.6.3. Resultados de Absorción de muestras del autoclave.....	57
2.6.4. Conclusiones de la Absorción	58
2.6.5. Resultados de Eflorescencia de las muestras de autoclave	59
CAPITULO IV	63
PROCESO DE CONTRASTE DE HIPOTESIS.....	63
2.7. PUEBA DE HIPOTESIS GENERAL	63
2.8. PUEBA DE HIPOTESIS ESPECÍFICA	63
CAPITULO V	64
DISCUSION DE RESULTADOS	64
CONCLUSIONES	64
RECOMENDACIONES	66
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	68
ANEXOS	70

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

En la zona del altiplano peruano los ladrillos se elaboran a través de una mezcla de arcillas y arena en diversas proporciones; otro elemento de albañilería de gran uso son las bloquetas que son elementos (San Bartolome, Quiun, & Silva, 2003) producto de una mezcla de cemento con agregados de diferentes granulometrías, a pesar de fabricarse ambos elementos en gran cantidad, el volumen de producción es insuficiente. Se requiere de un mayor grado de industrialización para producir a mayor escala y satisfacer las necesidades de la región.

La fabricación de ladrillos, tejas y otros productos de arcilla cocidos de forma artesanal, se ha convertido en un problema ecológico en muchas ciudades de nuestro país (Gutierrez Gutierrez, 2014).

El abastecimiento de ladrillos mecanizados se realiza desde las regiones de Arequipa, Cusco y también desde el vecino país de Bolivia donde la disponibilidad de gas natural permite obtener precios competitivos en la producción de ladrillos para poder exportarlos hacia el Perú, específicamente a la región Puno, donde la dinámica de la construcción es permanente.

Nuestra región cuenta con recursos naturales que pueden ser utilizados para procesos alternativos de elaboración o fabricación de unidades de albañilería, estos recursos son elementos que contienen óxidos de sílice y aluminio como las arenas, las diatomeas, las puzolanas que, al ser mezclados con otro material aglomerante como la cal hidratada, pueden ser utilizados para el desarrollo de elementos de albañilería denominados silicios calcáreos.

Estos materiales descritos deben de ser estudiados para su explotación en canteras que cuenten con las características requeridas para este propósito. Los materiales se encuentran identificados por el INGEMMET (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico) Organismo Público Técnico Descentralizado del Sector Energía y Minas del Perú, con sede en Puno.

Estos conceptos despiertan la inquietud para llevar a cabo este Plan de Investigación.

1.2 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Delimitación espacial

La investigación se realiza en la ciudad de Juliaca donde se desarrollan los bloques de arena y cal hidratada, para poder aplicarlas en la fabricación de ladrillos en nuestra región donde el nivel de oferta de ladrillos elaborados en la región está por debajo de las necesidades.

1.2.2 Delimitación social

Concierno a toda la comunidad, la construcción es una actividad básica que genera empleo y servicios para amplios sectores de la población de forma directa además de la prestación de servicios y suministro de materiales.

1.2.3 Delimitación temporal

La investigación se inicia durante el mes de febrero del presente año, con la idea y maduración de la investigación, analizando la disponibilidad de recursos para llevarla a cabo y se concluye el 30 de Diciembre del presente año, con las conclusiones de las pruebas realizadas sobre el desarrollo de los bloques de arena y cal hidratada.

1.2.4 Delimitación conceptual

Esta investigación es explicativa por la utilización de materiales existentes en la región para demostrar que estos cumplen con los requisitos de la Norma de Albañilería E070. A través de ensayos de laboratorio. Sometiendo los bloques a pruebas de resistencia mecánica, y cumplan también otras propiedades físicas.

1.3 PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE INVESTIGACION

1.3.1 Problema general

¿Cuál será el comportamiento físico mecánico de los bloques de arena con cal hidratada para ladrillos en autoclave en la Región Puno?

1.3.2 Problemas específicos

- ¿Cómo será la resistencia a la compresión para los bloques de arena con cal hidratada?
- ¿Cómo será la Absorción para los bloques de arena con cal hidratada
- ¿Cómo será la Eflorescencia para los bloques de arena con cal hidratada?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Desarrollar un diseño, de arena con cal hidratada para ladrillos en autoclave en la Región Puno.

1.4.2 Objetivos específicos

- Desarrollar un bloque de arena y cal hidratada que cumpla con la Resistencia a la compresión.

- Desarrollar un bloque de arena y cal hidratada que cumpla con los requisitos de Absorción.
- Desarrollar un bloque de arena y cal hidratada que cumpla con los requisitos de Eflorescencia.

1.5 FORMULACION DE LA HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION

1.5.1 Hipótesis general

Los bloques con arena y cal hidratada para elaborar ladrillos en autoclave en la Región Puno cumplen la Norma E 070 de Albañilería

1.5.2 Hipótesis específicas

- Los bloques de arena con cal hidratada cumplen con la resistencia a compresión establecidas por la norma E 070 de Albañilería.
- Los bloques de arena con cal hidratada cumplen con la absorción establecida por la norma E 070 de Albañilería.
- Los bloques de arena con cal hidratada cumplen con eflorescencia establecida por la norma E 070 de Albañilería.

1.6 VARIABLES DE LA INVESTIGACION

1.6.1 Variables independientes

VARIABLES INDEPENDIENTES	Bloque de arena con 10% de Cal hidratada
	Bloque de arena con 15% de Cal hidratada
	Bloque de arena con 20% de Cal hidratada

1.6.2 Variables dependientes

VARIABLES DEPENDIENTES	Resistencia a compresión	Kg/cm ² de Resistencia a la Compresión
	Absorción	% de Absorción de humedad
	Eflorescencia	Cambio de coloración

1.6.3 Operacionalización de las variables

La operacionalización de las variables para la medición de las tres variables consideradas es:

- ✓ Kg/cm², unidad de medición de la resistencia a la compresión que expresa la fuerza que se ejerce por unidad de superficie.
- ✓ Porcentaje de absorción de humedad, viene a ser la cantidad de agua que se introduce en el bloque estudiado por efecto de la capilaridad, que incrementa su peso con respecto a un peso inicial medido.
- ✓ La Eflorescencia fenómeno que se origina por la dilución de las sales que contiene el material con el que se fabrica el bloque y que estas sales se hacen visibles cuando el agua se evapora. Dejando la superficie del bloque manchada, esta coloración diferente al color de la superficie de ladrillo presenta diferentes tonalidades de acuerdo al efecto de las sales presentes en el material.

1.7 DISEÑO DE LA INVESTIGACION

1.7.1 Tipo de investigación

Se trata de una investigación de carácter experimental explicativa, partiendo de un marco teórico conocido, aplicando estos conocimientos, se preparan muestras para que a través de mediciones se demuestren sus propiedades definidas, los resultados obtenidos definen su aplicación en el campo de trabajo al cual se dirige.

1.7.2 Nivel de investigación

El nivel de esta investigación es EXPLICATIVO, se estudian las causas que originan la variación de los resultados a través de un experimento que demuestran con las modificaciones de la variable independiente.

“La investigación Explicativa pretende establecer las causas de los eventos, sucesos o fenómenos que se estudian”. (Hernández, 2003)

Es explicativa porque describe el fenómeno, a través del comportamiento de las variables. La metodología cuantifica a través de resultados medibles.

1.7.3 Métodos de investigación

El método de la investigación es CUANTITATIVO, que tiene como principio realizar mediciones sobre las variables propuestas, estos resultados a través de análisis estadísticos o también por directa comprobación de los resultados, demuestran la hipótesis planteada como también los principios teóricos bajo los que se sustenta.

1.7.4 Diseño de investigación

Se sustenta en normas técnicas para el desarrollo de los bloques sobre los cuales se desarrollan las pruebas para comprobar las hipótesis planteadas.

A. Preparación de mezclas de arena y cal hidratada.

Se preparan mezclas de arena y cal hidratada con diferentes cantidades de cal hidratada por:

B. Preparación de Mezclas con diferentes proporciones de cal.

A través de pruebas en mesa de fluidez o cono de abrams hemos podido determinar las proporciones adecuadas de cal, arena y agua para el

desarrollo de los especímenes de estudio como referencias hemos utilizado procedimientos y cálculos de preparación de morteros (Costos y Presupuestos en Edificaciones) Capeco para las mezclas con cal hidratada.

C. Moldeo de los bloques de arena y cal hidratada.

La mezcla de arena, cal hidratada y agua obtenida en un mezclador, se colocan en un molde para obtener los bloques de forma cúbica de acuerdo a la norma ASTM.

D. Desmoldado de los bloques de arena y cal hidratada.

La mezcla en el molde adquiere la consistencia necesaria de donde es retirada con la forma de un cubo de 50 mm x 50 mm x 50 mm.

E. Colocación de los bloques de cal hidratada y arena en el Autoclave u Olla a Presión para fraguado acelerado.

De acuerdo a la norma E 060 hace referencia en el punto 5.11.8 Curado acelerado "El curado con vapor a alta presión, vapor a presión atmosférica, calor y humedad, u otro proceso aceptado, puede emplearse para acelerar el desarrollo de resistencia y reducir el tiempo de curado. "La mezcla a ensayar en forma de cubo es depositada en el interior de un autoclave u olla a presión donde permanece por aproximadamente 6 horas y que por efecto de la temperatura y presión de vapor el bloque de arena y cal se endurece y adquiere resistencia que se busca en función a la cantidad de cal hidratada que se aplicó a cada bloque.

F. Prueba de resistencia a la compresión de los bloques de arena y Cal Hidratada.

La medición de la prueba se realiza utilizando una prensa hidráulica donde se registra la resistencia del bloque.

G. Pruebas de absorción de bloques de arena y cal hidratada.

Consiste en secar, pesar el bloque, sumergirlo en agua y pesarlo para determinar el incremento de peso por efecto del fenómeno de capilaridad que introduce el agua a través de los poros al interior del bloque.

H. Prueba de eflorescencia de bloques de arena y cal hidratada.

Observar la intensidad de la coloración que dejan las sales disueltas en función al porcentaje de cal hidratada utilizado para la elaboración de cada bloque.

I. Análisis de resultados de cada una de las pruebas.

El análisis está ligado a relacionar los resultados con lo que establece la norma E070 para elementos de albañilería que vienen a ser los ladrillos.

J. Conclusiones

Verificar si cumplimos con lo establecido en nuestra hipótesis con los respectivos aportes y comentarios sobre el tema.

1.8 POBLACION Y MUESTRA DE LA INVESTIGACION

1.8.1 Población

La población está conformada por la cantidad de bloques que se han preparado, para el proceso de pruebas, las cantidades son de 10 unidades para pruebas de compresión, 10 unidades para absorción, 6 unidades para pruebas de eflorescencia. Aplicándose para cada una de las proporciones planteadas: M1:10% de Cal hidratada 90% de Arena, M2: 15% de Cal hidratada y 85% de Arena, 20% de Cal hidratada y 80% de Arena. Tomando como referencia la experiencia de (Ariel León, Rojas Reyes, Umbarilla Suarez & Bustamante R. 2008).

1.8.2 Muestra

Para el presente estudios se han preparado 78 bloques de 50mm x 50 mm x 50 mm como muestras distribuidas de la siguiente forma:

Para Resistencia a la compresión:

- 10 bloques de arena con 10% de cal hidratada.
- 10 bloques de arena con 15% de cal hidratada.
- 10 bloques de arena con 20% de cal hidratada.

Para Pruebas de absorción:

- 10 bloques de arena con 10% de cal hidratada.
- 10 bloques de arena con 15% de cal hidratada.
- 10 bloques de arena con 20% de cal hidratada.

Para Pruebas de Eflorescencia:

- 6 bloques de arena con 10% de cal hidratada.
- 6 bloques de arena con 15% de cal hidratada.
- 6 bloques de arena con 20% de cal hidratada.

1.9 TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECIÓN DE DATOS

1.9.1 Técnicas

Esta actividad se realizó mediante la técnica de medición y observación directa de los resultados obtenidos en la prensa de compresión para la rotura de los bloques, lectura de temperatura para el secado bloques, pesado de bloque para calcular las diferencias.

Se recolectó la información en las normas ASTM y trabajos de investigación realizados en países como Colombia y España.

También se recogió información sobre equipos para la fabricación de estos materiales que son fundamentales para saber hacia dónde se orienta el proyecto.

1.9.2 Instrumentos

La información obtenida se procesó estadísticamente para su análisis e interpretación respectiva. Para el análisis e interpretación de resultados se han utilizado:

- ✓ Tablas Estadísticas.
- ✓ Indicadores Estadísticos Descriptivos como valores promedio, máximo, mínimo y desviación estándar.
- ✓ Gráficas estadísticas de comparación de resultados aplicadas para las diferentes concentraciones de cal hidratada.

También hemos considerado:

La Crítica, permite analizar y evaluar los resultados obtenidos con la finalidad de encontrar errores o desviaciones, para corregirlos o eliminarlos por falta de coherencia con respecto a los otros resultados.

La Codificación permite distinguir las diferentes características de la información para su manejo de manera ordenada, La información presentada se ha clasificado en tres grupos como M1, M2, M3, que representan 10,15 y 20% de adición cal hidratada.

Digitación, procedimiento a través del cual introducimos toda la información codificada al ordenador para su procesamiento en la Hoja de cálculo Excel del Microsoft Office.

1.10 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACION

1.10.1 Justificación

Nuestra región y el país en general requieren de nuevas propuestas para la fabricación de materiales de construcción sobre todo ladrillos, más aún si evitamos el uso de arcillas importantes para otras actividades como la agricultura, los ladrillos elaborados con materiales de alto contenido de sílice, utilizando como aglomerantes cal hidratada, son ecológicos porque consumen CO₂ de la atmósfera y contribuyen a disminuir el efecto invernadero en nuestro planeta. Además de constituir una nueva alternativa para la construcción de viviendas.

Dentro de nuestra región la fabricación de ladrillos se realiza de manera informal y artesanal por grupos familiares y organizaciones de productores. La producción artesanal implica la poca utilización de maquinaria y por lo tanto bajos niveles de productivos, la informalidad en la fabricación de ladrillos no garantiza el uso de mano de obra calificada, son actividades de subsistencia donde inclusive participan menores de edad que pertenecen al núcleo familiar dedicada a esta actividad.

Estos centros de producción están constituidos por un área de labranza donde moldean los ladrillos utilizando como materia prima arcillas, arena y moldes de madera. La quema del ladrillo se realiza en hornos abiertos a través de fuego directo utilizando como combustible, leña, llantas usadas, aceites sucios, residuos de madera como aserrín, bosta o cualquier material que pueda generar calor.

