



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE
LADRILLOS ECOLÓGICOS MODULARES DE TIERRA
COMPRIMIDA ELABORADOS CON ARCILLAS DE LA CIUDAD
DE PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

SAMUEL ALEXIS RODRIGUEZ CALIZAYA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO - PERÚ

2021



DEDICATORIA

A Dios por su gracia y bendiciones.

*A mis queridos padres: **Simón** y **Nieves**,
quienes con sus sabios consejos han sabido
guiarme durante toda mi vida.*

*A mi hermana **Marisel Micaela**.*

*Y en especial a mis amados hijos: **Leonardo**
Samir y **Genesis Sulema**, quienes son el motor
y motivo de mi vida y me dan cada día fuerzas
para seguir adelante y trabajar fuertemente.*



AGRADECIMIENTO

A la plana docente de la escuela profesional de Ingeniería Civil de la Universidad del Altiplano, por sus enseñanzas para desarrollarme profesionalmente y haberme brindado sus conocimientos.

También un eterno agradecimiento a los jurados del presente trabajo de investigación Ing. Emilio Castillo Aroni, Ing. Gleny Zoila De La Riva Tapia, Ing. Boris Jaime Chique Calderón y al asesor de tesis Ing. Yasmani Teófilo Vitulas Quille.

Y agradecer finalmente por el apoyo técnico para el logro de la presente investigación al Ing. Gino Frank Laque Cordova, Ing. Romero Kana Alfredo e Ing. Raul Fernando Echegaray Chambi.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 15

ABSTRACT..... 16

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema..... 17

1.2. Objetivos 25

1.2.1. Objetivo General. 25

1.2.2. Objetivos Específicos..... 25

1.3. Hipótesis..... 26

1.3.1. Hipótesis General. 26

1.3.2. Hipótesis Específicas..... 26

1.4. Justificación..... 26

CAPÍTULO II REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Antecedentes de la Investigación 30



2.2. Marco Teórico.....	33
2.2.1. Reseña Histórica Ladrillos de Tierra Comprimida.....	33
2.2.2. Ladrillo de Tierra Comprimida.	35
2.2.3. Dimensiones del Ladrillo de Tierra Comprimida.....	35
2.2.4. Geometría del Ladrillo de Tierra Comprimida.....	36
2.2.5. Descripción, Designación y Clasificación.....	37
2.2.6. Tierra para Elaboración de Ladrillos.....	38
2.2.7. Estabilización de la Tierra a Utilizarse.....	40
2.2.8. Normativa Existente Construcción con Tierra	43
2.2.9. Cemento.....	46
2.2.10. Arcilla.....	55
2.2.11. Agua	56
2.2.12. Agregados.....	58
2.2.13. Ensayos Experimentales Realizados	61
2.2.14. Procedimiento Constructivo con Ladrillos Modulares.....	71
2.2.15. Tratamiento Estadístico	78

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del Estudio	84
3.2. Población y Muestra.....	85
3.3. Metodología de la Investigación	87
3.3.1. Tipo de Investigación	87
3.3.2. Periodo de la Investigación y Localización.....	87



3.3.3. Enfoque de la Investigación	87
3.3.4. Alcance de la Investigación.....	88
3.3.5. Diseño de la Investigación	88
3.4. Variables	88
3.5. Materiales y Equipos.....	89
3.6. Proceso de Producción y Caracterización Mecánica	90
3.7. Ensayos para la Caracterización Física del Suelo Base (Arcilla)	94
3.8. Ensayos para la Caracterización Mecánica de Ladrillos.....	101
3.9. Análisis Estadístico	108

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción de Resultados	123
4.1.1. De los Ensayos Preliminares	123
4.1.2. Resultados de Resistencia a la Compresión.....	124
4.1.3. Discusión de Resultados	129
4.1.4. Correlación de Variables	132
4.2. Comparación y Discusión de Resultados según Antecedentes.....	134
4.3. Análisis de Costos	135
4.4. Cumplimiento de Objetivos	138
V.CONCLUSIONES.....	140
VI.RECOMENDACIONES.....	142
VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	143



ANEXOS.....	150
Anexo A: Ensayos a la Compresión	150
Anexo A-1: Ensayo a la Compresión Simple S-01.....	150
Anexo A-2: Ensayo a la Compresión Simple S-02.....	151
Anexo A-3: Ensayo a la Compresión Simple S-03.....	152
Anexo A-4: Ensayo a la Compresión Simple S-04.....	153
Anexo A-5: Ensayo a la Compresión Simple S-05.....	154
Anexo A-6: Ensayo a la Compresión Simple S-06.....	155
Anexo B: Contenido de Humedad.	156
Anexo C: Ensayo Límites de Consistencia.	157
Anexo D: Ensayo Granulometría Arcilla.....	158
Anexo E: Ensayo Granulometría Arena.....	159
Anexo F: Ensayo Gravedad Específica.....	160
Anexo G: Ensayo Granulométrico por Hidrómetro.....	161
Anexo H: Ensayo Próctor Estándar.....	162
Anexo I: Ensayo Flexotracción.....	163
Anexo J: Ensayo de Compresión Uniaxial en Prismas	164
Anexo K: Tablas Estadísticas.....	165
Anexo L: Certificado de Calibración de Equipos	167

TEMA : Ladrillos de Tierra Comprimida
ÁREA : Construcciones
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN : Construcción y Gerencia

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 22 DE DICIEMBRE DEL 2021



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de distribución mundial de construcciones con tierra.	18
Figura 2 Fallas convencionales debido a terremotos en estructuras de tierra.....	20
Figura 3 Ladrilleras artesanales Rinconada de Salcedo Puno	29
Figura 4 Primer molde de prensa CINVA Ram.....	33
Figura 5 Tipos de máquina y moldes.....	34
Figura 6 Dimensiones y superficies del ladrillo	35
Figura 7 Geometría del ladrillo de tierra comprimida	36
Figura 8 Formas de bloques de tierra comprimida	37
Figura 9 Huso del diagrama de texturas de las tierras	38
Figura 10 Zona recomendada del diagrama de plasticidad de tierras.....	39
Figura 11 Áreas recomendadas para la selección ideal LL-IP del bloque de tierra.....	39
Figura 12 Normas que consideran la construcción con tierra y Ch'ampa.....	45
Figura 13 Curvas envolventes para el agregado fino.....	61
Figura 14 Dimensiones de la probeta y deformaciones por compresión.....	63
Figura 15 Dimensiones de la probeta y deformaciones por flexión con una carga	66
Figura 16 Dimensiones de la probeta y deformaciones por flexión con dos cargas.....	66
Figura 17 Sistema de interconexión y apilamiento.....	69
Figura 18 Suelo recomendado a utilizar en ladrillos de tierra comprimida.....	71



Figura 19 Huso de suelo a utilizar para ladrillos de tierra comprimida.....	72
Figura 20 Pruebas rápidas para la idoneidad del suelo.	72
Figura 21 Pasos para la elaboración de ladrillos modulares de tierra comprimida.	74
Figura 22 Detalles de cimentación.....	74
Figura 23 Vivienda construida con ladrillos modulares de tierra comprimida.....	75
Figura 24 Aparejo de ladrillos modulares de tierra comprimida	76
Figura 25 Vigas en vivienda de ladrillos modulares de tierra comprimida	76
Figura 26 Detalle de armado de viga.....	77
Figura 27 Instalación de techo en viviendas.	77
Figura 28. Curva de distribución para hipótesis	83
Figura 29 Ubicación cantera arcilla en ladrillera artesanal.....	84
Figura 30 Extracción de arcilla de cantera Rinconada de Salcedo	85
Figura 31 Tamizado de tierra a través de la malla 5mm.....	91
Figura 32 Fabricación de ladrillos modulares de tierra comprimida	92
Figura 33 Muestras de ladrillo de tierra comprimida listas para laboratorio	93
Figura 34 Curva de distribución granulométrica de materia prima - arcilla.....	95
Figura 35 Ensayo de granulometría	96
Figura 36 Ensayos para determinar los límites de consistencia del suelo base	98
Figura 37 Ensayo de gravedad específica de los sólidos (Gs)	99



Figura 38 Ensayo de compactación próctor estándar de suelo base.....	100
Figura 39 Curva de compactación para el contenido de humedad óptimo.....	100
Figura 40 Configuración del ensayo de compresión.....	102
Figura 41 Ensayo a la compresión en laboratorio.....	102
Figura 42 Resultados de ensayo a la compresión.....	103
Figura 43 Configuración del ensayo a la flexión.....	105
Figura 44 Ensayo a la flexión de primas de albañilería.....	105
Figura 45 Configuración del ensayo de compresión de prismas.....	107
Figura 46 Ensayo de compresión de prismas en laboratorio.....	107
Figura 47 Distribución normal S-01.....	109
Figura 48 Distribución normal S-02.....	110
Figura 49 Distribución normal S-03.....	111
Figura 50 Distribución normal S-04.....	112
Figura 51 Distribución normal S-05.....	113
Figura 52 Distribución normal S-06.....	114
Figura 53 Resistencia a la compresión de ladrillos de tierra comprimida.....	129
Figura 54 Resistencia a la compresión con 15% de cemento.....	130
Figura 55 Resistencia a la compresión con 20% de cemento.....	131
Figura 56 Resistencia a la compresión según el porcentaje de arena.....	131
Figura 57 Costos según porcentaje de cemento.....	137



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cuadro de normas de construcción con tierra.....	43
Tabla 2 Normas y Reglamentos del ladrillo de tierra comprimida por su contenido	44
Tabla 3 Requisitos para el agua de mezcla.	57
Tabla 4 Requisitos granulométricos para el agregado fino.....	60
Tabla 5 Clasificación de las unidades de albañilería para fines estructurales, Perú.	63
Tabla 6 Clases de resistencia normalizada a la compresión, España.....	64
Tabla 7 Resistencias características de la albañilería Mpa (kg/cm ²) E070.....	64
Tabla 8 Métodos para determinar la f_m y $V'm$	65
Tabla 9 Factores de corrección por esbeltez en ensayo de compresión de primas	69
Tabla 10. Relación entre la resistencia a la compresión respecto a 28 días.....	70
Tabla 11 Valores de dispersión en control de concreto	78
Tabla 12 Cuadro de interpolación para la variable Z.....	82
Tabla 13 Porcentajes de material para cada tipo de suelo	86
Tabla 14 Caracterización mecánica de los ladrillos de tierra comprimida.....	94
Tabla 15 Resultados de límites de consistencia.....	98
Tabla 16 Factores de corrección por esbeltez en ensayo de primas de albañilería.....	106
Tabla 17 Coeficiente de variación y desviación estándar S-01	108



Tabla 18 Coeficiente de variación y desviación estándar S-02	110
Tabla 19 Coeficiente de variación y desviación estándar S-03	111
Tabla 20 Coeficiente de variación y desviación estándar S-04	112
Tabla 21 Coeficiente de variación y desviación estándar S-05	113
Tabla 22 Coeficiente de variación y desviación estándar S-06	114
Tabla 23 Parámetros S-01 y S-02	116
Tabla 24 Parámetros S-01 y S-03	118
Tabla 25 Parámetros S-01 y S-04	119
Tabla 26 Parámetros S-01 y S-05	120
Tabla 27 Parámetros S-01 y S-06	121
Tabla 28 Resistencias a la compresión alcanzadas según porcentaje de cemento.....	132
Tabla 29 Resistencias a la compresión alcanzada según porcentaje de arena	133
Tabla 30 Comparación de resultados según antecedentes.....	134
Tabla 31 Análisis de costos unitarios según porcentaje de cemento utilizado	136



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

A	: Área para compresión
ASTM	: Siglas en inglés para la American Society of Testing Materials, que significa, Asociación Americana de Ensayo de Materiales.
BTC	: Bloque de tierra comprimida
°C	: Grados centígrados.
CHO	: Contenido de humedad óptimo
CV	: Coeficiente de variación
f'_b	: Resistencia característica a compresión axial de las unidades de albañilería.
f'_m	: Resistencia característica a compresión axial de la albañilería.
f'_t	: Esfuerzo admisible a tracción por flexión de la albañilería.
F'b_r	: Módulo de ruptura
Gm	: Módulo de corte de albañilería.
Gs	: Gravedad específica de los sólidos
H₀	: Hipótesis nula.
H₁	: Hipótesis alternativa.
hp	: Altura del prisma
IP	: Índice de plasticidad
IP	: Cemento puzolánico.
LL	: Límite líquido
LP	: Límite plástico
MDS	: Máxima densidad seca



Mpa	: Megapascales
MR	: Módulo de ruptura
n	: Número de pruebas realizadas.
NTP	: Norma técnica peruana.
P	: Carga máxima Kg
S-C-H	: Silicato de calcio hidratado.
T°	: Temperatura.
tp	: Medida lateral del prisma
u	: Media aritmética.
USCS	: Unified Soil Classification System – Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
V	: Volumen.
Vm	: Resistencia característica de la albañilería al corte.
W%	: Contenido de humedad.
Zo	: Estadístico de prueba.
σ	: Desviación estándar.
σ^2	: Varianza.