El uso de estos últimos materiales como combustible genera emisiones de gases altamente tóxicos y cancerígenos como óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles (COV), hidrocarburos aromáticos poli nucleares, dioxinas, furanos, benceno, bifenilos poli clorados y metales pesados como As, Cd, Ni, Zn, Hg, Cr, V, etc., estos elementos y

compuestos provocan irritación a la piel, ojos y membranas mucosas, trastornos en las vías respiratorias, en el sistema nervioso central, depresión y eventualmente cáncer; características que los hacen inaceptables para ser utilizados con este fin (Gutierrez Gutierrez, 2014).

En las actuales circunstancias donde las exigencias ambientales son mayores se tienen que utilizar procesos de fabricación con mayores niveles de control, que reduzcan los riesgos medioambientales, la investigación planteada para el desarrollo de bloques de arena con cal hidratada, es un punto de partida para la fabricación de ladrillos por otros procedimientos de producción. Que aseguran un menor consumo energético y también disminuyen los niveles de polución y contaminación ambiental, aspectos que pueden ser abordados y analizados por la otras áreas de la ingeniería como ambiental, química e industrial.

1.10.2 Importancia

- ✓ Es una nueva alternativa para la elaboración de ladrillos sílico-calcáreos en nuestra región.
- ✓ Contribuye con el medio ambiente, el proceso de preparación y fabricación son menos contaminantes que los procesos actuales de fabricación.
- ✓ Pone en uso un nuevo material fabricado de una manera diferente donde se requiere de mayor conocimiento, dando oportunidades de trabajo a profesionales de diversas disciplinas en nuestra región.
- ✓ Responde a una necesidad del mercado, donde la oferta interna de ladrillos es insuficiente en calidad y cantidad. La normativa en construcción es cada vez más exigente al ser nuestra región considerada como zona sísmica.
- ✓ El costo y calidad de las construcciones va estrechamente ligada al uso de materiales y mano de obra de calidad, los ladrillos fabricados con estos bloques no presentaran mayores desviaciones en el tamaño y alabeo por realizarse el proceso de fabricación utilizando equipo y maquinaria que cuenta con moldes de acero que evitan las variaciones en los tamaños de las unidades.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

A nivel internacional y nacional tenemos estudios e investigaciones que desarrollan el uso de cal en diferentes formas siendo algunas de estas las que a continuación se enumeran:

1. Evaluación experimental de unidades sílico-calcáreas a partir de escoria de alto horno y cal hidráulica para mampostería (Ariel Leon , Rojas Reyes, Umbarila Suarez, & Bustamante R., 2008).

Objetivo:

Es obtener un ladrillo sílico-calcáreo que podría utilizarse como unidad de mampostería para su posible aplicación. Dentro de la construcción convencional de viviendas.

Para la elaboración de esta unidad experimental se utilizaron dos materiales de origen industrial diferente: escoria de Alto Horno proveniente de una acería que viene a ser un material de desecho y cal hidráulica. Si se pudiera obtener un ladrillo proveniente de materiales de desecho y bajo costo de producción no sólo se obtendría un nuevo material de construcción, sino que este material sería ecológicamente producido, por la utilización de un material de desecho como la escoria de acero.

En la mampostería moderna, se aprovechan los ladrillos de arcilla y los bloques de concreto de gran resistencia, unidos mediante morteros de cemento. El muro así ensamblado se considera un elemento monolítico, siempre y cuando las uniones de las juntas puedan garantizar la transmisión de esfuerzos entre las piezas individuales, sin fallas o deformaciones considerables.

Existe toda una gama de piezas en el mercado, en general la geometría de estas no está regulada, pero se exige que cumplan las especificaciones adoptadas en la Norma Sismo Resistente 98 (NSR-98) en su numeral D.3.6. La evaluación del comportamiento de las unidades sílico-calcáreas para mampostería debe cumplir con la Norma Técnica Colombiana 922 (NTC 922).

Metodología:

Para llegar al objetivo de obtener un ladrillo para mampostería, se debió caracterizar las materias primas utilizadas en la fabricación e implementar un diseño experimental adecuado. Luego se evaluaron las diferentes mezclas (desde 10 hasta 50% de cal) con el fin de compararlas y determinar cuáles cumplen con la norma NTC 922.

Resultados:

Se obtuvieron resistencia a la compresión corresponden al valor promedio de tres probetas de ensayo. Con base en la NTC-922 los ladrillos sílico-calcáreos ensayados Tipo II deben cumplir con una resistencia a la compresión mínima de 80 kgf/cm² y el promedio para cinco unidades es 100 Kgf/cm².

2. Recuperación de morteros romanos de cal y polvo de ladrillo en aplicaciones actuales (Gonzales Cortina, 2000).

La tesis se fundamenta en la utilización de residuos de fábricas cerámicas para su aprovechamiento y reutilización mediante una trituración, para posteriormente mezclarlos con cal aérea y obtener así un conglomerante capaz de fraguar, endurecer y adquirir resistencias tanto al aire como sumergido en agua.

La cal, como conglomerante hidráulico, no se fabrica actualmente en España debido al uso de los cementos Portland. Sin embargo, las propiedades que tienen los morteros realizados con cal, como la mejora de la plasticidad y trabajabilidad, incremento de la retención del agua, obtención de morteros más flexibles y con mayor adherencia, facilidad en el reamasado, curado

autógeno con menor retracción y fisuración, ausencia de eflorescencias, etc., son difícilmente alcanzables por los morteros realizados con cemento.

Objetivo:

Desarrollo de morteros, que tienen las características de los morteros de cal pero con propiedades hidráulicas. Estos morteros, aunque ya fueron utilizados por los romanos, han caído en desuso. Estos morteros son adicionados con polvo de ladrillo, que actúan aportando hidraulicidad a los morteros de cal presentando la ventaja adicional de ser una adición de bajo coste.

Metodología:

En el desarrollo de la tesis se han realizado distintos tipos de morteros de cal, polvo de ladrillo, arena y agua, variando las dosificaciones y las características de la adición-temperatura de cocción y finura de molido, estudiando su hidraulicidad y la evolución de las propiedades mecánicas y físicas relacionando todas las variables y comprobando cómo evolucionan a lo largo del tiempo y cómo influyen cada una de ellas, estudiadas individual y conjuntamente. Para ello, además de los ensayos convencionales de dureza, resistencias a flexión y compresión, etc., se ha desarrollado un ensayo físico de hidraulicidad.

Conclusiones:

Se ha comprobado la fiabilidad de los ensayos mediante un estudio estadístico y se ha llegado a una relación entre las distintas propiedades físicas y mecánicas de los morteros realizados. La tesis complementa los ensayos con análisis microestructurales y mediante D.R.X (Difracción de Rayos X) para constatar la formación de compuestos hidráulicos y conocer la interfase formada en dichos compuestos. La tesis obtiene dosificaciones concretas para obtener morteros hidráulicos con buenas propiedades físicas y mecánicas, dejando abiertas futuras líneas de investigación.

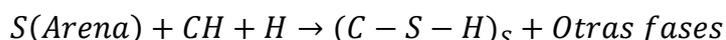
Además de estas propuestas tenemos las siguientes referencias:

- Tesis de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco sobre el estudio de morteros de cal para la refacción de la portada de la catedral del Cusco.
- Uso del Concreto Celular en Unidades de Albañilería No Estructural. Tesis de la Universidad Nacional de Ingeniería.
- El uso de la cal hidratada está difundido en los países del primer mundo como material para elaborar mampostería por su capacidad de mantener el calor, eliminar la humedad de los ambientes, mezclar con materiales que tengan afinidad química para la fabricación de ladrillos y otros materiales aislantes en nuestro país existe una fábrica de estos materiales en la ciudad de Lima que utiliza arena fina con cal hidratada.
- Este tipo de unidades de albañilería también está mencionado en el texto de Ángel Bartolomé, Daniel Quiun y Wilson Silva "Diseño y Construcción de Estructuras Sismo resistentes de Albañilería" de la PUCP.
- En nuestra región la cal se ha utilizado antiguamente para la preparación de morteros, los cuales sirvieron para la construcción de templos, puentes y viviendas.
- Otro aporte de la cal hidratada en regiones vecinas fue su utilización para estabilizar suelos en la construcción de caminos. También la cal hidratada es utilizada como filler y su capacidad cohesiva en la interfase de la piedra y el asfalto aspecto fundamental en la preparación del asfalto para el recubrimiento de autopistas.

2.2. BASES TEÓRICAS

Para el desarrollo de los bloques de arena con cal hidratada, se requieren de la cal hidratada que se obtiene a través de un proceso de calcinación y apagado, que utiliza como materia prima la piedra caliza; la arena debe contener suficientes cantidades de Sílice y Alúmina en su composición química para poder formar los silicatos de calcio que le confieren resistencia y dureza a los bloques, el agua permite juntar los materiales para obtener un mortero que sea moldeable para formar los bloques.

La resistencia mecánica de los bloques se desarrolla a través de una reacción de carácter químico que se presenta en la reacción que se muestran.



Donde:

CH = Hidróxido de Calcio.

S = Óxido de Sílice.

H = Agua

$(C - S - H)_s$ = Silicatos de calcio de hidratados de estequiometría no definida (Oviedo, s.f.).

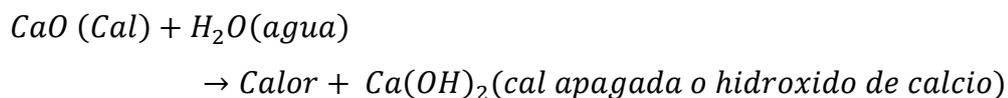
La arena constituida por óxidos de silicio y alúmina reacciona con el hidróxido de calcio para formar un compuesto hidráulico (C-S-H) compuesto que se produce por la mezcla de la arena, hidróxido de calcio que se encuentra en la cal apagada y agua. Para acelerar la reacción se somete a un curado acelerado (Sencico, 2009) con vapor a alta presión, con el objeto de acelerar el fraguado.

Este proceso de fraguado es muy similar al que se desarrolla para el fraguado del cemento.

2.2.1. Cal hidratada

También se denomina como cal apagada, este material se obtiene por el apagado de la cal viva con agua. La cal viva se obtiene a través del quemado de la piedra caliza en hornos construidos para este propósito.

La cal viva debe ser apagada para utilizarla, porque al mezclarse con el agua desprenden calor,



Para la obtención de la cal se utiliza la piedra caliza, roca sedimentaria compuesta por elevadas concentraciones de $(CaCO_3)$, esta roca se la puede observar en todo el altiplano formando grandes bloques de roca, frecuentemente presenta trazas de magnesita $(MgCO_3)$ y otros carbonatos. También puede contener pequeñas cantidades de minerales como arcilla, cuarzos, etc., que le transmiten otra coloración a la roca, generalmente amarillenta por la presencia de magnesio. El carácter monomineral de los bloques de calizas permite su inmediato reconocimiento. Con el ácido clorhídrico reacciona efervesciendo, tiene una dureza de 3 dentro de la escala de Mohs.

La piedra caliza es una roca industrial se utiliza para la fabricación del cemento, en las pinturas donde con una finura adecuada trabajan para transferir volumen y peso, en la fabricación de llantas.

Dentro de la construcción también se utiliza como un material árido siempre que cumpla las pruebas destinadas para la aceptación como agregado del concreto. Como la prueba de Ángeles.

Para la producción de cal viva la piedra caliza debe de someterse a un proceso de selección por tamaños en caso se produzca a nivel artesanal o se triture a tamaños que puedan procesarse en hornos industriales como los rotativos horizontales o verticales. El proceso de calcinación implica llevar la piedra caliza a temperaturas cercanas a los $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ donde se obtiene la cal, de acuerdo a la siguiente reacción química.



La calidad de la cal producida depende de la concentración de carbonato de calcio que tenga la piedra caliza.

2.2.2. Composición Química de la Cal Hidratada.

La cal hidratada es un material blanquecino que absorbe rápidamente la humedad adquiriendo una consistencia pastosa, característica que la adquiere por el alto grado de fineza que le confiere esta propiedad, la facilidad de mezclarse con otros agregados como la arena o áridos de mayor granulometría.

La determinación de la composición química de los materiales se realiza por el método clásico de análisis químico, denominado por vía húmeda utilizando las diferentes marchas establecidas por la química analítica o por métodos más directos a través o instrumentales mediante el uso de equipos de FRX (Fluorescencia de Rayos X) o absorción atómica que permiten conocer los componentes internos de la materia en sus diferentes proporciones.

Cuadro 1. Composición Química de la Cal Hidratada

Hidróxido de Calcio	Ca (OH) ₂	79.00%
Óxido de Sílice	Si O ₂	5.00%
Óxido de Aluminio	Al ₂ O ₃	1.50%
Óxido de Hierro	Fe ₂ O ₃	1.00%
Oxido de Magnesio	Mg O	2.00%
Perdida por Calcinación	PPC	11.00%

Como se observa en el Cuadro 1 el principal componente viene a ser el hidróxido de calcio responsable de producir los enlaces químicos con otros elementos que desarrollan resistencias mecánicas.

2.2.3. Tipos de cal

2.2.3.1. Cal aérea

Se produce por la cocción de la caliza pura (carbonato de calcio) alrededor de 900°C y está acompañada de una pérdida del 45% de su peso, correspondiente a la pérdida de gas carbónico (Habitar, 2015).

2.2.3.2. Cal dolomítica

En las calizas dolomíticas el carbono de calcio está asociado al carbonato de magnesio que pueden variar de 8 a 45% de concentración de Carbonato de Magnesio que le transmite otras propiedades a la cal, que también se denominan como cal magnesiada o dolomítica. Estas tienen gran utilidad en actividades como la agricultura y la siderurgia (Habitar, 2015).

2.2.3.3. Cal hidráulica natural

Son raras las calizas puras. Casi siempre aparecen mezclados con arcillas, ricas en elementos químicos como el hierro el aluminio y sobre todo la sílice y de las cuales procede la Cal hidráulica natural. Entre los 800°C y 1500°C, el calcio de la caliza se combina con dichos elementos formando silicatos, aluminatos y ferro-aluminatos de calcio.

Al contacto con agua estos cuerpos quieren formar hidratos insolubles lo que confieren al ligante un carácter hidráulico.

Al contacto con el aire húmedo, la cal y los hidratos así formados carbonizan con el gas carbónico del aire. Esta reacción dura varios meses y es la parte aérea del proceso.

Los científicos del siglo diecinueve intentaron clasificar las cales hidráulicas según su índice de hidraulicidad, dependiente de su contenido de arcilla (entre 5 y 30%).

En la actualidad se producen cales hidráulicas con baja y alta hidraulicidad formando 3 clases de resistencia de las cuales las más frecuentes son:

- La clase NHL 5 (la más resistente entre las cales hidráulicas naturales, con una resistencia mínima a la compresión 28 días = 5 M Pa y un contenido de arcilla de la caliza procedente de entre 15-20%.)
- La clase NHL 3,5 (resistencia mínima a la compresión 28 días = 3,5 Mpa, contenido de arcilla de la caliza procedente = 8-15%)
- La clase menos frecuente la clase NHL 2 con un contenido muy bajo de arcilla y una resistencia final a la compresión menor a 3.5 Mpa (Habitar, 2015).

2.2.4. Arena

Se considera como un agregado fino a la arena o piedra natural finamente triturada (Abanto Castillo) Este tamaño de partículas se forman por efecto de la erosión que produce el viento y el agua, en los ríos las rocas al ser arrastradas por las corrientes de agua chocan entre sí y producen fragmentos pequeños y finos que por efecto del movimiento y el roce entre ellas van reduciéndose y formando diferentes tamaños de partículas. La composición química y el color de las arenas guardan relación con las rocas que le dieron origen como son las ígneas o sedimentarias. Una partícula de arena se denomina grano. Una roca formada o compuesta por partículas se llama arenisca. Según los tamaños de la partícula se denominan como limos, arena y grava.

Un aspecto importante de este material es la granulometría, que viene a ser los diferentes tamaños de partículas que lo conforman.

La granulometría se determina utilizando un conjunto de mallas determinadas por la ASTM (American Society of Testing Materials). Por donde el material pasa o es retenido, el objetivo es determinar la cantidad de los diferentes tamaños que se encuentran en la arena, para luego ser pesados y expresados como porcentaje en peso, pudiendo ser porcentaje pasante o acumulado.

Tabla 1 Límites de granulometría según ASTM

Número de Malla	Dimensión de la malla	Porcentaje que pasa (Acumulado)
3/8"	9.5 mm	100
N°4	4.75 mm	95 a 100
N°8	2.36 mm	80 a 100
N°16	1.18 mm	50 a 85
N°30	0.6 mm	25 a 60
N°50	0.3 mm	10 a 30
N°4 100	0.15mm	2 a 10

Para su uso debe la arena debe de estar limpia libre de materiales orgánicos, sales y otros materiales perjudiciales las formas de las partículas deben de ser angulares, duras y resistentes. Deben de cumplir la granulometría establecida por la norma.

2.2.5. Agua

Sustancia, cuyas moléculas están formadas por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H₂O). El término agua generalmente se refiere a la sustancia en su estado líquido, aunque la misma puede hallarse en su forma sólida llamada hielo y en su forma gaseosa denominada vapor. Es una sustancia bastante común en el universo y el sistema solar, donde se encuentra principalmente en forma de vapor o de hielo. Es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida.(Agua-Wikipedia-Enciclopedia).

El agua cubre el 71% de la superficie de la corteza terrestre (CIA, 2008). Se localiza principalmente en los océanos, donde se concentra el 96,5% del agua total. A los glaciares y casquetes polares les corresponde el 1,74%, mientras que los depósitos subterráneos (acuíferos), los permafrost y los glaciares continentales concentran el 1,72%. El restante 0,04% se reparte en orden decreciente entre lagos, humedad del suelo, atmósfera, embalses, ríos y seres vivos. El agua circula constantemente en un ciclo de evaporación o transpiración (evapotranspiración), precipitación y desplazamiento hacia el mar. Los vientos transportan en las nubes como vapor de agua desde el mar y en sentido inverso tanta agua como la que se vierte desde los ríos en los mares, en una cantidad aproximada de 45 000km³ al año. En tierra firme, la evaporación y transpiración contribuyen con 74 000km³ anuales, por lo que las precipitaciones totales son de 119 000km³ cada año.

Se estima que aproximadamente el 70% del agua dulce se destina a la agricultura. El agua en la industria absorbe una media del 20% del consumo mundial, empleándose en tareas de refrigeración, transporte y como disolvente en una gran variedad de procesos industriales. El consumo doméstico absorbe el 10% restante. El acceso al agua potable se ha incrementado durante las últimas décadas en prácticamente todos los países. Sin embargo, estudios de la FAO estiman que uno de cada cinco países en vías de desarrollo tendrá problemas de escasez de agua antes de 2030; en esos países es vital un menor gasto de agua en la agricultura modernizando los sistemas de riego (CIA, 2008).

2.2.6. Preparación de bloques de arena y cal hidratada

El proceso consiste en utilizar un mezclador donde al interior se coloca la cal hidratada y la arena en proporciones adecuada con una determinada cantidad de agua, después de ello se arranca el mezclador hasta obtener una mezcla homogénea de color blanco grisáceo también le podemos añadir a la mezcla pigmentos para darle otra coloración.

Utilizando moldes de sección cuadrada se procede a descargar la mezcla al interior del molde donde haciendo uso de una varilla se compacta la mezcla dentro del molde que después de secarse son desmoldados.

Los bloques secos son introducidos en el autoclave u olla a presión donde por efecto de la temperatura y presión de vapor adquieren la resistencia necesaria para poder ser evaluados en la máquina de compresión.

2.2.7. Unidades de albañilería

El ladrillo se utiliza generalmente en la construcción de paredes, tabiques, que tienen la finalidad de proteger y separar los ambientes en cualquier construcción el material con el que se fabrican los ladrillos y proceso de producción deben de darle al ladrillo propiedades para soportar las inclemencias del clima sobre todo la lluvia, la erosión producida por el viento, movimientos sísmicos para cuyo efecto deben de poseer suficiente resistencia mecánica y propiedades físicas adecuadas.

El ladrillo debe de contar con las siguientes características generales: materiales de fabricación adecuados, arcilla, arena, un adecuado mezclado para un buen moldeado en moldes resistentes para que el ladrillos resulte con caras planas y paralelas, ángulos y bordes definidos, el material debe mantener cierta porosidad que permita adherirse al mortero, el material del ladrillo debe estar libre de materiales extraños y sobre todo no contar con sales disueltas que produzcan el fenómeno de la eflorescencia que deteriora los ladrillos.

En resumen, el Reglamento Nacional de Edificaciones (Norma E.070 Albañilería) manifiesta que el ladrillo no tendrá materias extrañas en sus superficies o en su interior, tales como guijarros, conchuelas o nódulos de naturaleza calcárea. Además el ladrillo, tendrá un color uniforme y no presentará vitrificaciones. No tendrá resquebrajaduras, fracturas, hendiduras

o grietas u otros defectos similares que degraden su durabilidad y/o resistencia.

2.2.8. Clasificación por sus dimensiones

De acuerdo a sus dimensiones la norma de Albañilería 070 clasifica a las unidades de albañilería en ladrillos y bloques. Se llaman ladrillos cuando pueden ser manipulados y asentados con una mano; mientras que las unidades por su mayor peso y tamaño se denominan bloques, más conocidas en nuestro medio como bloquetas.

2.2.9. Clasificación por su materia prima y fabricación

Pueden ser fabricados de arcilla y arenas que son los más abundantes y conocidos en nuestro medio, para fabricarlos se utilizan hornos de distintas formas y tamaños que dependen del grado de industrialización.

Las bloquetas y adoquines que utilizan como materia prima cemento y agregados de diferentes dimensiones, esto se pueden fabricar de manera artesanal, semi industrial, industrial.

Ladrillos de arena y cal que se producen en el Lima, siendo la más conocida la empresa Luren. Estos ladrillos son moldeados a presión en moldes de acero, que permiten obtener ladrillos con dimensiones uniformes. Para su fraguado o endurecimiento se utilizan autoclaves en serie para tener un rendimiento térmico óptimo, donde el vapor saturado que se genera por la temperatura del autoclave juega papel importante en el desarrollo de la resistencia.

También tenemos en procesos de investigación ladrillos con todo tipo de residuos como son los pelets de plásticos y vidrios.

2.2.10. Procesos de producción en general

2.2.10.1. Fabricación de ladrillos de arcilla

Se utilizan arcillas con arena para adquirir una consistencia que permita su moldeo, el ladrillo moldeado debe estar seco para proceder a quemarlo en hornos calentados con combustibles tradicionales. mediante este proceso obtenemos los ladrillos tipo King Kong, ladrillos huecos y panderetas.

2.2.10.2. Bloques de concreto

Dentro de este grupo se encuentran las bloquetas y todos los materiales utilizados en la construcción que se fabrican a través de una mezcla de agregados y cemento, una vez moldeados se realizaran un proceso de curado con agua para alcanzar el fraguado final. Mediante este procedimiento se fabrican, bloquetas, adoquines, vigas, pretensadas y bajo el mismo concepto todo tipo de elemento que se requiere para la construcción

2.2.10.3. Ladrillos silico calcáreos

Proceso de fabricación que requiere la selección de materiales adecuados, para una reacción entre los materiales con alto contenido de sílice y alúmina con la cal hidratada, para el fraguado se debe de someter a condiciones adecuadas de presión y temperatura.

2.2.11. Propiedades físicas y mecánicas norma E.070

Es necesario conocer las propiedades de las unidades, para tener una idea sobre su resistencia a la albañilería.

Las propiedades de la unidad de albañilería asociadas con la resistencia de albañilería son:

- Resistencia a la compresión
- Variabilidad dimensional y alabeo.
- Succión.

Las propiedades de la unidad de albañilería relacionadas con la durabilidad de la albañilería son:

- Resistencia a la compresión y densidad.
- Eflorescencia, absorción y coeficiente de saturación.

La norma E.070 define en su Tabla 1 las características requeridas para el diseño estructural, las que dependen de:

1. La variación de Dimensiones
2. El alabeo
3. La resistencia a compresión de la unidad

CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSION (máxima en porcentaje)			ALABEO (máximo en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN f_b' mínimo en MPa (kg/cm ²) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	4,9 (50)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6,9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9,3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12,7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17,6 (180)
Bloque P ⁽¹⁾	± 4	± 3	± 2	4	4,9 (50)
Bloque NP ⁽²⁾	± 7	± 6	± 4	8	2,0 (20)

(1) Bloque usado en la construcción de muros portantes

(2) Bloque usado en la construcción de muros no portantes

Acti

2.2.11.1. Resistencia a la compresión

Es la capacidad que tienen las unidades a resistir cargas de compresión, esta propiedad está relacionada a la densidad del material, propiedades que se desarrollan por las propiedades de los materiales como la fineza de los

materiales, grado de compactación, aspectos que determina la presencia de espacios vacíos entre las partículas. La resistencia se desarrolla por los enlaces de carácter químico que tienen lugar entre los componentes hidráulicos de los materiales cementantes, el agua, los materiales áridos de acuerdo a sus características de resistencia, dureza, tenacidad contribuyen con la resistencia de la unidad que se somete a fuerzas de compresión para determinar su resistencia.

2.2.11.2. Absorción

La absorción está ligada a la capacidad que tienen las unidades de albañilería de captar el agua y transmitirla a través del área interna que se encuentra en contacto con la superficie húmeda, esta característica se debe a la porosidad que presentan las unidades de albañilería, también se puede atribuir al tipo de material utilizado para elaborar los bloques, cuando la absorción es elevada afecta a la resistencia de los muros por la rápida disminución de la humedad en el mortero que une los ladrillos.

2.2.11.3. Eflorescencia

Esta propiedad no está normada como requisito pero sin embargo permite conocer el desempeño de unidades que se quieren destinar para edificaciones.

Si la eflorescencia es severa, las sales que se encuentran en los materiales utilizados para la fabricación de los ladrillos al entrar en contacto con el agua se solubilizan y se presentan en forma de cristales en la superficie del ladrillo donde comienzan a desintegrarlo provocando su pérdida de resistencia.

Si la unidad forma parte de un muro y no llega nunca a entrar en contacto con agua, las sales contenidas en la unidad no tienen efecto en la resistencia a la compresión ni en la durabilidad. Sin embargo si el muro se humedece, la formación de las sales puede producir fisuramiento y rompimiento de la unidad

con la consecuente pérdida de masa o la pérdida de integridad por agrietamiento lo que afecta la resistencia a la compresión.



Este fenómeno que se presenta deteriora la unidad de albañilería, complicando inclusive la estructura misma de la construcción puesto que las paredes en muchos casos están confinadas y forman parte junto con las vigas y columnas una estructura monolítica.

2.3. DEFINICION DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Piedra Caliza:** Es una roca de origen sedimentario que tiene una elevada concentración de Carbonato de Calcio. Es importante porque se utiliza para la fabricación de la cal viva y también constituye materia prima para la fabricación del cemento portland.
- **Cal Viva:** Producto de la calcinación de la piedra caliza a temperaturas cercanas a los 900°C. La piedra caliza a esta temperatura se descompone y se produce el óxido de calcio (CaO). Que viene constituir la cal viva.
- **Cal Hidratada:** Producto que se obtiene del apagado de la cal viva a este producto también se le denomina como cal muerta o cal apagada, por la adición de agua que se le tiene que aplicar, la que genera desprendimiento de calor

- **Puzolana:** Material con alto contenido de Silice y Alúmina, estos productos de origen volcánico, son formaciones geológicas de grandes bancos que generalmente se encuentran en las zonas donde se desarrollo actividad volcánica como en la ciudad de Arequipa o Nápoles en Italia.
- **Diatomea:** Materiales con alto contenido de sílices que presenta una estructura porosa que se debe formaciones geológicas ubicadas en zonas húmedas.
- **Arena:** Agregado, constituido por fragmentos finos de roca, originados por la erosión a través de los años ejemplos de ello son el lecho de los ríos, la playa de los mares, los desiertos. El tipo de arena dependen de la roca originaria de la cual se erosiono por efecto del agua, viento o movimientos de materiales.
- **Prensa:** Equipo mecánico Manual o automático para comprimir los materiales y someterlos a pruebas de resistencia a la compresión. Generalmente están constituidos por una base sólida de acero y un eje cilíndrico de diámetro variable que se desplaza verticalmente, por el accionamiento de un sistema mecánico que empuja el eje vertical, la fuerza se controla por instrumentos de medición.
- **Autoclave:** Equipo cerrado herméticamente que trabaja a elevadas presiones con vapor de agua, utiliza controladores de presión, válvulas, termómetros y otros aditamentos que aseguran que el aparato trabaje en los rangos especificados para las pruebas y que también brinden seguridad al operador. El equipo generalmente es de forma cilíndrica de una plancha de espesor calculado para que pueda resistir las presiones a las cuales trabajará. Además de contar con los elementos de medición y seguridad debe de contar un sistema de calentamiento que puede ser una resistencia, que se encuentra dentro del autoclave generalmente para autoclaves de laboratorio o también puede ser un sistema de alimentación de vapor externa en caso de autoclaves industriales.