RESUMEN

Las construcciones tradicionales con tierra aún están presentes en una gran parte del mundo y en la Región de Puno. No sólo a lo largo de la historia ha sido una de las construcciones más tradicionales y populares, sino que en la actualidad sigue jugando un papel fundamental en nuestra sociedad. Una propuesta es la fabricación de los ladrillos de tierra comprimida, los cuales no necesitan de cocción como los fabricados artesanalmente que generan contaminación debido a las malas prácticas en el uso de quema de leña, llantas u otros objetos contaminantes. En el presente trabajo de investigación el objetivo general fue evaluar las propiedades mecánicas de los ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida, hechos principalmente con arcillas que se utilizan en la fabricación de ladrillos artesanales cocidos en la ciudad de Puno, evaluándose en comienzo las propiedades de estas arcillas como materia prima de fabricación, además de determinar el costo de producción de éstos. La metodología aplicada para esta investigación tiene un enfoque cuantitativo, mediante un proceso deductivo, con un alcance descriptivo correlacional de diseño experimental. Obteniendo una resistencia máxima a la compresión de 4.20 Mpa la cual se encuentra por debajo de los 4.90 Mpa requeridos para un ladrillo Tipo I para construcción de muros portantes, pero muy por encima de 1.0 Mpa requerido en resistencia de adobes, estos según RNE E070 y E080, estimándose finalmente un costo de producción de S/ 0.46 hasta S/ 0.73 por unidad para su fabricación según el porcentaje de cemento utilizado, ya que su uso va dirigido principalmente para la construcción de viviendas sociales ecosostenibles. Se recomienda tomar esta investigación como una alternativa en la ciudad de Puno y zonas rurales aledañas para la construcción de viviendas socioeconómicas.

PALABRAS CLAVES: Ladrillo, arcilla, tierra comprimida, ecológico, modular.



ABSTRACT

Traditional earthen constructions are still present in a large part of the world and the Puno Region. Not only has it been one of the most traditional and popular constructions throughout history, but it continues to play a fundamental role in our society. One proposal is the manufacture of compressed earth bricks, which do not require firing as the handmade ones, which generate pollution due to bad practices in the use of burning firewood, tires or other polluting objects. In this research work, the general objective was to evaluate the mechanical properties of modular ecological bricks of compressed earth made mainly with clays that are used in the manufacture of handmade fired bricks in the city of Puno, evaluating at the beginning the properties of these clays as raw material for manufacturing, in addition to determining the production cost of these bricks. The methodology applied for this research has a quantitative approach, through a deductive process, with a descriptive correlational scope of experimental design. Obtaining a maximum compressive strength of 4.20 Mpa, which is below the 4.90 Mpa required for a Type I brick for the construction of load-bearing walls, but well above the 1.0 Mpa required for adobe strength, according to RNE E070 and E080, finally estimating a production cost of S/ 0.46 to S/ 0.73 per unit for its manufacture depending on the percentage of cement used, since its use is mainly directed to the construction of eco-sustainable social housing. It is recommended to take this research as an alternative in the city of Puno and surrounding rural areas for the construction of socioeconomic housing.

KEYWORDS: Brick, clay, compressed earth, ecological, modular.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1.Planteamiento del Problema

Las construcciones tradicionales con tierra aún están presentes en una gran parte del mundo, del Perú y en la región de Puno. El 40% de la población mundial habita en viviendas de tierra distribuidas en los 5 continentes y el 17% forma parte del patrimonio mundial cultural (UNESCO,2013). Por su parte el INEI (2017) revela que la población que habita en viviendas de ladrillo o bloque de cemento corresponde a un 55.8%, siendo el resto construidas con materiales económicos como: adobe, tapia, madera, triplay, calamina, quincha y piedra con barro o sillar, cabe resaltar que en Puno el porcentaje de viviendas de adobe o tapia corresponde a un 58.6%.

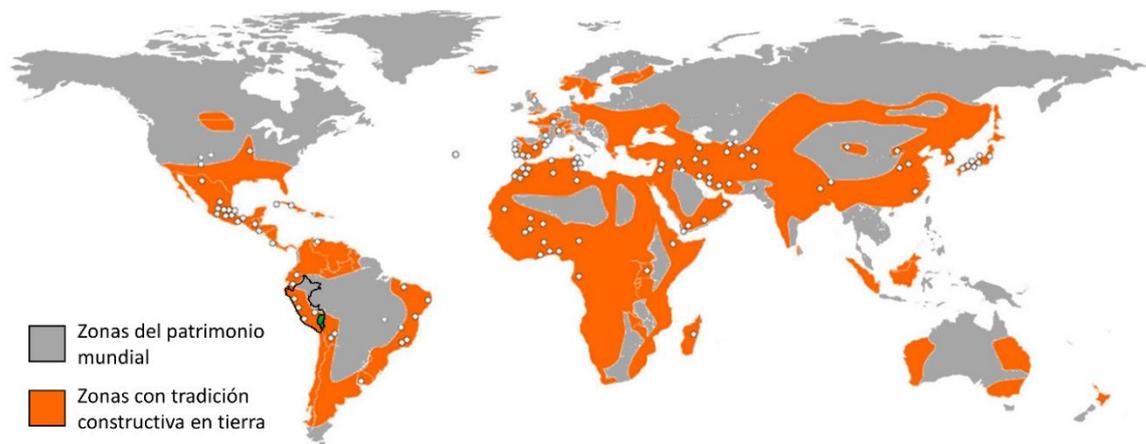
Las construcciones con tierra no solo a lo largo de la historia ha sido una de las construcciones más tradicionales y populares del planeta, sino que en la actualidad sigue jugando un papel fundamental en nuestra sociedad. La tierra sigue siendo uno de los principales componentes de construcción en poblaciones de escasos recursos económicos, ya que este material es de fácil acceso, ilimitado y eficiente debido a su trabajabilidad y diversos usos en la construcción.

Desde el comienzo de la civilización, las construcciones eran levantadas en base a materiales con mayor disponibilidad a la mano del hombre. Los mesopotámicos, por ejemplo, contaban con los depósitos aluviales de los ríos Tigris y Éufrates y los usaban para formar ladrillos y construir sus colonias. Las civilizaciones, que se asentaron en zonas rocosas utilizaron bloques de piedra para levantar sus construcciones, por ejemplo, las pirámides egipcias, que se construyeron a lo largo de las fronteras rocosas del valle

del Nilo. Sin embargo, el material de construcción más utilizado desde aproximadamente 9000 años a. C. es la tierra por su accesibilidad, abundancia y bajo costo (Alvarez, 2018). Las construcciones de tierra se ubican alrededor de todo el mundo. Aproximadamente el 50% de la población de los países en desarrollo y el 20% de la población urbana y urbano marginal habitan en viviendas de tierra (Houben & Guillard, 1994).

Si partimos de que las construcciones tradicionales podrían ser consideradas como alternativas viables y sostenibles, que no dañan el medio ambiente ya que aprovechan recursos renovables ecológicos generando conceptos de diseño funcional acorde a cada realidad y tradición local, siendo funcionales, estéticos, íconos de su propia cultura y entorno, además de ser perdurables en el tiempo. A este entender Vega Castro (2019) los concibe como ecotecnias, considerando que son acciones que se efectúan sin crear dependencias tecnológicas o económicas y las poblaciones puedan hacer un fácil uso de ellas.

Figura 1 Mapa de distribución mundial de construcciones con tierra.



Nota. La arquitectura de tierra en el mundo se muestra en coloración naranja.

Fuente: Al-Sakkafl, *et al.* (2021), Gatti (2012, p. 7), Neves & Borges Faria (2011)



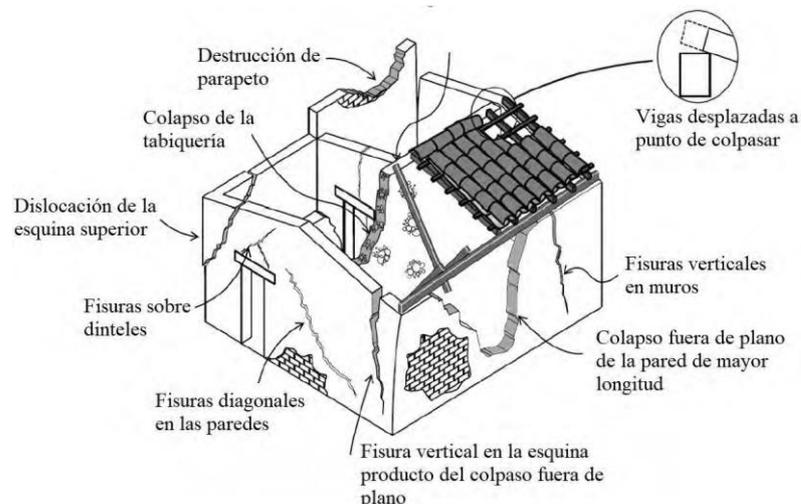
Según Romero (2010, p. 7) las ecotecnias o sistemas constructivos tradicionales ecológicos, y son “tecnologías constructivas amigables con el entorno” que fueron creadas para restablecer la relación armónica entre el ser humano y su hábitat. Las alternativas que presentan las ecotecnias son reconfortantes, pero también confrontativas ya que nos orientan a cuestionar la forma de vida tal y cómo la llevamos, al mismo tiempo que nos invitan a la aventura de vivir un nuevo paradigma. Ortiz Moreno, et al. (2014) demostró que las ecotecnias son aquellas metodologías que propician una relación armónica con el medioambiente sin dejar de lado los valores sociales y económicos de los interesados.

El uso de la tierra cruda como material de construcción es una alternativa potencial, en reemplazo de materiales como el cemento y la albañilería sobre todo en regiones con bajo desarrollo económico. Actualmente, aproximadamente el 34% de la población peruana habita en viviendas de tierra (INEI, 2017). El INEI (2017) estima que la población se incrementará a 40 millones para el año 2050. Esta cifra refleja la creciente demanda de viviendas existentes y esto representa un problema cuando hay un desequilibrio entre esta necesidad y la incapacidad económica de la población para cubrirla. En Perú, el 21.7% de la población es declarada monetariamente pobre (INEI, 2017). Este sector poblacional al no tener el dinero suficiente para construir una vivienda de concreto armado y/o albañilería optan por habitar en viviendas precarias. Las viviendas precarias son vulnerables frente a un desastre natural y sus habitantes corren el riesgo de perder sus artículos de primera necesidad, incrementado así el nivel de pobreza. Por otro lado, las construcciones de concreto armado y/o albañilería son predominantes en el mundo de la construcción por su estética, durabilidad y resistencia frente a diferentes tipos de solicitaciones. Sin embargo, este tipo de construcciones provocan efectos ambientales dañinos durante su ciclo de vida y además son costosas. Sin contar que, en

regiones de moderada a alta sismicidad es necesario emplear un sistema antisísmico, lo que conlleva a un incremento adicional del costo de la construcción. Por este motivo, contribuir con el estudio de técnicas de construcción resistentes a desastres naturales, económicas y ecosostenibles sigue siendo un reto para los investigadores de nuestra época (Alvarez, 2018).

Sin embargo, el sistema estructural de viviendas de tierra tiene muchas limitaciones. Los daños que se han producido en las viviendas de tierra a lo largo de la historia producto del intemperismo y/o desastres naturales son numerosos. Una prueba de esta realidad ocurrió el 15 de agosto de 2007 durante el terremoto de Pisco. El terremoto tuvo una duración de aproximadamente 210 segundos, una magnitud de 7.0 en la escala de Richter y un hipocentro de 40 km. Aproximadamente, 135 mil viviendas, que en su mayoría eran de adobe, quedaron inhabitadas durante el evento sísmico y además murieron alrededor de 600 personas y desaparecieron más de 300 (INDECI, 2008). Las fallas estructurales en estructuras de tierra debido a terremotos han sido estudiadas por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) las cuales se pueden observar en la Figura 2.

Figura 2 Fallas convencionales debido a terremotos en estructuras de tierra



Fuente: Adaptado, CENAPRED, México (2000)



El colapso de las construcciones de tierra se debe a un sistema constructivo deficiente y un inadecuado control de calidad en todas las fases de la construcción. Por estas razones, la tierra como material de construcción ha venido siendo estudiada en Perú con el fin de optimizar sus propiedades estructurales y lograr construcciones más resistentes, económicas y duraderas.