- **Fraguado:** Es un proceso químico mediante el cual una mezcla de materiales con proporciones de cemento, cal o arcillas se endurece producto de las reacciones internas, pérdidas de humedad o acción térmica. Dentro de la construcción el fraguado viene a ser un parámetro importante, va directamente relacionado a la calidad del concreto que se quiere obtener, para lo cual se requiere de todo un proceso controlado que se denomina como curado, donde se controlan la humedad y la temperatura.
- **Absorción:** Capacidad de las unidades de albañilería para captar agua a través de la superficie de contacto.
- **Eflorescencia:** Presencia de sales que afectan la durabilidad de la unidad de albañilería.
- **Silicato de Calcio:** Denominado C-S-H por tener como fórmula $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, producto de una reacción química para convertirse en un gel cementoso responsable de las propiedades de endurecimiento. Al endurecer o fraguar el silicato cálcico hidratado atrapa a los áridos de la mezcla, los encapsula siendo el principal responsable de desarrollar la resistencia de las unidades de concreto armado, como también de las unidades de albañilería que trabajan con cemento.
- **Agua:** Sustancia que se encuentra en diferentes estados, siendo el estado líquido que se encuentra en la naturaleza formando ríos, lagos y mares, ocupa las tres cuartas partes del planeta Tierra, químicamente está formada por hidrógeno y oxígeno (H_2O).
- **Agregado:** Material granular, de origen natural o artificial, como arena, grava, piedra triturada, empleada con un material cementante para formar concreto o mortero hidráulico.

- **Mortero Hidráulico:** Mezcla constituida por un material cementante cemento, cal, arena y agua, que desarrolla resistencia según las proporciones de los materiales.
- **Arcilla:** Material fino de procedente de la descomposición de rocas por el proceso de erosión constituida por silicatos de aluminio hidratado.
- **Curado:** Mantenimiento adecuado de humedad y temperatura para un proceso normal de fraguado en concreto o mortero.
- **Granulometría:** Es la medición de los granos de una formación sedimentaria y el cálculo de cada uno de los tamaños previstos en la escala granulométrica con fines de análisis tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas.
- **Chamota:** Material granular obtenido de la pulverización de los ladrillos, piedras refractarias, u otro producto cerámico cocido. Tiene un alto porcentaje de sílice y alúmina. También se puede hacer, en altas temperaturas, a partir de arcillas refractarias. Añadiendo chamota en la arcilla mejora la textura, reduce la contracción y evita la formación de grietas durante la cocción.
- **Fluidez:** Es una medida de la consistencia de la pasta de cemento expresada en términos del incremento de diámetro de un espécimen moldeado por medio de un cono, después de sacudir un número específico de veces. Se determina con la norma ASTM C1437.
- **Rocas Sedimentarias:** Son rocas que se forman por acumulación de sedimentos, los cuales son partículas de diversos tamaños que son transportadas por el agua, el hielo o el viento, y son sometidas a procesos físicos y químicos (diagénesis), que dan lugar a materiales consolidados. Las rocas sedimentarias pueden formarse a las orillas de los ríos, en el fondo de barrancos, valles, lagos, mares, y en las desembocaduras de los

ríos. Se hallan dispuestas formando capas o estratos.(Wikipedia-enciclopedia)

- **Diagénesis:** Es el conjunto de procesos de formación de una roca sedimentaria a partir de sedimentos, tales como compactación, recristalización o cementación. La diagénesis se produce en el interior de los primeros 5 o 6 km de la corteza terrestre a temperaturas inferiores a 150-200 °C; más allá se considera ya metamorfismo.(Wikipedia-enciclopedia)

- **Metamorfismo:** Se llama a la transformación sin cambio de estado de la estructura o la composición química o mineral de una roca cuando queda sometida a condiciones de temperatura o presión distintas de las que la originaron o cuando recibe una inyección de fluidos. Al cambiar las condiciones físicas, el material rocoso pasa a encontrarse alejado del equilibrio termodinámico y tenderá, en cuanto obtenga energía para realizar la transición, a evolucionar hacia un estado distinto, en equilibrio con las nuevas condiciones. Se llaman metamórficas a las rocas que resultan de esa transformación. Entre los factores que afectan el metamorfismo están:
 - La estructura (fábrica) y composición de la roca original.
 - La presión y la temperatura en la que evoluciona el sistema.
 - La presencia de fluidos.
 - El tiempo. (Wikipedia enciclopedia).

CAPITULO III

PRESENTACION DE RESULTADOS

2.4. CONFIABILIDAD Y VALIDACION DEL INSTRUMENTO

Para la investigación realizada fue necesaria la revisión de información bibliografía, el estudio se realiza sobre los materiales a utilizar para el proceso experimental y comparar la resistencia a la compresión de los bloques elaborados con 10,15 y 20% de cal hidratada para conocer su resistencia como también estudiar las propiedades físicas de este bloque como absorción y fluorescencia aspectos importantes para poder aplicar estos resultados en la fabricación de elementos y su aplicación en la construcción que cumpla los requisitos de la norma E 070 de albañilería.

2.4.1. Revisión de la Información.

Se ha analizado la información que existe sobre el uso de la cal hidratada que a través del tiempo este material fue utilizado por diferentes culturas de la antigüedad en importantes obras como el coliseo romano y otros.

Revisión de temas de tesis y normas técnicas que permiten determinar sus propiedades físicas y químicas.

Usos actuales de la cal en sus distintas formas tenemos sobre todo en la industria, preparación de morteros para el asentamiento de ladrillos, revestimiento de paredes con elementos decorativos siendo un material considerado ecológico para la construcción de viviendas, fabricación de bloques y aplicaciones en el asfaltado que le confieren propiedades de cohesión y flexión para la conservación de las vías asfaltadas.

2.4.2. Materiales para elaborar bloques de arena con cal hidratada.

Para la elaboración de estas mezclas de arena con cal hidratada se utilizaron los siguientes materiales:

- Cal hidratada producida por la empresa HADES Cal DE OBRA, material utilizado para tarrajeos y cimentaciones.
- Agregado Fino: Arena limpias de uso local.
- Agua de mezclado (Agua potable).

2.4.3. Determinación de fineza de la Cal hidratada.

Utilizamos el método clásico por mallas.



Foto1 : Determinación de fineza

La cal hidratada es un material fino para su determinación se utilizan las siguientes mallas o tamices donde se obtienen los siguientes resultados.

Pasante Malla 325: 100%

Retenido Malla 200: < 20%

Retenido Malla 30: < 3%

2.4.4. Composición química de la Arena

La arena debe ser limpia y libre de residuos orgánicos como restos de raíces, hojas o materia orgánica presentes en la basura o desechos.

Se tomó una muestra de aproximadamente 10 Kg. Se procedió a reducir con un cuarteador de rifles para tener una muestra representativa de 500 gramos. Se procede a pulverizar y preparar la muestra para su análisis por vía por fluorescencia de rayos X.

Obteniendo los resultados que se muestran en el Cuadro N°2

Cuadro N°2 Composición química de la arena

COMPUESTO	%
SiO ₂	68
Al ₂ O ₃	17
Fe ₂ O ₃	8
MgO	4
K ₂ O	1.2
CaO	0.8
Ti ₂ O	0.4
P ₂ O ₅	0.08
MnO	0.02

Fuente: Elaboración propia (Laboratorio Químico de La Empresa Cal & Cemento Sur S.A.)

Los mayores componentes de la arena vienen a ser el óxido de sílice como también el óxido de aluminio que le confieren las características físicas de resistencia a este material que viene a constituir el esqueleto de un mortero, el color está determinado por otros materiales como el óxido de fierro que le transfiere el color oscuro.

2.4.5. Granulometría de la arena

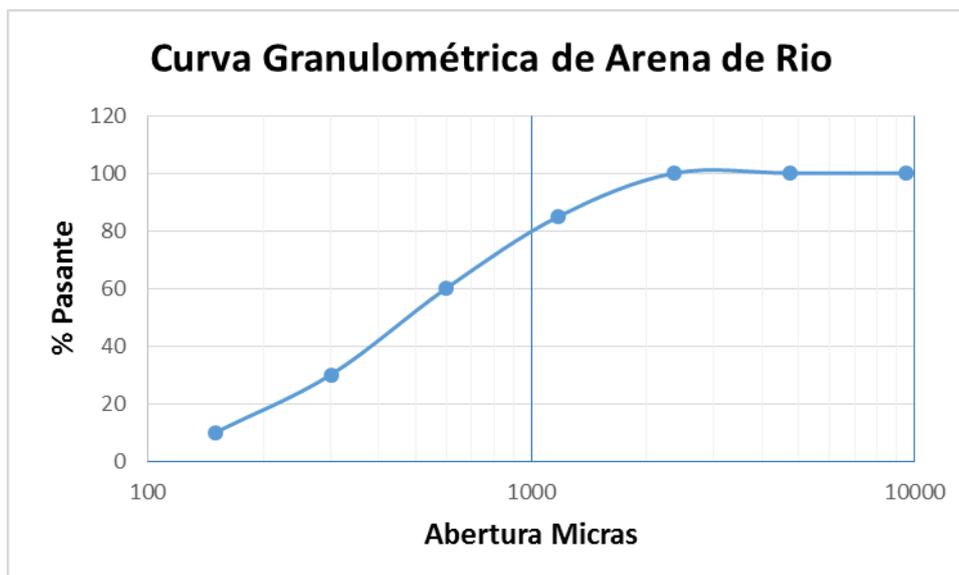
Primero se cuarteó una muestra representativa de agregado fino. Luego, se sumergió totalmente la muestra en un recipiente de agua durante dos horas. Se extendió la muestra sobre una superficie no absorbente, y se expuso a una corriente suave de aire caliente y se agitó con frecuencia para conseguir un secado uniforme. La operación se dio por terminada hasta que se observó que las partículas de agregado fino estuvieran sueltas, ya demás se tomó el peso superficialmente seco de las muestras de agregado fino.

Cuadro 3. Granulometría de Arena

Malla	Abertura micras	% Pasante
3/8"	9500	100
4	4750	100
8	2360	100
16	1180	85
30	600	60
50	300	30
100	150	10

Fuente: Elaboración propia

Figura N°1



2.4.6. Agua

El agua es el solvente más apropiado y abundante de la naturaleza, de preferencia se debe de utilizar agua potable (NORMA E.060 CONCRETO ARMADO).

2.5. ANALISIS CUANTITATIVO DE LAS VARIABLES

Determinación de la Resistencia a la Compresión de Morteros en Cubos de 50 mm de Arista.

Por tratarse la mezcla de arena y cal hidratada de un mortero y para procesos experimentales se realiza la prueba de acuerdo a la norma ASTM C109 / C109M - 16a Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens).

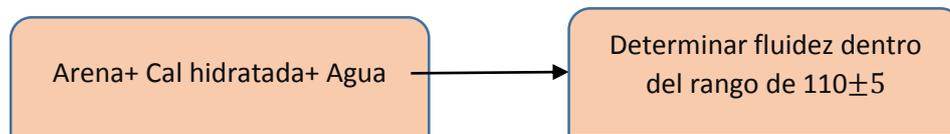
2.5.1. Preparación de la mezcla.

La proporción en masa de los materiales secos para la elaboración de morteros para este caso cal hidratada y arena, deben de guardar relación con la fluidez que debe de estar en dentro de 110 ± 5 , esta fluidez nos permite determinar la cantidad de agua a utilizar de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM C 109.

Los materiales son pesados para determinar y lograr la fluidez definida por norma, la fluidez se determina de acuerdo a la norma ASTM de la siguiente forma.

Mezclar:

Mesa de Fluidez:



El valor de la fluidez se determina colocando la muestra mezclada en un tronco cónico que está normalizado de acuerdo a ASTM.

Una vez colocada la muestra sobre la muestra esta se somete a 25 golpes verticales mediante un sistema de la mesa de fluidez, la mezcla de arena+cal hidratada y agua se expande sobre la mesa donde se toman cuatro medidas con un caliper similar a un pie de rey las medidas se toman diametralmente sobre la mezcla extendida. Estas cuatro lecturas se promedian y deben encontrarse dentro del rango de 110 ± 5 . De sobrepasar estas tolerancias se disminuye la cantidad de agua, caso contrario de encontrarse por debajo del parámetro se incrementa la proporción del agua.



Foto 2: Mezcla de mortero (arena +cal hidratada + agua)

ASTM C 305-06 Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency.

El tazón donde se ha de realizar la mezcla debe de estar completamente seco como también todos los accesorios necesarios y procedemos de la siguiente manera.

- Verter o echar todo el agua necesaria para la mezcla en el tazón el mezclador.

- Añadir toda la cal hidratada sobre el agua y mezclar durante 30 segundos a una velocidad de $(140 \pm 5 \text{ rev/min})$ para producir un líquido lechoso, la baja velocidad se requiere para evitar la generación de polvo.
- Una vez producida la lechada se añade la arena para lograr una mezcla homogénea y todas las partículas queden humectadas de la lechada de agua y cal hidratada.
- Para realizar esta operación es necesario considerar el uso de lentes y respirador para evitar cualquier daño que se pudiera ocasionar a la vista o vías respiratorias.

2.5.2. Determinación de la Fluidéz

La mesa de fluidez se especifica en la norma ASTM C230/C230M-08 Standard Specification for Flow Table for Use in Test of Hydraulic Cement. El procedimiento se especifica en la norma ASTM C 1437-07 Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar. Estos métodos están destinados para determinar la fluidez de morteros que contengan cemento y también de otros que contengan materiales cementantes como la cal hidratada métodos que nos permiten determinar el contenido de agua necesario para un nivel de fluidez.

La mezcla obtenida del mezclador se deposita sobre un molde tronco cónico el cual se encuentra sobre la superficie de la mesa de fluidez que debe de permanecer seca libre de todo material adherido a su superficie.



Foto2. Mesa de Fluidéz



Foto3. Colocar muestra

El recipiente tronco cónico debe de ser llenado lentamente para tener un llenado uniforme y apisonar 20 veces luego igualar la superficie, como se observa en la fotografía del procedimiento.



Foto4.Igualar Superficie Foto5.Levantar molde

Inmediatamente se realizan 25 golpes girando la manilla de la foto 2, que consisten en un movimiento vertical en aproximadamente 15 segundos. Como resultado se observa una expansión de la mezcla sobre la mesa, se toma la medida en cuatro posiciones y obtiene la fluidez del promedio de las cuatro medidas.



2.5.3. Resultados de la fluidez y contenido de agua de las mezclas

Con la cantidad de agua determinada se prepara la mezcla de cal hidratada, arena y agua en las proporciones establecidas para cada prueba.

1° Diseño de Mezcla con 10 % de Cal hidratada.

Componente	Cantidad	% Seco	% Húmedo
Cal Hidratada (g)	150	10	8.64
Arena (g)	1350	90	77.72
Agua (ml)	237		13.64
Fluidez	101		

2° Diseño de Mezcla con 15% de Cal hidratada.

Componente	Cantidad	% Seco	% Húmedo
Cal Hidratada (g)	240	15	13.04
Arena (g)	1360	85	73.87
Agua (ml)	241		13.04
Fluidez	103		

3° Diseño de Mezcla con 20% de Cal hidratada.

Componente	Cantidad	% Seco	% Húmedo
Cal Hidratada (g)	200	20	8.64
Arena (g)	800	80	77.72
Agua (ml)	200		13.64
Fluidez	104		

2.5.4. Moldeo de Bloques de Arena con cal Hidratada.

El molde debe de ser de un material duro o metálico que no sufra ningún tipo de deformación para obtener un bloque de medidas iguales en todos sus lados para poder someter los bloques a la prueba de compresión y las fuerzas se distribuyan de manera uniforme en todo el bloque.

Antes de aplicar el mortero se debe de pasar grasa a las paredes internas del molde para evitar pegaduras y retirar el molde una vez que este seco.

El llenado de los moldes debe de realizarse dentro de un tiempo máximo de 2.5 minutos. Para llenado del molde realizarlo en dos capas y apisonar con una varilla de caucho de sección cuadrada. La primera capa se debe de apisonar con 32 golpes en 4 tandas cada una de 8 golpes. Se puede utilizar también una mesa vibratoria.

En la foto se observa el molde al 50% de llenado para proceder con el apisonado que en otras palabras es la compactación del material dentro del molde.



Foto 7. Llenado de molde de cubos de 50mm x 50mm

La Foto 8 nos muestras el molde completamente lleno y las superficies igualadas para lo cual se utiliza una regla metálica o espátula para darle la uniformidad que

la norma exige. Esta operación se realiza con cuidado, verificando que la superficie del mortero de cal hidratada se encuentre al mismo nivel del molde.



Foto 8. Mezcla de cal completamente moldeada.

La mezcla de arena y cal hidratada debe de mantenerse por aproximadamente por 24 horas dentro del molde para que adquiera la consistencia deseada y sobre todo pueda manipular para continuar con las siguientes etapas de la prueba.

Por tratarse este un método experimental, se deben de considerar sobre todo el comportamiento del material los cuales se detallan.

- El comportamiento de este mortero es típico muestra una elevada plasticidad y retención de humedad por tratarse de un material fino por lo que se utilizada en los morteros para la construcción de muros y paredes de ladrillo.
- El mortero es trabajable, cuanto mayor es la proporción de cal hidratada el llenado de los cubos se va complicando por resultar la mezcla más plástica.
- Para esta parte se consideró el uso de guantes de latex para evitar las pegaduras en la piel del material puedan producir sequedad de la piel.

2.5.5. Desmoldeo de los Bloques de Arena y Cal Hidratada.

El proceso de desmoldar es bastante sencillo se aflojan los pernos de sujeción del molde metálico y se retiran los bloques de arena y cal hidratada para su proceso de curado en autoclave, proceso que la unidad de cal hidratada y arena debe de lograr endurecerse y donde esperamos alcanzar las resistencias que la norma exige. El proceso de desmoldeo tiene que realizarse con cuidado sobre



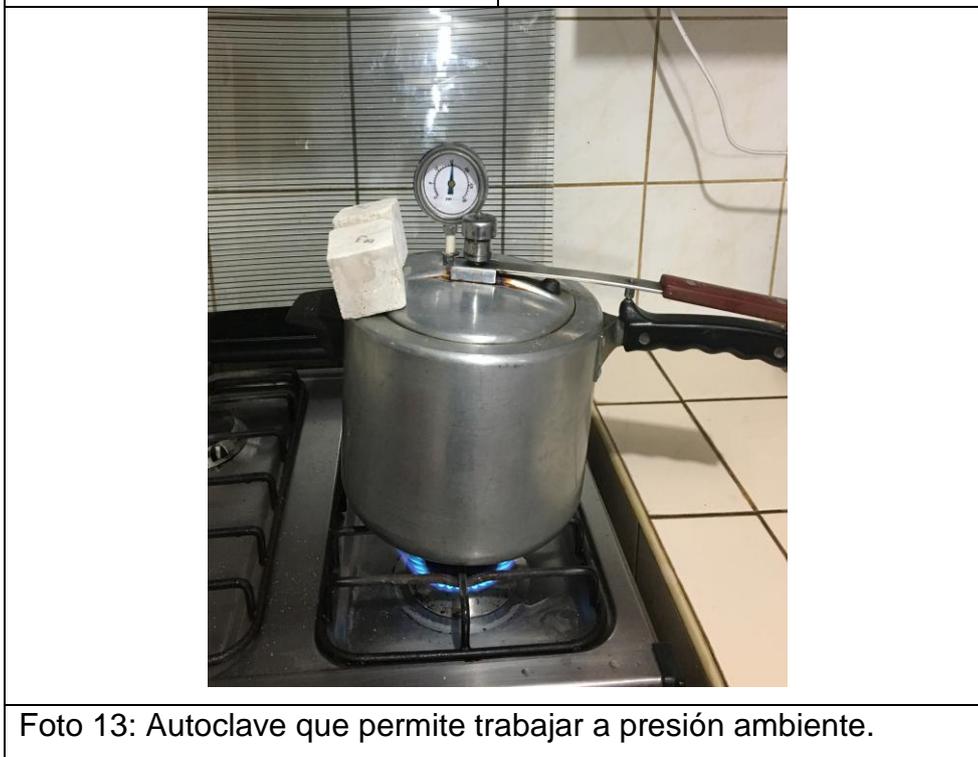
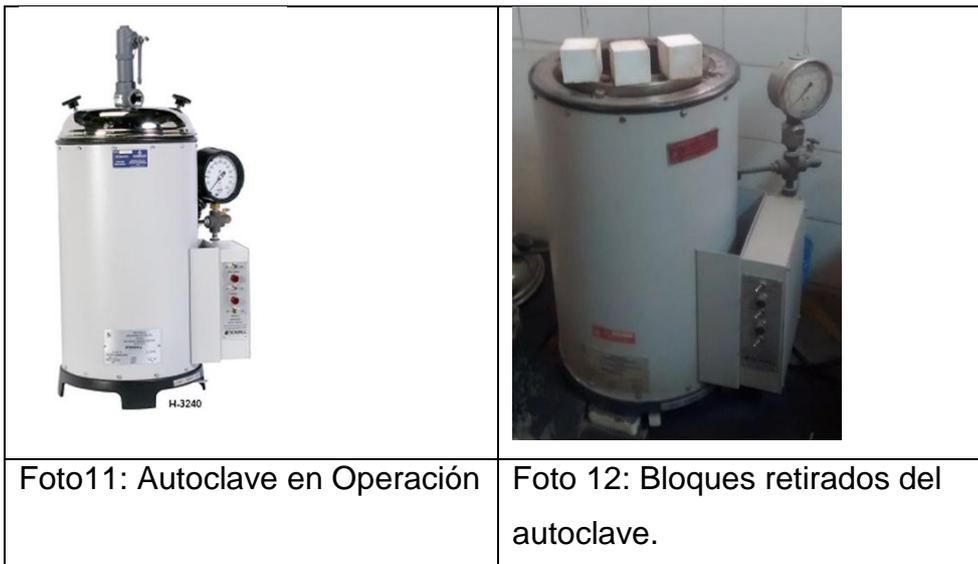
Foto 9. Retiro del molde

Foto 10. Cubos de mezcla de arena con cal hidratada.

2.5.6. Ingreso de los bloques al Autoclave

La autoclave está diseñado para resistir una presión de 350 PSI, interiormente está provista de un sistema de calentamiento eléctrico que permite elevar la temperatura a 220 °C y generar vapor saturado cuenta con una válvula de seguridad que se activará en caso se sobrepasen las presiones estimadas para la prueba.

Los moldes secos se introducen a la autoclave fotografía 12 donde por un periodo de 4 horas a 5 horas es sometida a estas condiciones de presión y temperatura donde bajo estas condiciones reaccionan la arena con la cal hidratada formado silicatos de calcio similares al del cemento que permiten el desarrollar un alto grado de resistencia a la compresión. Los sistemas de seguridad y elementos de control como el manómetro y los termómetros son importantes para asegurar que el personal que realiza las pruebas en este equipo no sufra ningún daño durante su utilización.



La prueba se realizó en una autoclave controlando la presión, se probó a 12 y 14 PSI. Una presión ligeramente superior a la ambiente. Lo que se aprovecha es la saturación de vapor en el interior de la olla, la temperatura de ebullición y sobre saturación de vapor se estima entre 80 y 100 °C.

La prueba en autoclave de laboratorio el control es automático el equipo se controla con una válvula de presión que regula la presión y la temperatura al interior del autoclave a presiones superiores de 180 PSI y temperaturas de 200 °C.

2.5.7. Resultados de compresión

Los bloques que se retiraron del autoclave son expuestos al medio ambiente para su enfriamiento luego se procede a las prueba de resistencia a la compresión utilizando una prensa hidráulica para proceder de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM C 109.

Nº Muestra	10% Cal Hidratada		15% Cal Hidratada		20% Cal Hidratada	
	Muestra (Kgf/cm ²)	M1	Muestra (Kgf/cm ²)	M2	Muestra (Kgf/cm ²)	M3
1	17.45		27.94		10.07	
2	16.57		26.31		11.14	
3	16.98		26.73		10.46	
4	17.75		27.37		10.31	
5	17.36		26.91		10.43	
6	16.84		26.28		10.15	
7	17.13		27.12		9.96	
8	17.82		26.85		10.31	
9	16.94		26.64		10.47	
10	17.51		27.01		10.22	
Promedio	17.235		26.916		10.352	
Mín.	16.570		26.280		9.960	
Máx.	17.820		27.940		11.140	
DESVEST	0.409		0.494		0.324	

Fuente: Elaboración propia

2.5.8. Pruebas de Absorción del bloque de Arena y Cal Hidratada

Los bloques de materiales dedicados a la construcción como los ladrillos y bloques de concreto, interiormente presentan porosidades o aberturas que son bastante pequeños, los que podemos visualizarse con la ayuda de un microscopio, estas fisuras y aberturas que se presentan internamente son las

vías por donde el agua fluye y también se acumula internamente dependiendo de la temperatura del medio ambiente.

La Norma E.070 de Albañilería para fines estructurales indica que el porcentaje de absorción máxima debe ser 22 %.

2.5.8.1. Procedimiento.

Se ensayaron 10 especímenes que fueron previamente secados en el horno eléctrico a una temperatura entre 100 a 110 °C.

Los especímenes ya secados son pesados en una balanza con una capacidad no menor a 2000 g y con una aproximación de 0.5g.

Se realizaron pruebas de sumersión en agua fría. Las unidades fueron sumergidas durante un periodo 24 horas en agua potable. Después de este periodo las unidades fueron retiradas, procediendo a limpiar y retirar el agua superficial con pedazo de waype, a continuación se procede a pesar dentro de los cinco minutos siguientes de haber sido retirados del agua.

2.5.8.2. Secado del bloque

Se introducen los bloques de arena y cal hidratada en un horno para su secado entre 100 a 110 °C por un lapso de 24 horas. Se utilizaron 10 muestras de cada una de las mezclas.



Foto 14: Secado de bloques para evaluación

El equipo utilizado es un horno eléctrico el objetivo es eliminar toda la humedad que se encuentre en el bloque después de 24 horas, se procede a retirar del horno utilizando una pinza para luego proceder con el pesaje como se observa en la fotografía.

2.5.8.3. Peso del Bloque Secado

P1= Peso después de Secado

Este peso está libre de humedad el cual será considerado como un peso inicial o base sobre el cual se considerará la cantidad de agua absorbida en el siguiente paso de la prueba.



Foto 15: Peso seco del bloque

$P_1=235.6$ gr. (Peso de la muestra seca)

De la misma manera se procedió con las siguientes muestras.

2.5.8.4. Bloque sumergido en el agua.

La muestra pesada después del proceso de secado en el horno eléctrico se sumerge en el agua por el lapso de 24 horas.

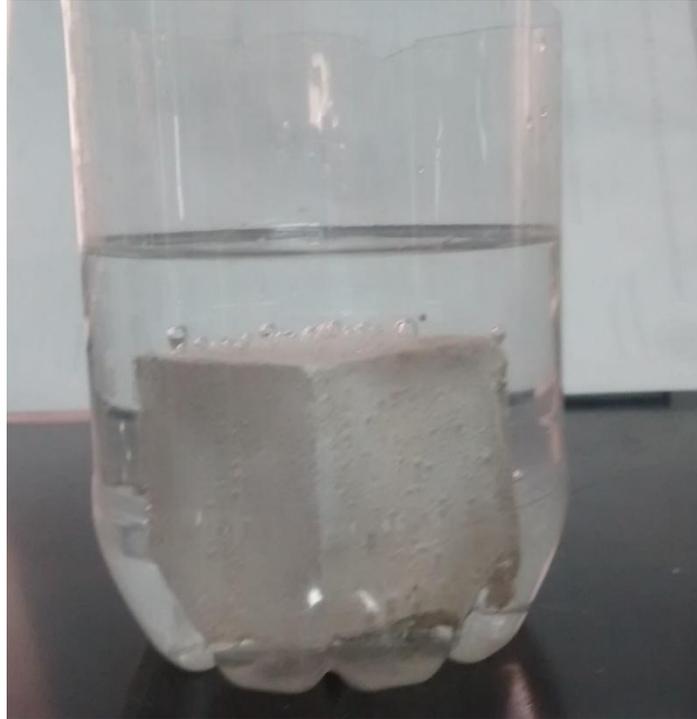


Foto 16 : Bloque sumergido en agua

2.5.8.5. Peso de Bloque húmedo.

El Bloque se retira después de estar sumergido en el agua por 24 horas se seca con un paño de tela y se procede a pesar.

El agua debe de ingresar a través de la porosidad del bloque, esta capacidad de absorción por capilaridad será diferente en cada uno de los bloques sobre todo en las muestras M1, M2 y M3 que tienen diferentes concentraciones de cal hidratada:

M1: Muestras con 10% de cal hidratada

M2: Muestras con 15% de cal hidratada

M3: Muestras con 20% de cal hidratada



Foto 17: Bloque Húmedo

Se obtiene el peso P2

P2 = Peso después de 24 horas de estar sumergido en agua.

P2 = 267.3 gr. (Peso de bloque húmedo)

2.5.8.6. Cálculo del porcentaje Absorción

Absorción: % (A)

P1= Peso después de Secado

P2 = Peso después de 24 de estar sumergido en agua.

El porcentaje de absorción lo calculamos mediante la siguiente fórmula:

$$\%Absorción = \frac{(P2 - P1)}{P1} \times 100$$

$$\%Absorción = \frac{(267.3 - 235.6)}{235.6} \times 100$$

$$\%Absorción = 13.45\%$$

2.5.8.7. Resultados de la prueba de Absorción.

N° Muestra	10% de Cal Hidratada (% de Absorción) Muestra M1	15 % de Cal Hidratada (% de Absorción) Muestra M2	20% de Cal Hidratada (% de Absorción) Muestra M3
1	17.2	13.5	11.4
2	16.1	14	10.8
3	17.2	13.2	11.6
4	16.2	14.4	11.8
5	16.8	13.1	10.9
6	17.3	12.9	11.7
7	16.1	13.8	12.0
8	17.3	13.6	11.8
9	17.6	12.4	10.6
10	16.3	13.7	10.8

2.5.9. Prueba de Eflorescencia de bloque de Arena y Cal Hidratada

La prueba de eflorescencia tiene por objeto sumergir a una altura de 25 mm los bloques con una separación de 50 mm como se observa en la fotografía.