La utilización de ladrillos de tierra comprimida o bloques de tierra comprimida (BTC) como es conocido en otros lugares es una de las tecnologías más innovadoras en el campo de la fabricación de materiales con tierra, el cual fue utilizado desde inicios del siglo XVIII en Francia. Sin embargo, en el Perú el uso de ladrillos de tierra comprimida no es muy conocido ni utilizado en la construcción de viviendas o albañilería. Los ladrillos de tierra comprimidos han sido estudiados por diversos investigadores ya que aprovecha las ventajas de la compactación y la estabilización de la tierra. El proceso de estabilización es una técnica que permite mejorar las propiedades mecánicas de la tierra a través de la adición de sustancias vegetales, minerales, químicas o de otra índole. La presente investigación estudia las propiedades mecánicas de los ladrillos de tierra comprimida estabilizada físicamente añadiendo arena gruesa en determinados porcentajes, químicamente por la utilización de cemento y mecánicamente ya que esta tierra es comprimida hidráulicamente. El cemento es comúnmente aplicado dentro de la estabilización química de suelo en el campo de la ingeniería. (Alvarez, 2018).

Un típico Ladrillo de tierra comprimida es una unidad de albañilería fabricada en base a tierra compactada dentro de un molde con forma de un prisma rectangular. La tierra utilizada para la fabricación de estos ladrillos ha sido motivo de investigación en diversos estudios, donde la estabilización es el más conocido para mejorar sus propiedades de resistencia mecánica y durabilidad, la tierra utilizada en la presente



investigación será arcillas con las que se fabrican ladrillos artesanales cocidos en la ciudad de Puno, ya que este tipo de suelo arcilloso es común en la zona. Los ladrillos de tierra comprimidos son fabricados en moldes que tienen formas y dimensiones definidas, en los cuales se introduce la tierra estabilizada. La técnica de fabricación de los ladrillos de tierra comprimida es sencilla y no requiere el empleo de mano de obra calificada, lo cual reduce el costo del material. Además, desde un enfoque eco sostenible, el uso de estos ladrillos permite reducir la contaminación ya que no requieren de cocción alguna.

La forma de los Ladrillos ecológicos de tierra comprimida ha sido adaptada del estudio de Sturm (2014) quien los aplicó en el proyecto HiloTec. El proyecto HiloTec fue ejecutado con la contribución de la compañía Mota-Engil S.A. en Malawi, África. El alcance del proyecto fue la construcción de viviendas sociales sismorresistentes en base a ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida. (Alvarez, 2018).

Dado esto, el objetivo principal de la presente investigación es determinar las propiedades mecánicas del ladrillo modular de tierra comprimida, elaborado con arcillas utilizadas en ladrilleras artesanales de la ciudad de Puno, para evaluar la resistencia a la compresión axial de las unidades de albañilería f'_b de acuerdo a las normativas vigentes según E070 y E080. Seguidamente los objetivos específicos señalan determinar y analizar la clasificación granulométrica de las arcillas utilizadas en la fabricación de ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, para así constatar si estas cumplen con las recomendaciones y normas para la elaboración de ladrillos de tierra comprimida, realizar pruebas para establecer las propiedades mecánicas del ladrillo de tierra comprimida de acuerdo a los porcentajes de cemento y arena utilizados para la elaboración de estos y finalmente determinar el costo de producción de los ladrillos modulares de tierra comprimida elaborados con arcillas utilizadas en la fabricación de ladrillos artesanales en



la ciudad de Puno, en función a los porcentajes de cemento y arena utilizados en su fabricación.

Por consiguiente, la metodología aplicada para esta investigación tiene un enfoque cuantitativo mediante un proceso deductivo, con un alcance descriptivo correlacional de diseño experimental ya que tiene como propósito relacionar y vincular entre sí los resultados del comportamiento mecánico de los ladrillos modulares de tierra comprimida con la inclusión de diferentes porcentajes de arena y cemento; para alcanzar los objetivos, el presente estudio se sintetizó en 05 capítulos.

En el capítulo I se presenta las consideraciones del estudio, el planteamiento del problema, objetivos y justificación y se describe las condiciones para el desarrollo de la investigación. En el capítulo II, se describen los aspectos teóricos sobre los ladrillos modulares de tierra comprimida, donde se detalla su reseña histórica, dimensiones, geometría, tierra utilizada para su fabricación y normativa existente actual sobre la misma, además de la característica los insumos a utilizarse como cemento, agregados y agua. Se detalla luego los ensayos experimentales realizados para estos estudios como el procedimiento constructivo con ladrillos modulares de tierra comprimida. En el capítulo III se describen la metodología, el tipo de investigación, el nivel de investigación; se muestran la ubicación del estudio, variables, materiales y equipos; el procedimiento para la obtención de los ladrillos modulares de tierra comprimida, los ensayos realizados en unidades de albañilería y ensayos en prismas de albañilería. Seguidamente, en el capítulo IV se presentan los resultados y discusión, los resultados de los ensayos que se hacen a los insumos utilizados a las unidades de albañilería: como límites de consistencia, granulometría, próctor estándar, ensayo a flexotracción, ensayo de compresión uniaxial en prismas y ensayo a la compresión simple de las unidades de albañilería. Finalmente,



en el último capítulo se presentan las conclusiones del trabajo, las recomendaciones al proceso de fabricación y al control de calidad de ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida. El presente trabajo de investigación pretende evaluar las propiedades mecánicas de ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida elaborado con arcillas de la ciudad de Puno de acuerdo con la normativa vigente RNE E070 y E080. Basados en los anteriores planteamientos, se tiene las siguientes interrogantes de investigación.

Interrogante General

- ¿Cuáles son las propiedades mecánicas de los ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida elaborados con arcillas de la ciudad de Puno, para su evaluación con respecto a la normativa vigente RNE E070 y E080?

Interrogantes Específicas

- ¿Cuál es la clasificación granulométrica de las arcillas utilizadas en la fabricación de ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, cumplen con las recomendaciones y normas para la elaboración de ladrillos de tierra comprimida?
- ¿Cuáles son las propiedades mecánicas del ladrillo de tierra comprimida de acuerdo a los porcentajes de cemento y arena utilizados para la elaboración de estos?



- ¿Cuál es el costo de producción de los ladrillos modulares de tierra comprimida elaborados con arcillas utilizadas en la fabricación de ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, en función a los porcentajes de cemento y arena utilizados en su fabricación?

1.2.Objetivos

1.2.1. Objetivo General.

- Evaluar las propiedades mecánicas del ladrillo modular de tierra comprimida elaborado con arcillas utilizadas en ladrilleras artesanales de la ciudad de Puno, respecto la normativa vigente según RNE E070 y E080.

1.2.2. Objetivos Específicos.

- Determinar y analizar la clasificación granulométrica de las arcillas utilizadas en la fabricación de ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, para así constatar si estas cumplen con las recomendaciones y normas para la elaboración de ladrillos de tierra comprimida.
- Establecer las propiedades mecánicas del ladrillo de tierra comprimida de acuerdo a los porcentajes de cemento y arena utilizados para la elaboración de éstos.
- Determinar el costo de producción de los ladrillos modulares de tierra comprimida, elaborados con arcillas utilizadas en la fabricación de ladrillos artesanales en la ciudad de Puno en función a los porcentajes de cemento y arena utilizados en su fabricación.



1.3.Hipótesis

1.3.1. Hipótesis General.

- Las propiedades mecánicas del ladrillo modular de tierra comprimida, elaborado con arcillas utilizadas en ladrilleras artesanales de la ciudad de Puno, son diferentes a los establecidos por la normativa RNE E070 y E080 en cuanto a la resistencia a la compresión axial de las unidades de albañilería f'_b para muro portante.

1.3.2. Hipótesis Específicas.

- La arcilla utilizada en la fabricación de ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, tiene una clasificación granulométrica medianamente aceptable para la elaboración de ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida.
- La adición de cemento y arena como estabilizantes químico y físico respectivamente en determinados porcentajes, además de los cuidados como curado post prensado, logra mejorar las características mecánicas de ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida.
- El costo de producción de ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida elaborados con arcillas de la ciudad de Puno, es menor al costo de los ladrillos industriales y/o artesanales, además de variar respecto a la cantidad de cemento y arena utilizados.

1.4.Justificación

En nuestro país los ladrillos artesanales cocidos de arcilla son muy utilizados para la construcción de diversas obras de albañilería, esto debido principalmente a su bajo costo. Estas prácticas artesanales tienen muchos aspectos deficientes como son la contaminación que producen al llevar estas unidades a los hornos para su respectiva



cocción, además de la mala dosificación de materiales para su elaboración, su fabricación está ampliamente distribuida a nivel nacional. Utilizar estos ladrillos modulares de tierra comprimida ecológicos disminuirían notablemente la contaminación ambiental problema que viene aquejando a la sociedad en la actualidad; ya que, estos ladrillos ya no serán llevados a hornos de cocción, eliminando el uso de quema de leña, llantas u otros objetos contaminantes, reduciendo así la emisión de gases tóxicos.

El uso de estos ladrillos modulares reduciría el tiempo de construcción ya que su diseño modular permite un fácil aparejo reduciendo notablemente la utilización del mortero para determinados usos. En la ciudad de Puno, las temperaturas climáticas suelen llegar a grados bajo cero, los agujeros verticales y el material de arcilla utilizado en estos ladrillos proporcionarían un aislamiento térmico, el acabado fino de estos al ser comprimidos los catalogaría como ladrillos caravista además de reducir notablemente filtraciones de agua a los muros ya que en la ciudad de Puno las precipitaciones pluviales son constantes en determinadas épocas del año.

Otro aspecto importante en la construcción es la mano de obra, en la presente investigación se elaboraron ladrillos de tierra comprimida modulares, es decir que, para el aparejo de estos, debido a su diseño, serán ladrillos interconectados. Este tipo de construcción proporciona una ventaja laboral significativa sobre la mampostería tradicional, porque el mecanismo de interconexión hembra-macho de su sistema modular permite la construcción de mampostería sin mortero o en otros casos empleo de grout. El proceso constructivo es sencillo y no requiere del empleo de mano de obra calificada. Se estima que la reducción en el costo de la mano de obra es del 80% debido al aumento de la producción y la facilidad que brinda el proceso constructivo (Anand & Ramamurthy, 2005).



La presente investigación está enfocada en impulsar el uso de ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida como unidad de albañilería para la fabricación de viviendas sociales en la Región de Puno. En nuestra región, país y Sudamérica, en gran mayoría los muros de albañilería confinada son construidos con ladrillos artesanales, fabricados sin los estándares establecidos que especifican su clasificación, selección de muestras, ensayos en laboratorio, además de no tener en cuenta las consideraciones mínimas para el diseño, análisis e inspección de las construcciones de albañilería confinada y albañilería armada. Al no tomar en cuenta los controles básicos de calidad, las construcciones que se realizan con esas unidades tendrán un comportamiento impredecible y susceptible a daños leves y/o graves frente a acontecimientos sísmicos. “La actividad ladrillera artesanal se desenvuelve en un escenario especial caracterizado por la alta generación de contaminantes, informalidad, economía precaria, inseguridad en el trabajo y reducida capacidad de gestión” (Condori Apaza, 2013).

Y no lejos de ello, en La Rinconada de Salcedo - Puno, existen gran cantidad de estas ladrilleras informales en los cuales se puede notar la contaminación ambiental, además de las deficiencias que presentan los ladrillos al no ser controlados en su fabricación, ya que estos ladrillos artesanales de arcilla, generalmente son coccionados en hornos abiertos, esto da lugar a que los ladrillos ubicados en la parte alta del horno salgan crudos, mientras que aquellos ubicados en la parte baja salgan vitrificados (San Bartolomé, 2005).

Figura 3 Ladrilleras artesanales Rinconada de Salcedo Puno



Elaborado por equipo de trabajo

En síntesis, al realizar esta investigación se estimará un costo promedio para la fabricación de estos ladrillos, ya que su uso viene dirigido principalmente para la construcción de viviendas sociales ecosostenibles, además de evaluar la granulometría de la arcilla utilizada y, en cuanto a los ladrillos modulares de tierra comprimida, evaluar su cumplimiento conforme a las actuales normas vigentes para fines estructurales NORMA E.070 y E.080.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Antecedentes de la Investigación

(Rojas & Toche, 2014), realizó el ensayo de absorción ladrillos de tierra comprimida estabilizados con 20% de cemento, obteniendo un resultado promedio de absorción de las unidades, de 12.3%, el resultado se compara con el valor máximo para los ladrillos de arcilla cocida de la Norma E.070 (22%), y por lo tanto se consideran como unidades “aceptables” según este criterio de evaluación. También añade considerando una mezcla conformada por tierra arcillosa (65%), cemento (20%), arena fina (10%) y agua (5%) se lograron ladrillos de suelo cemento con una resistencia a la compresión de 99.5 kg/cm², valor superior a la resistencia mínima exigida por la Norma de Adobe E.080 (12 kg/cm²) y siendo equivalente a la resistencia característica a compresión de los ladrillos clase III (95 kg/cm²) de la Norma de Albañilería E.070.