Las eflorescencias son manchas, que aparecen en la cara vista de los ladrillos, mayormente estas sales están constituidas por sulfatos, carbonatos y cloruros. Las sales al momento de evaporarse el agua se cristalizan y son las manchas que se observan en las caras del ladrillo.

2.5.9.1. Procedimiento

En este ensayo se utilizaron 06 unidades 02 unidades de cada una de las mezclas se secaron en el horno de 100°C a 110°C por un periodo de 24 horas. Estas 02 unidades de cada una de la mezclas con 10%, 15% y 20% de cal hidratada, se seleccionaron pares de la misma apariencia. Se colocó cada par en un recipiente

sumergido en agua potable en aproximadamente 25mm por 7 días en recipientes separados con un espaciamiento de 50mm. Por un periodo de 7 días se controló el nivel del agua. Después de este período de 7 días, los bloques son retirados del agua y puestas a secar nuevamente por un periodo de 24 horas, después de secar se procedió a comparar cada uno de los pares.

2.5.9.2. Colocación de los bloques en el agua.

Lo bloque se colocaron en un recipiente rectangular que permita que los bloque pareados por la cantidad de cal hidratada utilizada en su elaboración, sumergida 25 mm en agua y separación de 50 mm.



Foto 18: Bloque sumergidos para prueba de eflorescencia

2.5.9.3. Pruebas de Eflorescencia de bloques de arena y cal hidratada.

La prueba de eflorescencia sirve para probar si existen sales disueltas en los materiales utilizados en la fabricación de la albañilería, como son el agua, cemento, cal y agregados

2.6. PRUEBAS DE NORMALIDAD

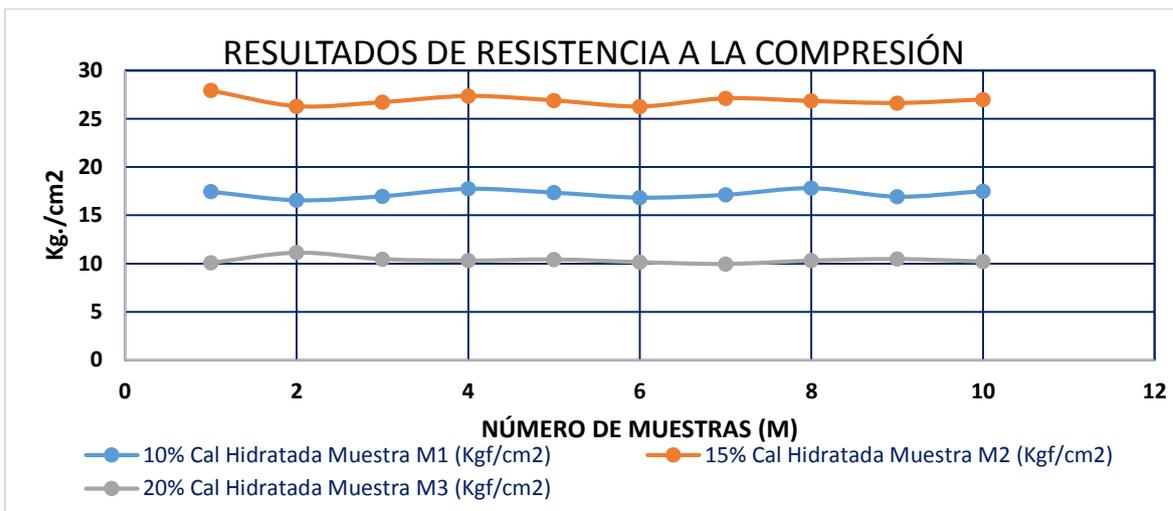
2.6.1. Resultados de resistencia a la compresión.

Resultados a la compresión

N° Muestra	10% Cal Hidratada		15% Cal Hidratada		20% Cal Hidratada	
	Muestra (Kgf/cm ²)	M1	Muestra (Kgf/cm ²)	M2	Muestra (Kgf/cm ²)	M3
1	17.45		27.94		10.07	
2	16.57		26.31		11.14	
3	16.98		26.73		10.46	
4	17.75		27.37		10.31	
5	17.36		26.91		10.43	
6	16.84		26.28		10.15	
7	17.13		27.12		9.96	
8	17.82		26.85		10.31	
9	16.94		26.64		10.47	
10	17.51		27.01		10.22	
Máximo	17.82		27.94		11.14	
Mínimo	16.57		26.28		9.96	
Promedio	17.235		26.916		10.352	
DESVEST.	0.409		0.494		0.324	

Fuente: Elaboración propia

Representación gráfica:



2.6.2. Conclusiones de la resistencia a compresión

Las tres mezclas ensayadas nos arrojan resultados por debajo de los requisitos de la Norma de Albañilería E 070 que tiene un requerimiento de 50 Kg/cm² para ser consideradas como unidades de albañilería portantes.

- Resistencia a la compresión de bloques de arena con 10% de Cal Hidratada
 Resultado promedio = Promedio – Desv. Estand.
 Resultado promedio = 17.23 – 0.40 = 16.83 Kg/cm²
 Para la fabricación de ladrillos de arena con 10 % de cal hidratada en autoclave. Este resultado permite ubicar a estos elementos como unidades de albañilería no portantes. No supera los 50 Kg/cm² de norma.
- Resistencia a la compresión de bloques de arena con 15% de Cal Hidratada
 Resultado promedio = Promedio – Desv.Estand.
 Resultado promedio = 26.92 - 0.49 = 26.43 Kg/ cm²
 Para la fabricación de ladrillos de arena con 15 % de cal hidratada en autoclave. Este resultado permite ubicar a estos elementos como unidades de albañilería no portantes. No supera los 50 Kg/cm². Sin embargo son los mejores resultados dentro de la prueba, valores que aún se pueden mejorar utilizando otros equipos.
- Resistencia a la compresión de bloques de arena con 20% de Cal Hidratada

Resultado promedio = Promedio – Desv.Estand.

Resultado promedio = $10.352 - 0.324 = 10.028 \text{ Kg/ cm}^2$

Para la fabricación de ladrillos de arena con 20 % de cal hidratada en autoclave. Este resultado permite ubicar a estos elementos como unidades de albañilería no portantes. No Superan los 50 Kg/cm² valor bastante menor a los que contienen 10 y 15% de cal hidratada

Se puede concluir con que el aporte de la cal hidratada tiene un límite pues se observa una brusca disminución de la resistencia a la compresión de 15% a 20% de contenido de cal hidratada. El agregado en este caso la arena es la encargada de darle resistencia al bloque mientras que la cal hidratada permite aglomerar los materiales y dar la forma deseada. Al preparar el mortero con un exceso de cal hidratada parte de este material queda sin reaccionar lo que disminuye su resistencia a la compresión.

2.6.3. Resultados de Absorción de muestras del autoclave

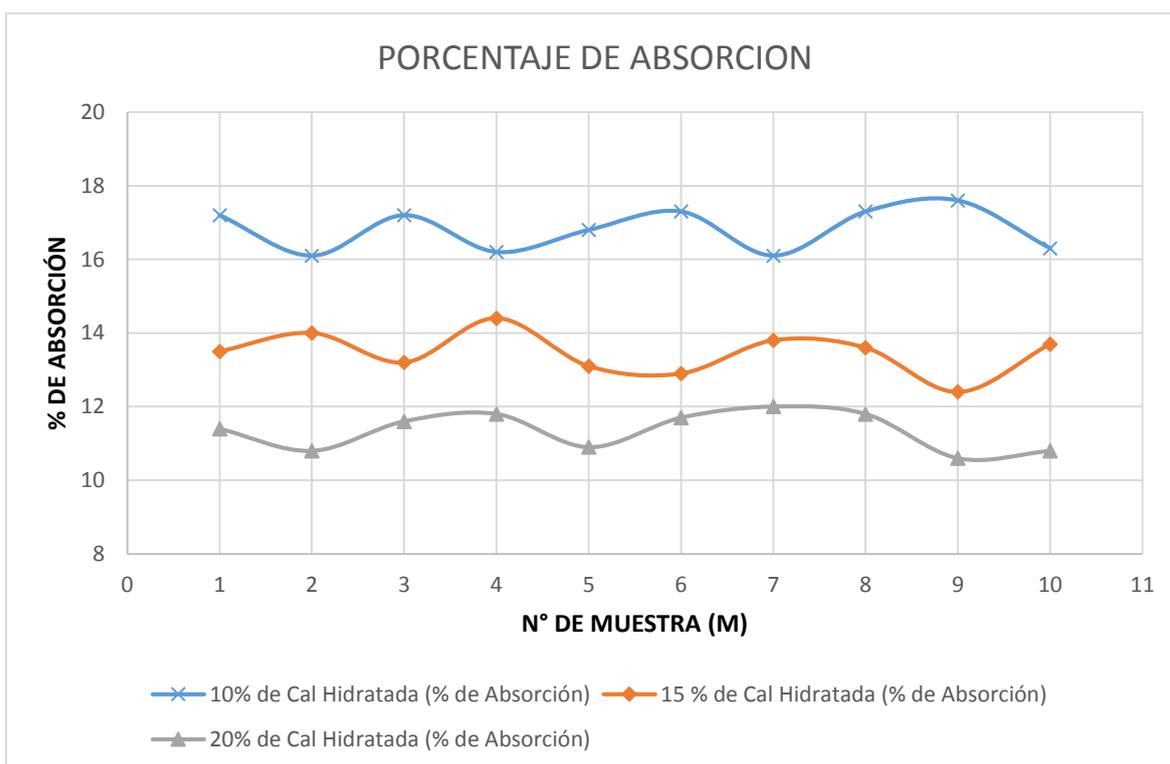
Resultados de Absorción de muestras del autoclave

N° Muestra	10% de Cal Hidratada Muestra M1 (%)	15 % de Cal Hidratada Muestra M2 (%)	20% de Cal Hidratada Muestra M3 (%)
1	17.2	13.5	11.4
2	16.1	14	10.8
3	17.2	13.2	11.6
4	16.2	14.4	11.8
5	16.8	13.1	10.9
6	17.3	12.9	11.7
7	16.1	13.8	12
8	17.3	13.6	11.8
9	17.6	12.4	10.6
10	16.3	13.7	10.8

Máximo	17.6	14.4	12
Mínimo	16.1	12.4	10.6
Promedio	16.81	13.46	11.34
DESVEST.	0.58	0.58	0.51

Fuente: Elaboración propia

Representación gráfica



2.6.4. Conclusiones de la Absorción

Por los resultados obtenidos se ha podido observa que de acuerdo a los principios teóricos, la capacidad de absorción tiene que ver mucho con la porosidad presente en el material del bloque y que está propiedad está ligada al grado de compactación que se aplican para la fabricación.

- Porcentaje de absorción de bloques de arena con 10% de Cal Hidratada
 Resultado promedio = Promedio – Desv. Estand.
 Resultado promedio = 16.81 – 0.58 = 16.23 %
- Porcentaje de absorción de bloques de arena con 15% de Cal Hidratada

Resultado promedio = Promedio – Desv.Estand.

Resultado promedio = $13.46 - 0.58 = 12.88 \%$

- Porcentaje de absorción de bloques de arena con 20% de Cal Hidratada

Resultado promedio = Promedio – Desv.Estand.

Resultado promedio = $11.34 - 0.51 = 10.83 \%$

Estas pruebas están relacionadas a la capacidad de absorción que tienen las muestras de acuerdo a la norma E 070 se especifica que las unidades de albañilería Sillico Calcáreas no deben de sobrepasar el 22%.

Los resultados de la prueba como se observa ninguna de las tres mezclas de arena con cal hidratada sobrepasan el 22% de absorción en frío.

Esta propiedad de la absorción que viene a ser un fenómeno de capilaridad, como se observa está muy ligada al tamaño de las partículas de la cal hidratada el porcentaje de absorción disminuye en la medida que se incrementa el porcentaje de cal hidratada en la mezcla del mortero fenómeno opuesto al que ocurre con la resistencia a compresión.

Esto se puede explicar debido a que un mayor porcentaje de cal hidratada en los bloques tiende a disminuir las porosidades por donde el agua pueda desplazarse o ascender por capilaridad.

2.6.5. Resultados de Eflorescencia de las muestras de autoclave

Esta prueba tiene por objeto observar la presencia de manchas o cambio de coloración en las superficies o caras de las unidades de albañilería que con el tiempo son nocivas para la conservación de la unidad de albañilería. Tienen que ver mucho los materiales utilizados agua, cemento, cal y agregados.

2.6.5.1. Eflorescencia en bloques con 10% de Cal hidratada

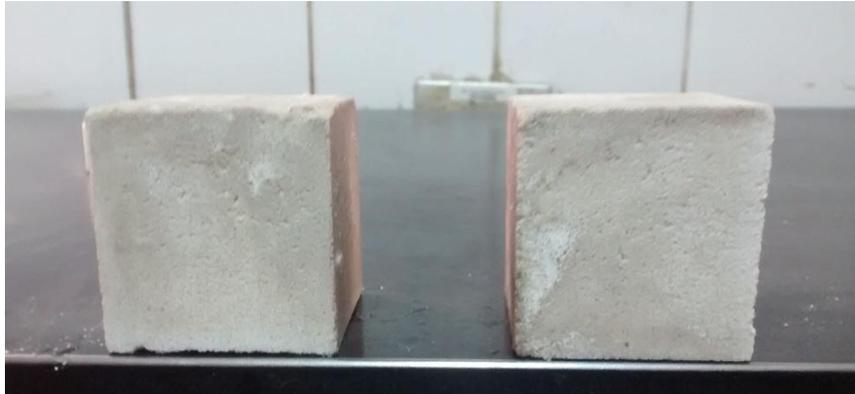


Foto 21: Par de bloques de arena con 10% de cal hidratada

En ambos bloques se observan manchas de baja intensidad

2.6.5.2. Eflorescencia en bloques con 15% de Cal hidratada

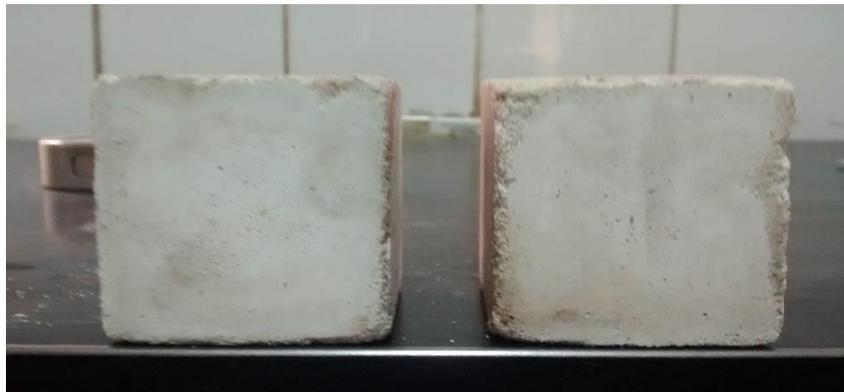


Foto 22: Par de bloques de arena con 15% de cal hidratada

Al comparar de forma visual se puede observar que la intensidad de las manchas presentes en la cara sumergida es de menor intensidad que la anterior únicamente por el mayor porcentaje de cal útil.

El hidróxido de calcio es un aglomerante muy fino pasante 100 % en la malla 325 más fino que el cemento malla de 45 micras = 0.045 mm.

Como en la prueba de absorción de otra manera de observar un menor paso de agua con una mayor concentración de cal hidratada.

2.6.5.3. Eflorescencia en bloques con 20% de Cal hidratada

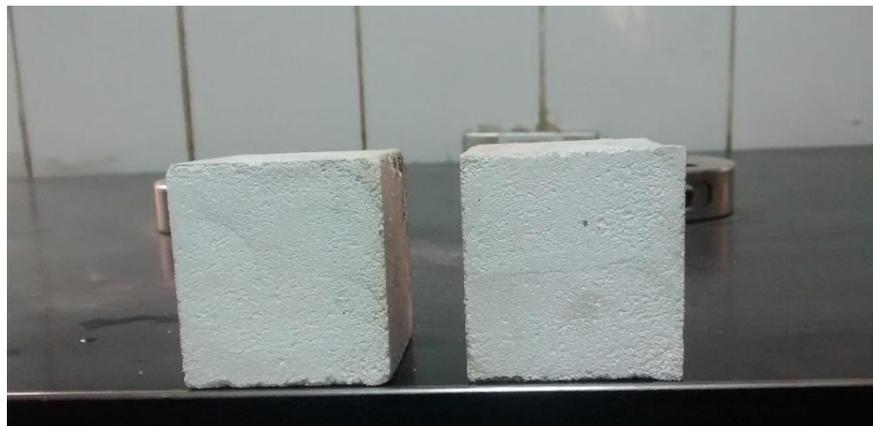


Foto 23: Par de bloques de arena con 20% de cal hidratada

Estos bloques se observan prácticamente sin presencia de manchas de una coloración mucho más clara con respecto a las dos muestras anteriores. Esta mínima presencia de manchas se puede atribuir a la mayor concentración de cal hidratada y también presenta una menor porosidad y evita un menor grado de capilaridad es decir el ascenso del agua por los poros internos del bloque.

2.6.5.4. Conclusiones de la Eflorescencia

Los resultados de eflorescencia permite observar variaciones en la intensidad de las manchas, el bloque con 10% de cal hidratada permite observar que tiene una mayor intensidad de manchas, el bloque con 20% de cal hidratada es el más claro que mantiene sus condiciones iniciales, mientras que el bloque de 15% tiene una tonalidad intermedia en lo que respecta a las manchas que se presentan sobre la superficie.

Como en las pruebas anteriores la variación en el porcentaje de adición de cal hidratada es determinante para modificar su comportamiento. La cal hidratada es

un reactivo que puede reaccionar con las sales disueltas en la arena y el agua de manera que inhibe su efecto, formando carbonatos y sulfatos.

Estas propiedades de la cal hidratada pueden ser materia de otro estudio para probar las reacciones de la cal hidratada con las sales que se encuentran disueltas en los materiales con los que se mezcla.

CAPITULO IV

PROCESO DE CONTRASTE DE HIPOTESIS

2.7. PUEBA DE HIPOTESIS GENERAL

Con el desarrollo de los bloques de arena con cal hidratada para elaborar ladrillos en autoclave en la Región Puno estos bloques ensayados no cumplen la Norma E 070 de Albañilería

2.8. PUEBA DE HIPOTESIS ESPECÍFICA

De acuerdo al cuadro que se observa con resultados presentados no se cumple con lo planteado en la hipótesis.

CUADRO COMPARATIVO DE PRUEBAS FÍSICAS

	10% de Cal Hidratada Muestra M1	15 % de Cal Hidratada Muestra M2	20% de Cal Hidratada Muestra M3
Promedio de compresión (Kgf/cm ₂)	17.35	26.916	10.352
Promedio de absorción (%)	16.81	13.46	11.34
Eflorescencia (intensidad)	Alta	Intermedio	Baja

Fuente: Elaboración propia

- Los bloques de arena con cal hidratada alcanzan una resistencia de 17.235 Kg/cm² y 26.916 Kg/cm² que no cumplen con la resistencia a compresión establecidas por la norma E 070 de Albañilería.
- Los bloques de arena con cal hidratada si cumple con la absorción establecida por la norma E 070 de Albañilería.
- Los bloques de arena con cal hidratada cumplen con eflorescencia establecida por la norma E 070 de Albañilería.

CAPITULO V

DISCUSION DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

1. Las tres mezclas ensayadas nos arrojan resultados de resistencia a la compresión por debajo de los requisitos de la Norma de Albañilería E 070 que tiene un requerimiento mínimo de 50 Kg/cm^2 para ser consideradas como unidades de albañilería Clase Tipo Ladrillo I, hasta Clase Ladrillo Tipo V que tiene como requisito 180 Kg/cm^2

- Resistencia a la compresión de bloques de arena con 10% de Cal Hidratada
Resultado promedio = 16.826 Kg/cm^2
- Resistencia a la compresión de bloques de arena con 15% de Cal Hidratada
Resultado promedio = 26.422 Kg/cm^2
- Resistencia a la compresión de bloques de arena con 20% de Cal Hidratada
Resultado promedio = 10.028 Kg/cm^2

Se puede observar que el aporte de la cal hidratada tiene un límite pues con los resultados obtenidos se tiene una brusca disminución de la resistencia a la compresión de 15% a 20% de contenido de cal hidratada. El agregado en este caso la arena es la encargada de darle resistencia al bloque mientras que la cal hidratada permite aglomerar los materiales y contribuir con la reacción de fraguado que se produce dentro de la autoclave. Al preparar el mortero con un exceso de cal hidratada parte de este material queda sin reaccionar lo que disminuye su resistencia a la compresión.

2. Las pruebas de absorción cumplen los requisitos, de acuerdo a los principios teóricos, tiene que ver mucho con la porosidad presente en el material del bloque y que esta propiedad está ligada al grado de compactación que se aplican para la fabricación.

- Porcentaje de absorción de bloques de arena con 10% de Cal Hidratada

Resultado promedio = 16.23 %

- Porcentaje de absorción de bloques de arena con 15% de Cal Hidratada

Resultado promedio = $13.46 - 0.58 = 12.88$ %

- Porcentaje de absorción de bloques de arena con 20% de Cal Hidratada

Resultado promedio = $11.34 - 0.51 = 10.83$ %

3. Los resultados de eflorescencia obtenidos son favorables para la preparación de ladrillos que inhiban el efecto de las sales disueltas .a través de la coloración de la superficie, permite observar una mayor intensidad de manchas en el bloque con 10% de cal hidratada, el bloque con 20% de cal hidratada es el más claro que mantiene sus condiciones iniciales, mientras que el bloque de 15% tiene una tonalidad intermedia en lo que respecta a las manchas que se presentan sobre la superficie.

Como en las pruebas anteriores la variación en el porcentaje de adición de cal hidratada es determinante para modificar su comportamiento.

4. Las pruebas realizadas cumplen con lo establecido en la norma de albañilería E.070 donde los resultados obtenidos permiten clasificarlos para unidades de albañilería NP No Portante con resultados de resistencia menores a 50 Kg/cm².

RECOMENDACIONES

- Se requiere continuar con pruebas de mayor alcance y superar las pruebas realizadas utilizando equipos que alcancen mayores temperaturas y presiones, etapas a nivel industrial elaborando pruebas con tamaños y modelos de unidades de albañilería en tamaño real.
- Las pruebas de albañilería que se recomiendan están establecidas en la norma de albañilería E.070.
- Determinar la resistencia de las unidades de albañilería a compresión axial ($f'm$) y a corte ($v'm$) por medio empíricos y experimentales
- Pruebas en pilas y muretes con este tipo de ladrillo para determinar la resistencia característica en pilas y muretes como se muestra en la figura establecida en la norma E.070 de Albañilería.



- Trabajos sobre la adherencia del mortero con este nuevo ladrillo propuesto que se refleja en los ensayos de compresión diagonal de muretes.
- Pruebas con unidades huecas y compactas para determinar su comportamiento en pruebas de compresión.
- Por las propiedades químicas de la cal hidratada inhibe los efectos de la eflorescencia, controla los efectos de las sales disueltas en los agregados y también en el agua.
- De acuerdo a los resultados obtenidos se requiere realizar pruebas a niveles industriales que permitan obtener elementos de albañilería de tamaño comercial para realizar pruebas de ensayos en pilas de ladrillos y muretes. Los bloques ensayados son aptos para la fabricación de ladrillos en autoclave.

- En la imagen que a continuación se presenta tenemos un autoclave industrial de procedencia China que se utiliza la fabricación de ladrillos o bloque de arena y cal hidratada.



- Para analizar estas etapas de fabricación a nivel industrial requerimos realizar otro tipo de análisis, a nivel de proyecto donde tenemos que ver mercado e inversiones como también realizar más pruebas de laboratorio

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Bibliográficas

- ÁNGEL SAN BARTOLOMÉ, DANIEL QUIUN Y WILSON SILVA. Diseño y Construcción de Estructuras Sismoresistentes de Albañilería PUCP 2003. (1)
- EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE UNIDADES SÍLICO-CALCÁREAS A PARTIR DE ESCORIA DE ALTO HORNO Y CAL HIDRÁULICA PARA MAMPOSTERÍA NILSON ARIEL LEÓN *Escuela de Metalurgia, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, nilsonleon@gmail.com* NÉSTOR RICARDO ROJAS REYES *I M.CIMEX, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, nrrojasr@unal.edu.co* BERNARDO UMBARILA SUÁREZ *Jefe proyectos SUMININCO Ltda. bernardoumbarila@gmail.com* M. OSWALDO BUSTAMANTE R.
I M.CIMEX, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, mobustam@unal.edu.co (3)
- ING. FLAVIO ABANTO CASTILLO, Tecnología del Concreto (Teoría y Problemas), Editorial San Marcos.
- SENCICO, Concreto Armado, Norma Técnica de Edificaciones E-60
- ASTM Section four Construction Volume 0402 Concrete and Aggregates.
- ARMADO TEODORO HARMSEN, Diseño de Estructuras de Concreto, Fondo Editorial de la Pontificada Universidad Católica del Perú 2005.
- GORDON BARROW M., Química General, Editorial Reverté S.A.
- JUNTA DE ANDALUCIA CONSEJERÍA DE CULTURA. La cal y sus aplicaciones en la conservación de bienes Culturales.
- ASTM C 977 – 10 Standard Specification for Quicklime and Hydrated Lime for Soil Stabilization.
- SENCICO, Comentarios a la Norma e. 070 **albañilería**. 2. preámbulo.
- SENCICO, Comentarios sobre la Norma e.060 de Concreto Armado.
- BARRIOS, LUIS. Manual de Ensayos de Laboratorio Mampostería Estructural. Tesis de grado (ingeniero Civil). Universidad de los Andes. Bogotá, 1998.

- SERNA, PEDRO y PELUFO, MARIA. Cementos. Departamento Ingeniería de la Construcción, Universidad Politécnica de Valencia. 1992.
- ENGINEERED MATERIALS HANDBOOK. Ceramics and Glasses. ASM publication. Vol 4, USA, 1991.
- AZCONEGUI MORÁN, FRANCISCO; MARTÍN, MÓNICA; CASCOS, PEDRO Y DÍAZ, ALBERTO. Guía Práctica de la Cal y el Estuco. Centro de los Oficios de León. León – España, 1998.
- OTTO LABANH, B.KOHLHAAS. Prontuario del Cemento. Reverte 1985.
- GONZÁLEZ CORTINA, MARIANO. Recuperación de morteros romanos de cal y chamota en aplicaciones actuales. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid 2000.

- **Páginas Web**
- https://anfagal.org/media/Biblioteca_Digital_Usos_Relacionados/JM-Cal_hidratada_en_los_concretos.pdf
- H.L. Chávez, E. Alonso, W. Martínez, J. C. Rubio, L.E. Chávez. Departamento de Materiales. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Edificio "F" Cd. Universitaria, Ave. Fco. J. Múgica S/N, Col. Felcitas del Río, Cp. 58040, Morelia, Michoacán, México, hchávez@jupiter.umich.mx.
- <http://www.calcinor.com/es/sectores/medio-ambiente/>
- <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v76n160/a24v76n160.pdf>
- <http://oa.upm.es/149/1/03200005.pdf>
- Contaminación Ambiental por ladrillos Artesanales en el Departamento de Puno
Enviado por DINA EVA GUTIERREZ GUTIERREZ
- Leer más: <http://www.monografias.com/trabajos101/contaminacion-ambiental-ladrillos-artesanales-departamento-puno/contaminacion-ambiental-ladrillos-artesanales-departamento-puno.shtml#ixzz4umBT6n5t>
- <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion4.Reaccion.PUZOLANICA.pdf>
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Arena> (definición de arena)
- <http://www.ecohabitar.org/la-cal-pequena-guia-de-la-cal-en-la-construccion/>

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Desarrollo de bloques de arena con cal hidratada para ladrillos en Autoclave en la Región Puno.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable Independiente		
¿Cómo resultarán los bloques de arena con cal hidratada para ladrillos en autoclave en la Región Puno?	Desarrollar un diseño de arena con cal hidratada para ladrillos en autoclave en la Región Puno.	Los bloques con arena y cal hidratada para elaborar ladrillos en autoclave en la Región Puno cumplen la Norma E 070 de Albañilería.	Bloque de arena y cal hidratada		
Problema Específico	Objetivo Específico	Hipótesis Específica	Variable Dependiente		
¿Cómo será la resistencia a la tracción para los bloques de arena con cal hidratada?	Evaluación de la Resistencia a la tracción de bloques de arena y cal hidratada	Los bloques de arena con cal hidratada cumple con la RESISTENCIA A TRACCION establecidas por la norma E 070 de Albañilería	RESISTENCIA A TRACCION	Unidades de Resistencia	Kg/cm2 de Resistencia a la Tracción
¿Cómo será la Absorción para los bloques de arena con cal hidratada?	Evaluación de Absorción de bloques de arena y cal hidratada	Los bloques de arena con cal hidratada cumple con la ABSORCION establecidas por la norma E 070 de Albañilería	% DE ABSORCION	%	% de absorción de agua
¿Cómo será la Eflorescencia para los bloques de arena con cal hidratada?	Evaluación de Eflorescencia de bloques de arena y cal hidratada	Los bloques de arena con cal hidratada cumplen con EFLORESCENCIA establecida por la norma E 070 de Albañilería.	COLOR	s/u	cambio de color