(Quiroz, 2015) concluye que el suelo que se utilizará para mezclas de suelo cemento así como para la fabricación de unidades de albañilería de suelo cemento debe ser caracterizado mediante ensayos de laboratorio y corregido, de ser necesario, ya que la cantidad de cemento está relacionada directamente con el tipo de suelo y sus componentes, así pues, si se tiene un suelo con las cantidades de arena y arcilla recomendadas, se disminuirá la cantidad de cemento necesario, abaratando los costos de producción.

(Galíndez, 2007) tuvo como objetivo principal aportar al desarrollo de la tecnología para la fabricación de ladrillos, para la construcción de edificios, con bajo costo energético y ambiental y que puedan ser producidos por medio de autoconstrucción



y/o pequeñas unidades productivas. En esta investigación el autor estudia un material alternativo, bloque de tierra cruda comprimido (BTC) sin adición de cemento, para la construcción de muros. La eliminación del cemento de la mezcla base del mampuesto BTC responde fundamentalmente a dos razones: una económica, por cuanto el precio del cemento encarece el costo del mismo, y otra ambiental, relacionado con el impacto que produce el proceso de fabricación del cemento, lo cual añade un costo ambiental al bloque de suelo-cemento, a pesar de tener esto el menor impacto que los ladrillos de tierra y/o arcilla cocida, ya que el material es crudo, este artículo fue una investigación de tipo experimental, la cual determinó que la resistencia a compresión empíricamente aumenta de acuerdo a cómo se incrementa la compactación.

Mientras en España, (Cabo, 2011), abordó temas de la bio construcción para concienciar que el desarrollo de una ingeniería más sostenible es posible, donde se propone que los ladrillos puzolánicos sin cocción se constituyeron como material de construcción sostenible con gran capacidad de cubrir necesidades actuales y futuras de la sociedad para ello se utilizó la cal hidratada natural, cemento portland y residuos como cascarilla de arroz y las ceniza de cascara de arroz como sub producto de la generación de la biomasa, y se obtuvo un producto de buenos resultados con respecto a las propiedades mecánicas como resistencia a la compresión y a inmersión en agua y un excelente durabilidad frente a cambio de temperaturas.

(Padrón & Ruiz, 2015), desarrollaron una investigación la cual tuvo como objetivo principal la de analizar los bloques de tierra comprimido como material alternativo y sostenible para la construcción, siendo una investigación de tipo descriptiva de diseño no experimental y de campo. El estudio se basó en el análisis de la resistencia a la compresión, porcentaje de absorción máxima de agua y absorción por capilaridad en



los bloques de tierra comprimida establecidas por las normas colombianas INCOTEC NTC 5324 y normas Brasileñas ABNT 10834, 10835 y 10836, y llegaron a concluir indicando que los bloques de tierra comprimida pueden ser un material alternativo para la construcción de edificaciones simples y/o viviendas de interés social por lo que los ensayos realizados cumplen con lo estipulado en la NBR 10836.

(Browne ,2009), obtuvo 2.0 MPa de resistencia a la compresión en unidades de albañilería fabricadas manualmente. Además, indica que, debido al registro histórico de datos, se considera que si el bloque tiene por lo menos una resistencia a la compresión de 2.0 MPa su utilización es completamente aceptada para viviendas sociales de bajo costo. (Heath, *et al.* ,2009), realizó pruebas en BTC con distintos contenidos de humedad, donde obtuvo que si el bloque sufre un incremento de su contenido de humedad hasta un 6% la resistencia a la compresión disminuye hasta la mitad. (Sturm, 2014) estudió la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos elaborados con dos tipos de suelo estabilizados con cemento. Obtuvo resultados de 1.10 MPa y 2.31MPa a los 28 días de edad para dos tipos de suelo. Según el código de Nueva Zelanda 4298 (1998) la resistencia a la compresión de los BTC estabilizada con cemento mejora en proporción al esfuerzo de compactación y al contenido de cemento y se reduce por el aumento del contenido de humedad y el contenido de arcilla.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Reseña Histórica de los Ladrillos de Tierra Comprimida

El Ladrillo de tierra comprimida es utilizado desde principios del siglo XIX. La idea inicial nació en 1803 en Francia, lugar donde se desarrolló la idea de fabricar bloques con tierra compactada en moldes de madera (Maini, 2015). Fue con este material que se construye la ciudad de La Roche-Sur-Yon-Paris. En 1956 se desarrolla la primera versión moderna del molde, denominada prensa CINVA Ram (ver Figura 4) la cual fue el resultado de una campaña experimental desarrollada en Colombian Inter American Housing Center (CINVA) (Rocha, 2017). Con el inicio de la modernización de la fabricación de BTC la construcción con este material se constituye como una de las tecnologías mejoradas más utilizadas en la construcción con tierra. La clave del futuro de esta tecnología es la compresión del suelo, dentro en una prensa a una presión de 2 - 4 MPa. (Sitati & Starovoytova, 2015). Actualmente, este tipo de bloque se conoce comúnmente como "Bloque Rhino" o BTC. (Wheeler 2005).

Figura 4 Primer molde de prensa CINVA Ram



Fuente: Rocha (2017).

A partir de la creación de la prensa CINVA Ram se han ido generando diversas modificaciones para fabricar BTC de diversas formas y tamaños. La compactación manual era el proceso convencional para la producción de BTC, pero la importancia de

industrializar el proceso ha generado la necesidad de colocar un sistema de compactación hidráulica a las prensas de hoy en día. Una gran cantidad de compañías alrededor de todo el mundo fabrican máquinas para producir sus propios tipos de BTC. Las máquinas Aurum Press 3000, Hydraform M7, Soeng Thai Modelo BP6, EcoBrava y Forza son algunas de las más comercializadas. Las máquinas de BTC utilizan compactación vertical u horizontal para formar y expulsar los bloques. Esta orientación del compactado influye sobre las tolerancias del producto acabado. La tolerancia admitida es de 5 mm. Un bloque que es compactado de forma vertical tendrá dimensiones estrechas en el plano horizontal, donde su altura puede ser variable según el tipo de máquina, el control de calidad en la fabricación y el tipo de suelo. Por el contrario, un bloque compactado horizontalmente tendrá dimensiones más estrechas en el plano vertical y la longitud será variable.

Figura 5 Tipos de máquina y moldes



Nota. En la figura se muestra distintos tipos de máquinas y tipos de moldes para la fabricación de ladrillos ecológicos modulares de la marca Forza.

Fuente: Máquinas FORZA (2021) maquinasforza.com

2.2.2. Ladrillo de Tierra Comprimida.

Los ladrillos de tierra comprimida son unidades de albañilería a base de una mezcla de suelo homogéneo estabilizado con cemento que, dotados de cierta humedad, son comprimidos dentro de un molde por una prensa mecánica o hidráulica, siendo éstas manuales o motorizadas. El ladrillo de tierra comprimida puede ser usado en cualquier tipo de construcción tanto como albañilería para cercos perimétricos como para muros portantes, su fabricación es de bajo costo y su impacto al medio ambiente durante su fabricación es nula, estas propiedades la presentan como un sustituto perfecto frente a los ladrillos cerámicos convencionales. En otros países también es llamando Bloque de Tierra Comprimida (BTC). Para la presente investigación se utilizará la denominación de Ladrillo de Tierra Comprimida ya que su evaluación está en base de la Norma Técnica de Albañilería E 070. Se denomina ladrillo a aquella unidad cuya dimensión y peso permite que sea manipulada con una sola mano. Se denomina bloque a aquella unidad que por su dimensión y peso requiere de las dos manos para su manipuleo. (Norma Técnica E070 Albañilería RNE).

2.2.3. Dimensiones del Ladrillo de Tierra Comprimida

Las dimensiones nominales que los fabricantes deben declarar son en milímetros (mm), especificando la longitud (soga), la anchura (cabeza) y la altura (grueso).

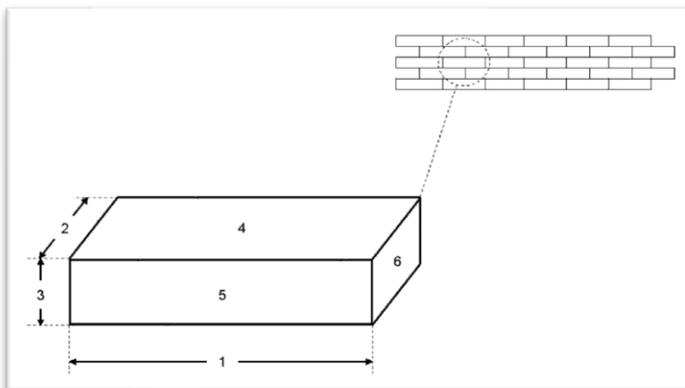


Figura 6 Dimensiones y superficies del ladrillo

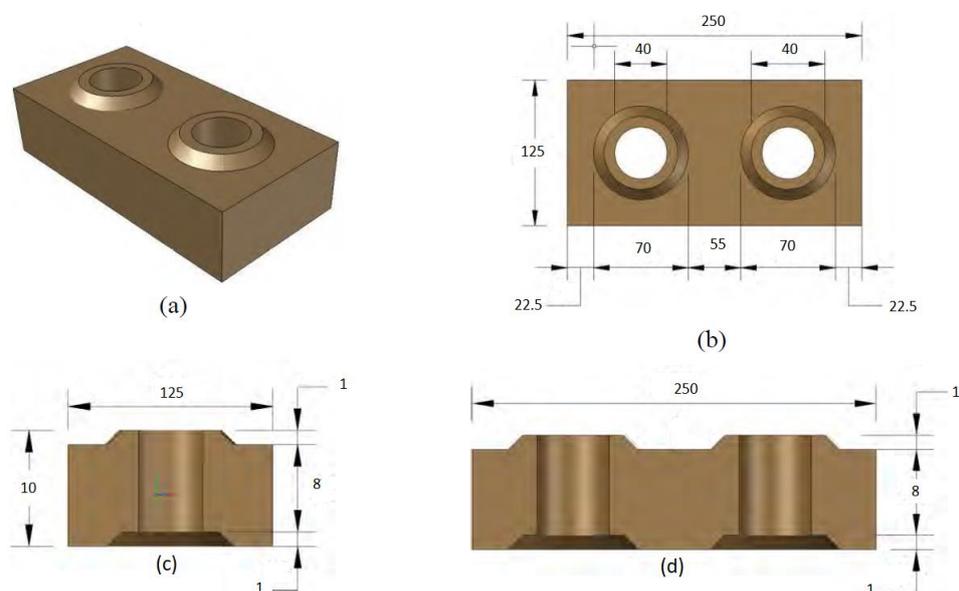
Fuente: UNE 41410:2008.

Nota: Leyenda 1 Largo-Soga; 2 Ancho-Cabeza; 3 Altura-grueso; 4 Tabla; 5 Canto; 6 Testa. Esta nomenclatura es empleada habitualmente para designar la situación de las piezas en el muro. (UNE 41410:2008).

2.2.4. Geometría del Ladrillo de Tierra Comprimida

La geometría del Ladrillo de tierra comprimida y el sistema de interconexión se adaptaron en base al proyecto HiloTec (Sturm, 2014). El Ladrillo ecológico modular de tierra comprimida tiene una base rectangular de 125x250 mm y una altura de 8 mm. Además, presenta dos agujeros que traspasan el cuerpo del bloque de forma transversal cada uno de 40 mm de diámetro. La unidad presenta un sistema de interconexión hembra – macho de 15 mm de espesor que permite el enlace vertical de los bloques en la mampostería. En la Figura 7 se observa del detalle de la geometría del Ladrillo ecológico modular de tierra comprimida desde distintas perspectivas.

Figura 7 Geometría del ladrillo de tierra comprimida



Nota. (a) Vista Isométrica (b) Vista en Planta (c) Corte Transversal (d) Corte Longitudinal. Elaborado por equipo de trabajo.

2.2.5. Descripción, Designación y Clasificación

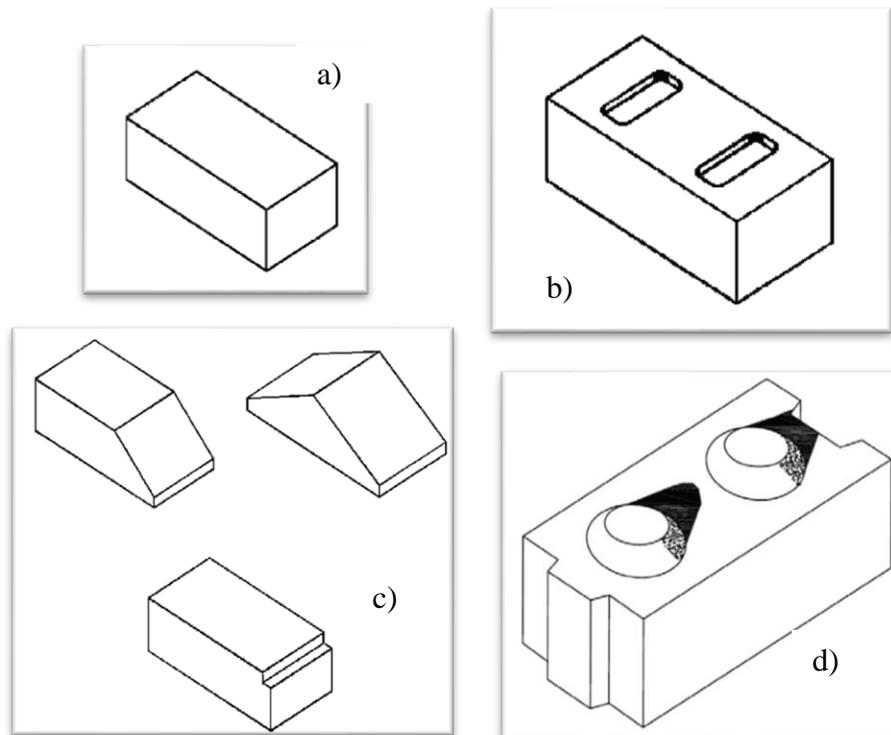
Según norma UNE 41410:2008, la designación de los ladrillos de tierra comprimida o BTC comprende por orden las siguientes indicaciones:

- BTC (para bloques de tierra comprimida)
- Categoría de uso: O (comunes) o P (cara vista)
- Clase de Resistencia la compresión.
- Dimensiones de fabricación

Ejemplo de denominación: BTC O 5, 240x120x80

Ejemplos de diferentes formas de bloques:

Figura 8 Formas de bloques de tierra comprimida



Nota. a) Ladrillo macizo b) Piezas especiales c) Ladrillo macizo con rebaje d) Ladrillo macizo con rebaje UNE 41410:2008

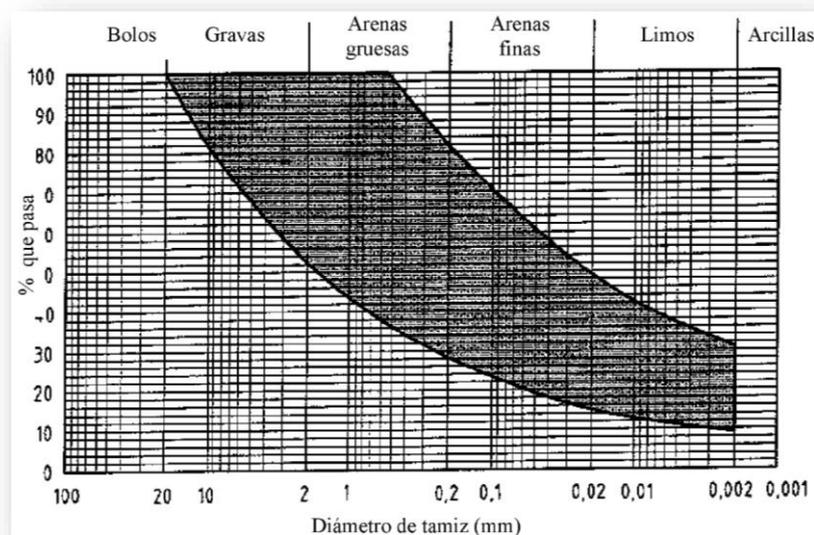
2.2.6. Tierra para Elaboración de Ladrillos

La tierra destinada para la construcción de ladrillos de tierra comprimida o BTC está compuesta esencialmente por grava, arena, limo y arcilla, mezclado con agua a determinada cantidad, opcionalmente con estabilizantes y aditivos.

Debe rechazarse las tierras que contengan materia orgánica mayor o igual al 2%, también deben rechazarse aquellas tierras que contengan sales solubles en contenido mayor o igual al 2%. Las principales características de la tierra se definen por su granulometría, plasticidad y tipo de arcilla.

Granulometría. Se recomienda que la granulometría del material utilizado esté inscrita en el huso del diagrama de textura Figura 9. Los límites de huso recomendado son aproximados. Los materiales cuya textura está inscrita en el huso recomendado dan resultados satisfactorios en la mayoría de casos. No se admitirá tierras con contenido de arcillas menor al 10% (UNE 41410:2008).

Figura 9 Huso del diagrama de texturas de las tierras

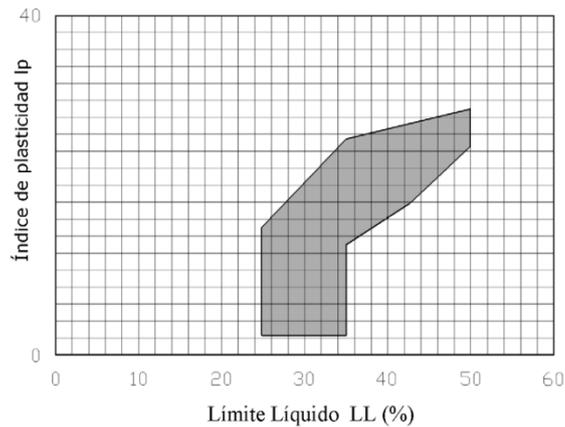


Nota. Huso del diagrama de texturas de las tierras a utilizarse para la fabricación de Ladrillos de tierra comprimida (UNE 41410:2008)

Plasticidad. Se recomienda que la plasticidad del material esté comprendida

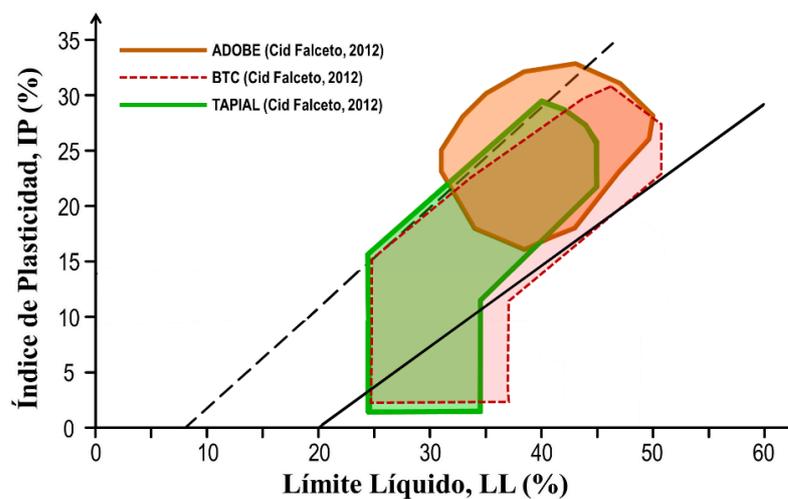
preferentemente en la zona sombreada del diagrama de plasticidad Figura 10. Los límites recomendados son aproximados. Los materiales cuya plasticidad queda inscrita en la zona sombreada recomendada, en la mayoría de casos dan resultados satisfactorios.

Figura 10 Zona recomendada del diagrama de plasticidad de tierras



Fuente: UNE 4141:2008

Figura 11 Áreas recomendadas para la selección ideal LL-IP del bloque de tierra



Nota. Áreas recomendadas en base al %LL y %IP para la elaboración del Adobe, BTC y Tapial.

Fuente. Elaboración propia, adaptado a los estudios realizados por Cid Falceto (2012) [en base a estudios realizados por Houben 1994], Bestraten, et al. (2011, p. 13).



2.2.7. Estabilización de la Tierra a Utilizarse

La estabilización puede ser de tres maneras. Estabilización mecánica para lo cual se comprime la tierra de 4 a 6 MPa, estabilización física para mejorar las propiedades de la tierra como estabilización granulométrica o adición de fibras y la estabilización química donde se agregan estabilizantes como cemento, yesos, cales u otros que se tengan a disponibilidad.

Los estabilizantes o aditivos utilizados en ningún caso deberán ser mayor al 15 % de la masa en seco del bloque de tierra comprimida. (UNE 41410:2008).

a. Estabilización química del suelo como material de construcción

El uso de la tierra químicamente estabilizada es una práctica convencional. En la actualidad existen una gran cantidad de sustancias que cumplen la función de agente estabilizador y la elección de uno depende de su disponibilidad en el mercado, sus características físico químicas y el costo que representa su utilización. Existen una gran cantidad de investigaciones que han estudiado el efecto de estabilizadores minerales, vegetales y químicos sobre las propiedades mecánicas del suelo, donde en la mayoría de casos los resultados han sido muy satisfactorios.

Para esta investigación se utilizó como agente estabilizador químico el Cemento Portland Tipo I, el cemento como agente estabilizante es aplicado y estudiado con frecuencia. El cemento Portland es usado mayormente en el proceso. Los principales componentes del cemento Portland son el silicato tricálcico (3CaO-SiO_2) y el silicato dicálcico (2CaO-SiO_2), los cuales son conocidos también como silicato cálcico hidratado, calcio hidratado, cemento hidráulico, entre otros. El incremento de la resistencia de los materiales que contienen cemento, depende de su reacción con el agua y de la cristalización que se forma en el proceso de hidratación. La ecuación (a) muestra



a la variable “n” que depende del contenido de agua, que denota que los enlaces de silicato cálcico hidratado dependen del óxido de silicio (SiO_2) y del consumo de agua. (Alvarez Ordoñez 2018).



Los beneficios de la estabilización de suelo con cemento Portland son aprovechados en la fabricación de ladrillos de tierra comprimida. El porcentaje varía de acuerdo al tipo de suelo utilizado como materia prima. Chan & Low (2010), realizaron pruebas experimentales con probetas cilíndricas de suelo estabilizado con cemento, donde obtuvieron una resistencia a la compresión (f'_c) entre 1.20 MPa y 1.39 MPa para suelos con 5% de cemento y de 2.16 MPa a 2.67 MPa para 10%.

Por otra parte, (Sturm ,2014), realizó ensayos de compresión en unidades de BTC estabilizada con 5% y 9% de cemento en peso en dos tipos de suelo. El BTC estabilizada con 5% de cemento alcanzó una resistencia a la compresión de 1.96 MPa, mientras que, el BTC estabilizada con 9% de cemento alcanzó 3.06 MPa a los 28 días de edad. Además, según el registro de (Sitati & Starovoytova, 2015) realizaron ensayos de compresión en unidades de ladrillos de tierra comprimida estabilizada con 12% de cemento en peso a los 28 días de edad que alcanzó una resistencia de 8,24 MPa. También existe otro estudio (Galindez, 2007) dónde evalúa una tierra clasificada como arena arcillosa (SM) dónde su estabilización no necesitó la utilización de cemento, llegando a una resistencia a la compresión media de 44 kg/cm² es decir 4.31 Mpa. en los bloques de tierra comprimida estudiados.



Cabe mencionar también que la investigación de bloques de tierra de gran resistencia, (Calderón,2013) estabilizó bloques de tierra con GeoSilex y ceniza volante llegando a resistencias a la compresión de hasta 102.78 Kg/cm² es decir 10.07 Mpa. Donde el GeoSilex es un captador de CO₂ aportando así también la reducción de la contaminación ambiental.

b. Estabilización física del suelo

Consiste en mejorar las características físicas del suelo utilizado como materia prima para la fabricación de ladrillos de tierra comprimida, este proceso se realiza aumentando determinada cantidad del material requerido según el análisis granulométrico realizado, es decir podemos encontrar suelos finos a lo cuales se estabilizarán con suelos arenosos o viceversa, esto de acuerdo a los usos recomendados en la Figura 9, para así obtener un suelo idóneo.

c. Estabilización mecánica del suelo

La estabilización mecánica consiste en compactar el suelo de forma estática o dinámica para aumentar su densidad, su resistencia mecánica, disminuir su porosidad y su permeabilidad. Puede incluir también previamente la mezcla de suelos de diferente gradación para obtener la especificación apropiada. Los objetivos ingenieriles de dicho procedimiento son principalmente a) Aumentar su capacidad portante, b) Disminuir el asentamiento de las estructuras, c) Controlar cambios volumétricos indeseables, d) Reducir la permeabilidad al agua, y e) Aumentar la estabilidad de los taludes (Das, 2013). La compactación de un suelo depende de la energía de compactación, por el tipo y gradación del suelo, y el grado de compactación depende del contenido de humedad y el peso unitario seco. El grado de compactación es entonces medido en términos del peso unitario del suelo seco.



2.2.8. Normativa Existente sobre la Construcción con Tierra

En la tabla se presenta las normas y reglamentos internacionales vigentes que regulan el diseño y construcción de tierra.