ANEXO 2

CALCULO ESTADISTICO

Coeficiente de determinación de Pearson, para determinar una ecuación lineal que relacione dos variable absorción y resistencia

Donde:

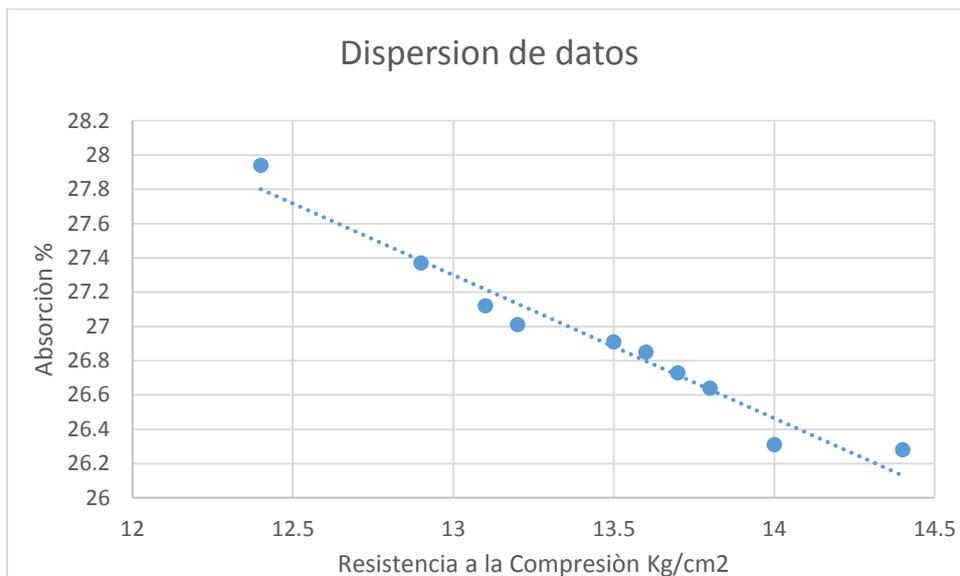
X= absorción (%)

Y= resistencia (Kg/cm2)

Nº	x	y	$x - \bar{x}$	$y - \bar{y}$	$(x - \bar{x})^2$	$(y - \bar{y})^2$	$(x - \bar{x})(y - \bar{y})$
1	12.4	27.94	-1.06	1.024	1.1236	1.048576	-1.08544
2	12.9	27.37	-0.56	0.454	0.3136	0.206116	-0.25424
3	13.1	27.12	-0.36	0.204	0.1296	0.041616	-0.07344
4	13.2	27.01	-0.26	0.094	0.0676	0.008836	-0.02444
5	13.5	26.91	0.04	-0.006	0.0016	3.6E-05	-0.00024
6	13.6	26.85	0.14	-0.066	0.0196	0.004356	-0.00924
7	13.7	26.73	0.24	-0.186	0.0576	0.034596	-0.04464
8	13.8	26.64	0.34	-0.276	0.1156	0.076176	-0.09384
9	14	26.31	0.54	-0.606	0.2916	0.367236	-0.32724
10	14.4	26.28	0.94	-0.636	0.8836	0.404496	-0.59784
Sum	134.6	269.16			3.004	2.19204	-2.5106
Prom	13.46	26.916					

Tabla Estadística: Relación de Absorción con Resistencia a la Compresión

Grafica de Dispersión de datos



Calculo de la Covarianza:

$$S_{xy} = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{n} = \frac{-2.5106}{10} = -0.25106$$

Calculo de Desviación Estándar de x:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n}} = \sqrt{\frac{3.004}{10}} = 0.5408$$

Igual procedo con y:

$$S_y = 0.46819$$

Coefficiente de correlación lineal de Pearson:

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} = \frac{-0.25106}{(0.5408)(0.46819)} = -0.97838879$$

(Cuanto un valor aumenta y el otro disminuye el resultado es negativo)

Coefficiente de determinación:

$$r^2 = 97.72\%$$

Se expresa en %, que significa el grado de precisión dentro de una línea recta.

Trazo de recta para ajuste por mínimos cuadrados.

$$y = a + bx$$

$$b = \frac{S_{xy}}{S_x^2} = \frac{-0.25106}{0.3004} = -0.8357$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = 26.916 + (0.8357)(13.46) = 38.1652$$

Cálculo de la ecuación de la línea recta:

$$y = a + bx = 38.1652 - 0.8357x$$

Permite predecir valores próximos a los experimentados. Por absorción y resistencia.

ANEXO 3



LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES

RUC: 20601612616

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE COMPRESION

NTP 399.613, NTP 399.604

CODIGO DE INFORME
GCT-ECC-003
Página 1 de 1

PROYECTO: "DESARROLLO DE BLOQUES DE ARENA CON CAL HIDRATADA PARA LADRILLOS EN AUTOCLAVE EN LA REGION PUNO"

UBICACIÓN: JULIACA - SAN ROMÁN - PUNO

SOLICITA: JOSE FRANCISCO RAMIREZ MEDINA

DIRECCION: JULIACA - SAN ROMÁN - PUNO

MUESTRA: 10% Cal Hidratada

F. SOLICITUD: 02/01/2018

F. EJECUCION: 12/10/2018 (Entrega de certificado)

ENSAYADO EN: LABORATORIO GEOCONTROL TOTAL E.I.R.L.

Nº	MATERIA PRIMA	FECHA		EDAD	AREA	CARGA (Kn)	CARGA MAXIMA	RESISTENCIA (F'c)
	ELEMENTO	VACIADO	ROTURA	(Horas)	(Cm2)	(Kn)	(KgF)	(Kg/cm2)
1	M1 - 1	02/01/2018	11/01/2018	6	25.45	4.36	444.09	17.45
2	M1 - 2	02/01/2018	11/01/2018	6	25.55	4.15	423.49	16.57
3	M1 - 3	02/01/2018	11/01/2018	6	25.45	4.24	432.06	16.98
4	M1 - 4	02/01/2018	11/01/2018	6	25.65	4.47	455.41	17.75
5	M1 - 5	03/01/2018	11/01/2018	6	25.30	4.31	439.19	17.36
6	M1 - 6	03/01/2018	11/01/2018	6	25.35	4.19	426.85	16.84
7	M1 - 7	03/01/2018	11/01/2018	6	25.60	4.30	438.48	17.13
8	M1 - 8	04/01/2018	11/01/2018	6	25.76	4.50	458.87	17.82
9	M1 - 9	04/01/2018	11/01/2018	6	25.30	4.20	428.69	16.94
10	M1 - 10	04/01/2018	11/01/2018	6	25.55	4.39	447.56	17.51
RESISTENCIA PROMEDIO F'c (Kg/cm2)								17.23

DEFECTOS EN LOS ESPECIMENES: N.A.
 OBSERVACIONES: * 6 Horas de curado en Autoclave (Olla de Presión).
 * Muestras depositados en el laboratorio e identificados por el solicitante



Ing. Raúl Miranda Quintanilla
CIP: 131480

Los resultados reflejados en este informe solo están relacionados a la muestra ensayada.
 Está terminantemente prohibido la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de GEOCONTROL TOTAL E.I.R.L.
 El laboratorio no se hace responsable del mal uso ni la incorrecta interpretación de los resultados aquí declarados.

INGENIERIA
CONSTRUCCION
CONTROL DE CALIDAD
SUPERVISION
SEGURIDAD EN OBRA

Dirección: Av. Circunvalación N° 1728 - Juliaca (Ref. ex ovalo salida cusco)

Telefonos: 051-328588 / 951 010447 / 951 671568

Correos: informes@geocontroltotal.com / geocontroltotal@gmail.com

www.geocontroltotal.com

001475



LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES

RUC: 20601612616

INFORME DE ENSAYO
ENSAYO DE COMPRESION
NTP 399.613, NTP 399.604

CODIGO DE INFORME
GCT-ECC-004
 Página 1 de 1

PROYECTO: "DESARROLLO DE BLOQUES DE ARENA CON CAL HIDRATADA PARA LADRILLOS EN AUTOCLAVE EN LA REGION PUNO"
 UBICACIÓN: JULIACA - SAN ROMÁN - PUNO
 SOLICITA : JOSE FRANCISCO RAMIREZ MEDINA
 DIRECCION: JULIACA - SAN ROMÁN - PUNO
 MUESTRA : 15% Cal Hidratada

F. SOLICITUD: 05/01/2018
 F. EJECUCION: 12/10/2018 (Entrega de certificado)
 ENSAYADO EN: LABORATORIO GEOCONTROL TOTAL E.I.R.L.

Nº	MATERIA PRIMA	FECHA		EDAD	AREA	CARGA (Kn)	CARGA MAXIMA	RESISTENCIA (F'c)
	ELEMENTO	VACIADO	ROTURA	(Horas)	(Cm2)	(Kn)	(Kgf)	(Kgf/cm2)
1	M2 - 1	05/01/2018	12/01/2018	6	25.35	6.95	708.20	27.94
2	M2 - 2	05/01/2018	12/01/2018	6	25.45	6.57	669.65	26.31
3	M2 - 3	05/01/2018	12/01/2018	6	25.30	6.63	676.28	26.73
4	M2 - 4	06/01/2018	12/01/2018	6	25.60	6.87	700.85	27.37
5	M2 - 5	06/01/2018	12/01/2018	6	25.25	6.66	679.54	26.91
6	M2 - 6	06/01/2018	12/01/2018	6	25.40	6.55	667.61	26.28
7	M2 - 7	07/01/2018	12/01/2018	6	25.50	6.78	691.68	27.12
8	M2 - 8	07/01/2018	12/01/2018	6	25.40	6.69	681.89	26.85
9	M2 - 9	07/01/2018	12/01/2018	6	25.40	6.64	676.58	26.64
10	M2 - 10	07/01/2018	12/01/2018	6	25.45	6.74	687.50	27.01

RESISTENCIA PROMEDIO F'c (Kg/cm2) **26.92**

DEFECTOS EN LOS ESPECIMENES: N.A.
 OBSERVACIONES: * 6 Horas de curado en Autoclave (Olla de Presión).
 * Muestras depositados en el laboratorio e identificados por el solicitante

GEOCONTROL TOTAL E.I.R.L.

 Ing. Raúl Miranda Quintanilla
 CIP: 131480

Los resultados reflejados en este informe solo están relacionados a la muestra ensayada.
 Está terminantemente prohibido la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de GEOCONTROL TOTAL E.I.R.L.
 El laboratorio no se hace responsable del mal uso ni la incorrecta interpretación de los resultados aquí declarados.

INGENIERIA - CONSTRUCCION - CONTROL DE CALIDAD - SUPERVISION - SEGURIDAD EN OBRA

Dirección: Av. Circunvalación N° 1728 - Juliaca (Ref. ex ovalo salida cusco)
 Telefonos: 051-328588 / 951 010447 / 951 671568
 Correos: informes@geocontroltotal.com / geocontroltotal@gmail.com
 www.geocontroltotal.com

001476



LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES

RUC: 20601612616

INFORME DE ENSAYO ENSAYO DE COMPRESION

NTP 399.613, NTP 399.604

CODIGO DE INFORME

GCT-ECC-005

Página 1 de 1

PROYECTO: "DESARROLLO DE BLOQUES DE ARENA CON CAL HIDRATADA PARA LADRILLOS EN AUTOCLAVE EN LA REGION PUNO"

UBICACIÓN: JULIACA - SAN ROMÁN - PUNO

SOLICITA : JOSE FRANCISCO RAMIREZ MEDINA

DIRECCION: JULIACA - SAN ROMÁN - PUNO

MUESTRA : 20% Cal Hidratada

F. SOLICITUD: 08/01/2018

F. EJECUCION: 12/10/2018 (Entrega de certificado)

ENSAYADO EN: LABORATORIO GEOCONTROL TOTAL E.I.R.L.

Nº	MATERIA PRIMA	FECHA		EDAD	AREA	CARGA (Kn)	CARGA MAXIMA	RESISTENCIA (F'c)
	ELEMENTO	VACIADO	ROTURA	(Horas)	(Cm2)	(Kn)	(Kgf)	(Kgf/cm2)
1	M3 - 1	08/01/2018	13/01/2018	6	25.40	2.51	255.75	10.07
2	M3 - 2	08/01/2018	13/01/2018	6	25.20	2.75	280.63	11.14
3	M3 - 3	08/01/2018	13/01/2018	6	25.15	2.58	263.09	10.46
4	M3 - 4	08/01/2018	13/01/2018	6	25.20	2.55	259.72	10.31
5	M3 - 5	09/01/2018	13/01/2018	6	25.30	2.59	263.80	10.43
6	M3 - 6	09/01/2018	13/01/2018	6	25.45	2.53	258.40	10.15
7	M3 - 7	09/01/2018	13/01/2018	6	25.65	2.51	255.64	9.96
8	M3 - 8	10/01/2018	13/01/2018	6	25.50	2.58	262.88	10.31
9	M3 - 9	10/01/2018	13/01/2018	6	25.37	2.61	265.64	10.47
10	M3 - 10	10/01/2018	13/01/2018	6	25.35	2.54	259.01	10.22

RESISTENCIA PROMEDIO F'c (Kg/cm2)

10.35

DEFECTOS EN LOS ESPECIMENES: N.A.

OBSERVACIONES: * 6 Horas de curado en Autoclave (Olla de Presión).

* Muestras depositados en el laboratorio e identificados por el solicitante



GEOCONTROL TOTAL E.I.R.L.

Ing. Raúl Miranda Quintanilla
 CIP: 131480

Los resultados reflejados en este informe solo están relacionados a la muestra ensayada.
 Está terminantemente prohibido la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de GEOCONTROL TOTAL E.I.R.L.
 El laboratorio no se hace responsable del mal uso ni la incorrecta interpretación de los resultados aquí declarados.

INGENIERIA - CONSTRUCCION - CONTROL DE CALIDAD - SUPERVISION + SEGURIDAD EN OBRA

Dirección: Av. Circunvalación N° 1728 - Juliaca (Ref. ex ovalo salida cusco)
 Telefonos: 051-328588 / 951 010447 / 951 671568
 Correos: informes@geocontroltotal.com / geocontroltotal@gmail.com
 www.geocontroltotal.com

001477