Tabla 1 Cuadro de normas de construcción con tierra

AÑO	PAÍS	NORMA
1979	Perú	NTP 331.201,331,202,331.203
1980	India	IS 2110
1982	India	IS 1725
1985	Turquía	TS 537, TS 2514, TS 2515
1986	Brasil	NBR 8491, 8492
1989	Brasil	NBR 10832, 10833
1990	Brasil	NBR 12025
1992	Brasil	NBR 12023, 12024
1993	India	IS 13827: 1993
1994	Brasil	NBR 10834, 10835, 1086
	Brasil	NBR 13554, 13555, 13553
1996	Regional África	ARS 670-683
	Túnez	NT 21.33, 21.35
1997	Nigeria	NIS 369
1998	Nueva Zelanda	NZS 4297, 4298
1999	Nueva Zelanda	NZS 4299
	Kenya	KS 02-1070
2000	Perú	NTE E.080
2001	Francia	XP P13-901
	Colombia	NTC 5324
2004	EEUU	NMAC, 14.7.4
	Italia	Ley N° 378, 2004
2006	Italia	L.R. 2/06
2008	España	UNE 41410
2009	Sri Lanka	SLS 1382-1, 1382-2, 1382-3
2010	EEUU	ASTM E2392 M-0

Fuente. Adaptado Cid, et al.,2011

Tabla 2 Normas y Reglamentos del ladrillo de tierra comprimida por su contenido

PAÍS GRUPO	NORMA REGLAMENTO	TÉCNICA	CAMPO DE APLICACIÓN	SELECCIÓN	REQUISITOS	ENSAYOS	FABRICACIÓN	CONSTRUCCIÓN	DISEÑO
REGIONAL ÁFRICA 12	ARS670,1996		Terminología BTC	X					
	ARS674,1996		Requisitos de BTC ordinarios	X	X				
	ARS675,1996		Requisitos aplicables a BTC vistos	X	X				
	ARS676,1996		Requisitos de morteros ordinarios		X				
	ARS677,1996		Requisitos de morteros vistos		X	X			
	ARS678,1996	BTC	Requisitos para albañilería revestida					X	X
	ARS679,1996		Requisitos para albañilería vista					X	X
	ARS680,1996		Estado del arte fabricación BTC	X			X		
	ARS681,1996		Estado del arte para morteros de tierra	X			X		
	ARS682,1996		Estado del arte para construcción					X	
ARS683,1996		Pruebas Requeridas			X	X			
SRI LANKA 13	SLS 1382-1:2009		Requerimientos	X	X				
	SLS 1382-2:2009	BTC	Métodos de Ensayo			X			
	SLS 1382-3:2009		Guía sobre producción, diseño y construcción				X	X	X
	NT 21.33:1996	BTC	Especificaciones para BTC ordinarios, características geométricas, físico químicas, entre otras		X	X			
	NT 21.35:1996		Definición y clasificación de BTC		X				
ESPAÑA 23	UNE 41410	BTC	Guía sobre producción, diseño y construcción	X	X	X	X	X	X

Adaptado Cid, et al.,2011

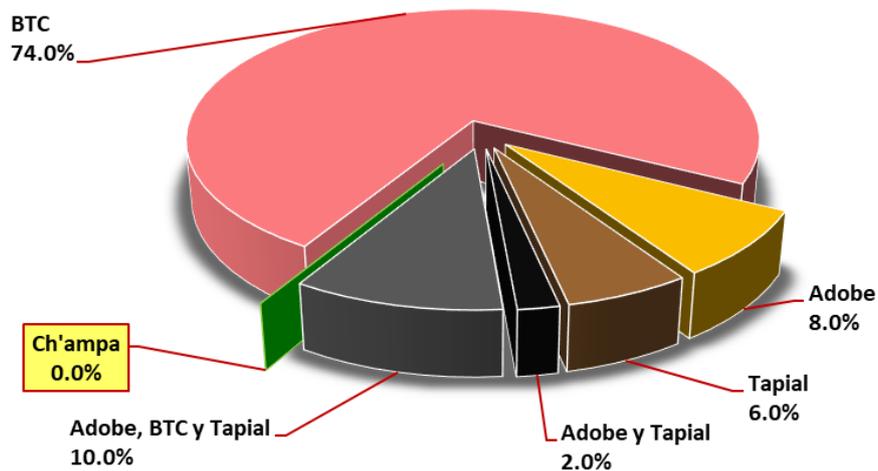
En el artículo “*las normativas de construcción con tierra en el mundo*” se realizó un recopilatorio de todas las normas vigentes en el mundo hasta el 2010, en el que se han encontrado 51 documentos de referencia a construcciones de adobe, bloque de tierra estabilizado con cemento y tapial (Cid Falceto, et al., 2011, p. 162). Y en la tesis doctoral “*Durabilidad de los bloques de tierra comprimida. Evaluación y recomendaciones para la normalización de erosión y absorción*” sustentada el año 2012, se encontraron 91 documentos relaciones con la normativa en diferentes países del mundo (Cid Falceto,

2012, pp. 28-29).

En los 18 países donde se han realizado normas y/o reglamentos, en referencia a las construcciones, han puesto énfasis en los sistemas que más utilizan y los que consideran más necesarios según su ámbito: ya sea por el campo de aplicación, la selección del suelo, requisitos del producto, ensayos, proceso de fabricación, proceso constructivo y diseño. Si bien es cierto que no todos los países han mencionado en sus normas todas las consideraciones necesarias, se puede observar que tienen una iniciativa bastante amplia en cuanto a la conservación de estas tecnologías (Cid Falceto, et al., 2011).

Una gran parte de los documentos analizados (88%) centran su contenido en el estudio de una única técnica constructiva, ya sea adobe (8%), bloques de tierra comprimidos BTC (74%) o tapial (6%), los documentos restantes (12%) examinan varias técnicas tal como se pudo apreciar en la *Figura Anterior* (Cid Falceto, 2012, pp. 36), pero ninguna analiza adecuadamente el estudio de bloques naturales, por lo que se hace imprescindible el desarrollo del presente estudio, debiendo iniciar en la evaluación de sus propiedades físicas que puedan servir para el desarrollo tanto de técnicas constructivas como la inclusión en futuras normativas.

Figura 12 Normas que consideran la construcción con tierra y Ch'ampa.



Fuente: Adaptado sobre el estudio de Cid Falceto (2012) y Vitulas (2020).



Perú cuenta con la Norma NTE E-80 (SENCICO, 2017) que es actualizada constantemente por estudios y aportes realizados tanto por el Servicio Nacional de Capacitación en la Industria de la Construcción, como por el CISMID. Una de las últimas actualizaciones fue presentada en abril del 2017, incluyendo la rehabilitación de monumentos históricos.

2.2.9. Cemento

Se define como cementos a los materiales pulverizados que poseen la propiedad de, por adición de una cantidad conveniente de agua, formar una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como al aire y formar compuestos estables. Quedan excluidas de esta definición las cales hidráulicas, las cales aéreas y los yesos. (Rivva Lopez, 2010)

2.2.9.1. Cemento Portland Normal

El cemento Portland es un producto comercial de fácil adquisición el cual cuando se mezcla con agua, ya sea solo o en combinación con arena, piedra u otros materiales similares, tiene la propiedad de reaccionar lentamente con el agua hasta formar una masa endurecida. (Abanto, 1994)

Definición Del Clinker:

El Clinker es fabricado mediante un proceso que comienza por combinar una fuente de cal (Oxido Cálcico, CaO del 60% al 67%), tal como las calizas; una fuente de sílice y alúmina (Anhídrido silícico, SiO_2 del 17% al 25% y óxido alúmino, Al_2O_3 del 3% al 8%), tal como las arcillas; y una fuente de óxido de hierro (óxido férrico, Fe_2O_3 del 0.5% al 6%), tal como el mineral de hierro. Una mezcla adecuadamente dosificada de los materiales crudos es finamente molida y luego calentada a una temperatura suficientemente alta, alrededor de los 1500°C , a fin de que se produzcan las reacciones entre los componentes del cemento, el producto obtenido del horno es conocido como el



Clinker de cemento Portland. Después de enfriado, el Clinker es molido con una adición de cerca del 6% de sulfato de calcio (Yeso) para formar el cemento Portland. (Rivva López, 2010).

2.2.9.2. Clasificación del Cemento Portland

Los cementos Portland, se fabrican en cinco tipos cuyas propiedades se han normalizado sobre la base de la especificación ASTM de Normas para el cemento Portland ASTM C 150. (Abanto, 1994)

TIPO I: Es el cemento destinado a obras de concreto en general, cuando en las mismas no se especifica la utilización de los otros 4 tipos de cemento.

TIPO II: Es el cemento destinado a obras de concreto en general y a obras expuestas a la acción moderada de sulfatos o donde se requiere moderado calor de hidratación.

TIPO III: Es el cemento de alta resistencia inicial, el concreto hecho con este tipo de cemento desarrolla una resistencia en tres días igual a la desarrollada en 28 días por concretos hechos con cementos tipo I o tipo II.

TIPO IV: Es el cemento del cual se requiere bajo calor de hidratación

TIPO V: Es el cemento del cual se requiere alta resistencia a la acción de los sulfatos. Las aplicaciones típicas comprenden las estructuras hidráulicas expuestas a aguas con alto contenido de álcalis y estructuras expuestas a aguas de mar.

En el Perú se utilizan los cementos tipo I, II y V. La Norma ASTM C 150 o NTP 339.009 incluye especificaciones para un cemento con incorporador de aire, el cual no se producen ni se utiliza en el Perú. (Rivva López, 2010)

Los cementos adicionados usan una combinación de cemento portland o clinker y yeso mezclados o molidos juntamente con puzolanas, escorias o cenizas. La ASTM C 595 establece cinco clases principales de cementos adicionados: (PCA, 2004)



Tipo IS	Cemento portland alto horno
Tipo IP y Tipo P	Cemento portland puzolánico
Tipo I (PM)	Cemento portland modificado con puzolana
Tipo S	Cemento de escoria o siderúrgico
Tipo I (SM)	Cemento portland modificado con escoria

2.2.9.3. Cemento portland puzolánico

Los cementos portland puzolánicos se designan como tipo IP o tipo P. El tipo IP se lo puede usar para la construcción en general y el tipo P se usa en construcciones que no requieran altas resistencias iniciales. Se fabrican estos cementos a través de la molienda conjunta del clínker de cemento portland con una puzolana adecuada, o por el mezclado de cemento portland o cemento de alto horno con puzolana, o por la combinación de la molienda y del mezclado. El contenido de puzolana de estos cementos está entre 15% y 40% de la masa del cemento. Los ensayos de laboratorio indican que el desempeño de los concretos preparados con el cemento tipo IP es similar al concreto del cemento tipo I. (PCA, 2004)

La puzolana empleada en la fabricación de cementos es aquel material que posee propiedades puzolánicas es decir como aptitud para fijar hidróxido de calcio a la temperatura ambiente, formando en presencia de agua, compuestos que poseen propiedades hidráulicas. Debe cumplir con los requisitos de la norma ASTM C 595.

Las puzolanas pueden ser naturales (tierra de acaloradas, rocas opalinas, esquistos, cenizas volcánicas, pumitas, etc.), material calcinado (los anterior mencionados y algunos como arcillas y esquistos más comunes) y material artificial (óxido de silicio precipitado y cenizas).



2.2.9.4. Compuestos principales

Como el cemento es una mezcla de muchos compuestos, resulta impracticable su representación con una fórmula química, No obstante, hay cuatro compuestos que constituyen más del 90% del peso del cemento, y son:

Silicato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$)	= C_3S
Silicato dicálcico ($2\text{Ca}\cdot\text{SiO}_2$)	= C_2S
Aluminato tricálcico ($3\text{Ca}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$)	= C_3A
Alumino ferrita tricálcica ($4\text{Ca}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$)	= C_4AF

Cada uno de los cuatro compuestos principales del cemento portland contribuye en el comportamiento del cemento, cuando pasa del estado plástico al endurecido después de la hidratación. (Abanto Castillo, 1994)

A continuación, se describirá como influyen estos compuestos en el concreto: (Rivva López, 2010)

Silicato Tricálcico $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (C_3S)

El cemento endurece más rápidamente y alcanza resistencias más elevadas fundamentalmente por la combinación cal-sílice conocido como Silicato tricálcico. Es el más importante de los compuestos minerales del Clinker. El C_3S produce una gran velocidad de hidratación, lo que favorece un rápido endurecimiento del cemento, sus características hidráulicas son excelentes, su calor de hidratación completa en 120 cal/gr.

Debido a esta capacidad de generación de calor, así como su velocidad de endurecimiento rápida, los cementos ricos en silicato tricálcico son muy recomendables para operaciones de concretado en zonas de baja temperatura, a la vez estos concretos no son muy recomendables para operaciones de concretado en construcciones masivas, por



ejemplo presas, por el peligro de figuración del concreto, en climas cálidos deben tomarse precauciones si se emplean estos cementos, igualmente no son recomendables cuando se va a emplear altos contenidos de cemento por unidad de volumen.

Silicato Dicálcico $2\text{Ca}\cdot\text{SiO}_2$ (C_2S)

El silicato dicálcico tiene una lenta velocidad de hidratación y endurecimiento, lo que le caracteriza como principal constituyente de los cementos de endurecimiento lento, se estima su calor de hidratación completa en 62 cal/gr. La contribución del C_2S a la resistencia en las primeras edades es muy pequeña, posteriormente es la fuente principal del desarrollo de resistencia, la resistencia del concreto a los ciclos de congelación y deshielo tiende a mejorar conforme aumenta el porcentaje de los silicatos cálcicos del cemento.

Los cementos ricos en silicato dicálcico son químicamente más estables y más resistentes al ataque por sulfatos, además son adecuados en construcciones masivas; en climas cálidos; y en todos aquellos casos en que no sea de interés primordial el conseguir grandes resistencias a corto plazo.

Aluminato Tricálcico $3\text{Ca}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A)

El contenido de C_3A de los cementos enfriados rápidamente es considerablemente más bajo que el de los clínkeres de la misma composición enfriados lentamente. Después de los álcalis, los aluminatos son los compuestos de cemento que primero reaccionan con el agua. Su fraguado ocurre a una velocidad de hidratación muy grande, hasta el punto de ser casi instantáneo, se estima que su calor de hidratación completa en 207 cal/gr, para controlar esta velocidad de hidratación obliga la adición de sulfato de calcio al Clinker durante el proceso de molienda de este último.



El C_3A contribuye al desarrollo de la resistencia durante las primeras 24 horas, posteriormente su aporte a la resistencia es prácticamente nula. La resistencia del concreto a los ciclos de congelación y deshielo tiende a disminuir con aumentos en el contenido de C_3A . El C_3A es muy sensible a las aguas sulfatadas, aguas que contienen cloruros; en altos contenidos de sulfatos se recomienda valores a C_3A máximos del 5%.

Los cementos ricos en C_3A y C_3S dan elevadas resistencias a corto plazo, pero tienen el inconveniente, en general, de una menor resistencia a los agentes agresivos que aquella que presentan los cementos ricos en silicato dicálcico.

Alumino Ferrita Tricálcica $4Ca \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ (C_4AF)

El calor desarrollado por el C_4AF es muy bajo, estimándose su calor de hidratación completa de 100 cal/gr. Su papel en las resistencia mecánica no está definido, aunque se estima que tiene efecto muy pequeño en cualquier periodo.

Los cementos ricos en C_4AF tienen condiciones de empleo específicas en todos aquellos casos en que importe más la durabilidad frente a los agresivos químicos que las resistencias mecánicas.

2.2.9.5. Compuestos secundarios

Los cuatro compuestos principales del Clinker suponen del 90% al 95% del total. El porcentaje restante corresponde a los llamados compuestos secundarios, los cuales pueden agruparse en: (Rivva López, 2010)

Óxido de Cal libre (CaO)

La cal libre, o cal combinada es una cal calcinada a muy alta temperatura, en consecuencia, su hidratación transcurre lentamente, la cal libre del Clinker y/o cemento Portland es un componente accidental, el cual puede ser por:



- Una combinación imperfecta de la cal con otros materiales por inadecuada cocción del Clinker.
- Defectos de dosificación, homogenización o cocción del crudo; o inadecuada finura del mismo.
- Deficiencias de enfriamiento del Clinker a la salida del horno.

La cal libre, en presencia de agua o sustancias ácidas, forma sales de calcio las cuales dan origen a expansiones, agrietamientos y desmoronamiento del concreto.

El contenido de cal libre debe ser inferior a 2%.

Óxido de magnesio (MgO)

El óxido de magnesio, o magnesia, presente en el Clinker, es una sustancia que frecuentemente acompaña al óxido de calcio. Puede provenir tanto de las materias primas calizas como de las arcillosas. El óxido de magnesio es un factor determinante de la calidad del cemento Portland. Cuando la cantidad de MgO es superior al 5% en el Clinker, el cemento puede ser expansivo, cuando este contenido está por debajo del 2.5% las expansiones son bajas.

El proceso de hidratación de la magnesia es lento, ensayos de laboratorio indican que los cementos con contenido de óxido de magnesio elevado alcanzan sus máximas expresiones en un periodo de uno a diez años. Aún después de cinco años en agua el óxido de magnesia de algunos cementos no ha llegado a hidratarse totalmente.

El óxido de magnesio en contacto con el agua, se hidratan y aumenta de volumen. Esta expansión es más peligrosa cuando se manifiesta con gran lentitud en concretos ya fraguados y endurecidos, como fenómenos de dilatación y agrietamiento del concreto en una acción a largo plazo.



Óxidos de sodio y potasio

Conocidos también como álcalis, son acompañantes inevitables de la materia prima del cemento, especialmente de la arcillosa, la norma ASTM C150 indica que el cemento portland normal no deberá contener más del 0.6% de álcalis en peso del cemento. El óxido de sodio como el de potasio son elementos indeseables en el cemento.

Si bien son inofensivos en pequeñas concentraciones, cuando sobrepasan de determinados porcentajes de óxidos de sodio y potasio pueden ser nocivos por su capacidad de reaccionar con determinados compuestos presentes en algunos agregados. Esta reacción da origen a expansión con destrucción del concreto.

Pérdida por calcinación

Se entiende por pérdida de calcinación a la disminución de peso experimentada por una muestra de cemento la cual ha sido calentada a una temperatura de 1000°C. La pérdida de peso se debe a que durante el calentamiento se liberan vapor de agua y anhídrido carbónico.

Teóricamente un Clinker adecuadamente cocido no debería experimentar pérdidas por calcinación, sin embargo, las pérdidas observadas son mayores debido a que durante el proceso de almacenamiento del Clinker puede absorber humedad del mismo ambiente, el yeso añadido además de su humedad de cantera contiene 21% de agua químicamente combinada.

Según las normas ASTM C 150, o las correspondientes NTP, el cemento debe tener una pérdida de calcinación máxima del orden 3% para todos los tipos de cemento portland, exceptuando el Tipo V cuya pérdida por calcinación máxima es de 2.3%. Se estima que pérdidas mayores que las indicadas son un índice de desarrollo de un proceso



de hidratación que hace perder al cemento sus cualidades hidráulicas y perjudican sustancialmente el desarrollo de resistencia en relación con la edad.

Anhídrido sulfúrico SO_3

Es un componente muy importante en el cemento, se presenta en pequeños porcentajes, este elemento proviene del yeso ($CaSO_4$ Sulfato de calcio) añadido al Clinker. La adición de yeso al Clinker de cemento portland se hace con la finalidad de regular el tiempo de fraguado, pero si se añade demasiado, se corre el peligro que se presenten expansiones por acción del yeso.

Es sabido que el C_3A , en contacto con el agua, fragua en forma prácticamente instantánea, no obstante que el contenido de C_3A en el cemento induce al fraguado rápido, una pequeña adición de yeso elimina el inconveniente citado.

La norma ASTM C150 limita el contenido de anhídrido sulfúrico de los cementos portland normales a un máximo el cual está en relación con el contenido de C_3A :

Si el contenido de C_3A es de 8% o menor, la norma admite un contenido máximo de SO_3 de:

- 2.5% para cementos portland Tipo I y II.
- 2.3% para cementos portland Tipo V.

Si el contenido de C_3A es más del 8%, la norma admite un contenido máximo de SO_3 de: 3% para cementos portland Tipo I.



2.2.10. Arcilla

(Rhodes, 1990) indica que la arcilla constituye un agregado mineral y de sustancias coloidales que se han formado mediante la desintegración química de las rocas alúminas. Esta ha sido obtenida por procesos geológicos de envejecimiento del planeta, debido a que el proceso de envejecimiento es continuo y ocurre en cualquier punto de la tierra, es considerado un material corriente y bastante abundante. La gran mayoría de las rocas que conforman la corteza terrestre están formadas de feldespato ya que es el mineral más común de la tierra, a este tipo de rocas formadas por feldespato se le conoce como rocas feldespáticas y con la subsiguiente descomposición de estas rocas es que se da origen a la formación de arcilla.

Las arcillas son materiales inorgánicos no-metálicos de formación sedimentaria que tienen en común una estructura constituida por planos superpuestos y que con el agua forman sistemas arcilla-agua con mayor o menor plasticidad, que al secar se contraen y adquieren resistencia, que al ser cocido a altas temperaturas adquieren dureza y durabilidad volviéndose indestructible (Valdez, 1994).

En base a las condiciones y factores que intervienen en la formación de las arcillas, éstas demostrarán diferentes características propias de cada tipo que determinarán las propiedades que va a tener la mezcla para la fabricación del ladrillo.

- La materia prima usada en la fabricación de ladrillos son por lo frecuente arcillas amarillas o rojas de composición heterogénea o relativamente impura.
- Las arcillas empleadas en la mezcla deben ser plásticas al juntarse con el agua, de modo tal que puedan ser moldeadas o por el dado de las máquinas extrusoras que dan forma final a las unidades de arcilla.



- Sus partículas deberán tener suficiente adhesión para mantener la estabilidad de la unidad después del moldeo y la capacidad de unirse fusionándose cuando se calientan a temperaturas altas.

Según las características mencionadas, las arcillas superficiales son las que satisfacen esas condiciones para la fabricación de ladrillo; además, estos son más fáciles de explotar, porque corresponden a una formación sedimentaria reciente y por lo tanto son las más usadas, en contraparte están expuestas a contaminación con sales o uso agrícola del suelo, lo que conlleva a unidades de albañilería vulnerables a eflorescencia (Gallegos, 2005). Por otro lado (San Bartolomé, 1994) indica que las arcillas empleadas como materia prima para la elaboración de los ladrillos se clasifican en calcáreas y no calcáreas. Las primeras con un 15% de carbonato de calcio, que produce unidades de color amarillento; en las segundas, impera el silicato de alúmina con un 5% de óxido de hierro, que le entrega un tono rojizo. Las mejores arcillas contienen un 33% de arena y limo; cabe mencionar que necesariamente debe existir arena para reducir los efectos de contracción por secado de la arcilla.

2.2.11. Agua

El agua presente en la mezcla para ladrillos de tierra comprimida reacciona químicamente con el material cementante para lograr: La formación de gel. Permitir que el conjunto de la masa de tierra cemento adquiera las propiedades que:

- En estado no endurecido faciliten una adecuada manipulación y colocación de la misma.
- En estado endurecido se convierta en un producto de las propiedades y características deseadas.

Como requisito de carácter general y sin que ello implique la realización de

ensayos que permitan verificar su calidad, se podrá emplear como aguas de mezclado aquellas que se consideren potables, o las que por experiencia se conozcan que pueden ser utilizadas en la preparación del concreto. (López, 2010)

Requisitos que debe cumplir el agua

El agua empleada en la preparación y curado del concreto deberá cumplir con los requisitos de la Norma NTP 339.088, y ser de preferencia Potable.

Tabla 3 Requisitos para el agua de mezcla.

SUSTANCIAS DISUELTAS	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE
Cloruros	300 ppm
Sulfatos	300 ppm
Sales de Magnesio	150 ppm
Sales Solubles	150 ppm
PH	Mayor de 7
Sólidos en suspensión	1500 ppm
Materia Orgánica	10 ppm

Fuente: NTP 339.088

La NTP 339.088 distingue cuatro tipos de agua utilizable para el concreto:

- Agua combinada, la cual es el resultado de la mezcla de dos o más fuentes combinadas a la vez, antes o durante su introducción en la mezcla para utilizarla como agua de mezcla.
- Agua no potable, la cual proviene de fuentes de agua que no son aptos para el consumo humano, o si contienen cantidades de sustancias que la decoloran o hacen que huelga o tenga un sabor objetante.
- Aguas en las operaciones de producción del concreto, que ha sido recuperada de procesos de producción de concreto de cemento Portland; agua de lluvia colectada; o agua que contiene ingredientes del concreto.
- Agua potable que es apta para el consumo humano.

2.2.12. Agregados

Para la estabilización física del ladrillo de tierra comprimida se tiene una mezcla homogénea que está conformado por una pasta de cemento y agua en la cual se encuentran embebidas partículas de un material conocido como tierra, además de agregado el cual ocupa del 5% al 10% del volumen de la unidad cúbica del ladrillo de tierra comprimida, esto para la presente investigación. Este porcentaje dependerá de la granulometría de la tierra a utilizarse y de la granulometría de este agregado si fuese el caso según los parámetros requeridos por las normas vigentes.

Los agregados también son llamados áridos, que se combinan con los aglomerantes (cemento, cal, etc.) y el agua formando los concretos y morteros, es importante que los agregados tengan buena resistencia, durabilidad y resistencia a los elementos, que su superficie esté libre de impurezas como barro, limo y materia orgánica, que puedan debilitar el enlace con la pasta cemento.

Se clasifican en:

- 1) Agregados Finos
 - Arena fina
 - Arena gruesa

- 2) Agregados Gruesos
 - Grava
 - Piedra

Para la presente investigación sólo se utilizará agregado fino, esto debido al estudio granulométrico realizado a la tierra utilizada como materia prima para la fabricación de ladrillos de tierra comprimida.



2.2.12.1. Agregado fino

Se considera como agregado fino a la arena o piedra natural finamente triturada de dimensiones reducidas, que pasan por el tamiz 3/8" (9.52mm) y que es retenida en el tamiz N°200 (0.074mm) NTP400.037. (Abanto Castillo, 1994).

Sin embargo, el Manual de ensayo de materiales (EM 2000) del MTC E 204-2000, El cual está basado según a las normas ASTM 136 y AASHTO T 27, los mismos que se han adaptado, a nivel de implementación, a las condiciones propias de nuestra realidad. Este Manual indica que para mezclas de agregados gruesos y finos la muestra será separado en dos tamaños, por el tamiz 4.75mm (N°4). Por lo tanto, para la presente investigación, se manejará al tamiz N°4 para separar el agregados grueso y fino.

2.2.12.2. Granulometría del agregado fino (NTP 400.012)

El conocimiento de la composición granulométrica del agregado nos permite conocer la distribución de tamaños en función a sus volúmenes, pero representados en este ensayo en función a sus pesos retenidos en mallas, cuyas aberturas difieren sucesivamente en la mitad de la anterior.

Estas partículas deberán tener un comportamiento óptimo en la mezcla, y esto solo se obtendrá si sus volúmenes llegan a tener una buena compacidad entre ellas, conociendo que el agregado grueso aporta con su resistencia y su volumen, y el agregado fino actúa como lubricante para la suspensión de los agregados gruesos en la mezcla, aportando en mejorar la consistencia y la trabajabilidad de la mezcla. Por lo que concluimos que una granulometría óptima origina en la mezcla una alta densidad, buena trabajabilidad y un óptimo contenido de cemento. En general se considera que las granulometrías sean continuas, es decir aquellas en las que el tamaño de las partículas varía del más fino al más grueso siguiendo una ley uniforme, son las más satisfactorias, no siendo deseable

que en cada tamiz sean retenidos porcentajes iguales.

La experiencia ha demostrado que es posible obtener concretos de calidad empleando agregados con granulometrías discontinuas; es decir excluyentes de determinados tamaños de agregados, siendo la principal desventaja de estas la posibilidad de una mayor segregación, la corrección de la granulometría del agregado fino por tamizado y recombinación, puede ser costosa e impracticable, para el agregado grueso puede ser fácilmente realizada. (Rivva Lopez, 2010)

Es recomendable tener en cuenta lo siguiente:

- La granulometría seleccionada deberá ser preferentemente continua, con valores retenidos en las mallas: N°4 a N°100.
- El agregado no deberá retener más de 45% en dos tamices consecutivos cualquiera.
- En general es recomendable que la granulometría se encuentre dentro de los siguientes límites.

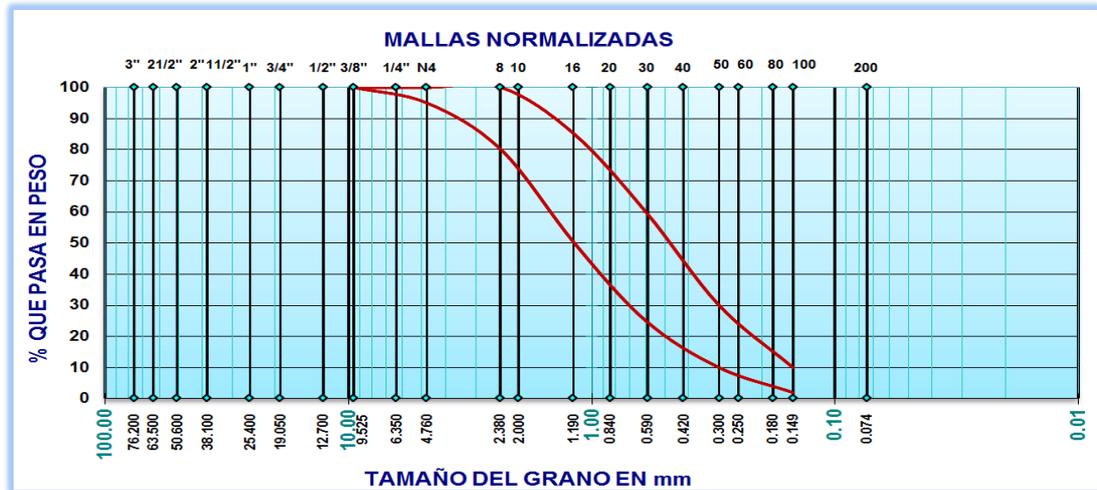
Tabla 4 Requisitos granulométricos para el agregado fino

TAMIZ MALLA	PORCENTAJE QUE PASA
9.5mm (3/8 pulg)	100
4.75mm(N°4)	95 a 100
2.36mm(N°8)	80 a 100
1.18mm(N°16)	50 a 85
600µm(N°30)	25 a 60
300µm(N°50)	05 a 30
150µm(N°100)	0 a 10

Fuente: Norma Técnica Peruana 400.037 (2002)

Con los datos de la Tabla 4, dibujamos la curva envolvente, lo cual se muestra en la siguiente figura:

Figura 13 Curvas envolventes para el agregado fino.



Nota. Según norma NTP 400.037

Fuente: Elaborado por equipo de trabajo

2.2.13. Ensayos Experimentales Realizados

Mediante las propiedades físicas (variación dimensional, alabeo, succión, absorción) y sus propiedades mecánicas (resistencia a la compresión, resistencia a tracción por flexión, resistencia a tracción indirecta), establecemos con el tipo de ladrillo para poder clasificar en los parámetros indicados en la norma técnica peruana, y así determinamos el tipo de ladrillo con el cual se está desarrollando el trabajo de investigación. Es importante conocer las propiedades mecánicas de los ladrillos de tierra comprimida y su comportamiento para deducir la resistencia y durabilidad de las estructuras que van a ser construidas en base a este material, para la presente investigación se evaluarán las propiedades mecánicas de los ladrillos según la norma técnica peruana NTE E070.



2.2.13.1. Resistencia a la Compresión

La resistencia a la compresión es la medida de desempeño más común, que se representa numéricamente mediante el cociente de la división de la carga de ruptura aplicada a la unidad de albañilería entre el área de sección que resiste la carga. El procedimiento en el Perú se define en la NTP 399.613 para ladrillos de arcilla cocida, en Colombia mediante la NTC 5324 y en Brasil la NBR 8491 ambos para bloques macizos de suelo cemento.

Se emplea la resistencia a compresión por la facilidad en la realización de los ensayos y el hecho de que la mayoría de propiedades donde se utiliza cemento mejoran incrementándose esta resistencia. La resistencia en compresión es la carga máxima para una unidad de área por una muestra, antes de fallar por compresión (agrietamiento, rotura). (Abanto Castillo, 1994).

La resistencia a la compresión del prisma se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$f'c = \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{); } A = \text{Largo} \times \text{Ancho}$$

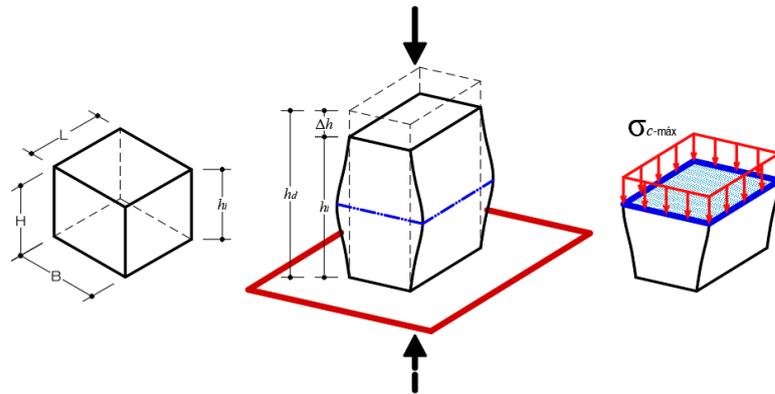
Donde

$f'c$: Es la resistencia de rotura a la compresión del concreto.

P : Carga de Rotura (kg)

ϕ : Diámetro de la briqueta cilíndrica (cm)

Figura 14 Dimensiones de la probeta y deformaciones por compresión.



$$\varepsilon = \frac{h_i - h_d}{h_i} = \frac{\Delta h}{h_i} \quad \sigma_c = \left[\frac{P}{A} \right]$$

Donde:

- ε : Deformación unitaria (en %).
- h_i : Altura inicial de probeta (en mm).
- h_d : Altura deformada final de probeta (en mm).
- Δh : Variación de deformación por compresión (en mm).
- P : Carga aplicada (en kg).
- A : Área de la rección (en cm²).

Tabla 5 Clasificación de las unidades de albañilería para fines estructurales, Perú.

CLASE DE UNIDAD DE ALBAÑILERÍA PARA FINES ESTRUCTURALES					
CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSIÓN (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	HASTA 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

Fuente RNE E070

Tabla 6 Clases de resistencia normalizada a la compresión, España

BLOQUES	BTC1	BTC3	BTC5
Resistencia normalizada, f_c (fractil 5%) en N/mm ²	1.3	3	5

Fuente UNE 41410:2008

El esfuerzo a la compresión ha sido una característica básica y universalmente aceptada para medir la calidad de las unidades de albañilería (Morel & Pkla, 2002). Las muestras para realizar el ensayo se elaboraron en una máquina Forza, elaborándose primas de 12.5 cm de ancho y 25 cm de largo con dos alveolos de 4 cm de radio, con una altura de 8 cm. La resistencia a la compresión y el módulo de rotura característicos de las unidades de albañilería utilizadas en el Perú son especificados en la normativa vigente, lo cuales son parámetros utilizados para la aceptación de los Ladrillos ecológicos de tierra comprimida como unidad de albañilería según la norma E070 del RNE. (ver Tabla7)

En el caso de no realizarse ensayos de prismas, podrá emplearse los valores mostrados en la Tabla 7, correspondientes a pilas y muretes construidos con mortero 1:4 (cuando la unidad es de arcilla) y 1: ½ : 4 (cuando la materia prima es sílice-cal o concreto), para otras unidades u otro tipo de mortero se tendrá que realizar los ensayos respectivos. (norma E070-RNE).

Tabla 7 Resistencias características de la albañilería Mpa (kg/cm²) E070

MATERIA PRIMA	DENOMINACIÓN	UNIDAD f'_b	PILAS f'_m	MURETES V_m
Arcilla	King Kong Artesanal	5.4 (55)	3.4 (35)	0.5 (5.1)
	King Kong Industrial	14.2 (145)	6.4 (65)	0.8 (8.1)
	Rejilla Industrial	21.1 (215)	8.3 (85)	0.9 (9.2)
Sílice - Cal	King Kong Normal	15.7 (160)	10.8 (110)	1.0 (9.7)

	Dédalo	14.2 (145)	9.3 (95)	1.0 (9.7)
	Estándar y mecano (*)	14.2 (145)	10.8 (110)	0.9 (9.2)
		4.9 (50)	7.3 (74)	0.8 (8.6)
Concreto	Bloque Tipo P (*)	6.4 (65)	8.3 (85)	0.9 (9.2)
		7.4 (75)	9.3 (95)	1.0 (9.7)
		8.3 (85)	11.8(120)	1.1 (10.9)

Fuente. RNE E070

Para la presente investigación V'_m : resistencia característica de la albañilería al corte obtenida de ensayos de muretes a compresión diagonal. No se realizará, porque sería una prueba poco efectiva ya que el sistema no presenta enlace horizontal debido a que se utiliza una junta seca por las interconexiones de los ladrillos modulares. Además, que según la norma E070 esta puede hallarse de manera empírica según la Tabla 8.

Tabla 8 Métodos para determinar la f_m y V'_m

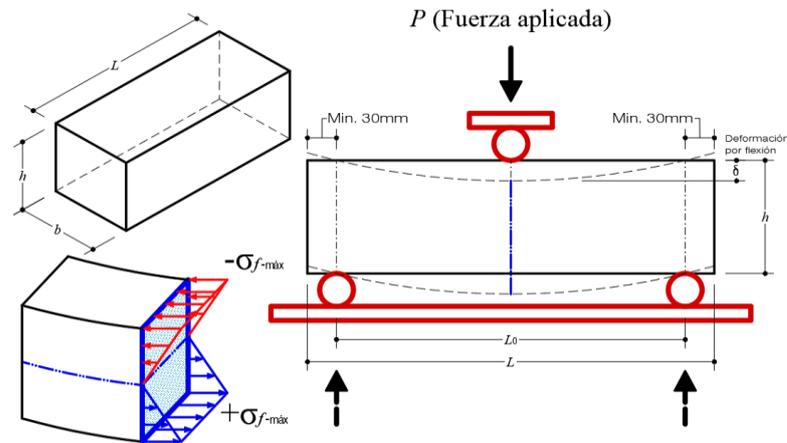
RESISTENCIA CARACTERÍSTICA	EDIFICIO DE 1 A 2 PISOS			EDIFICIO DE 3 A 5 PISOS			EDIFICIO DE MÁS DE 5 PISOS		
	Zona Sísmica			Zona Sísmica			Zona Sísmica		
	3	2	1	3	2	1	3	2	1
f'_m	A	A	A	B	B	A	B	B	B
V'_m	A	A	A	B	A	A	B	B	A

A: Obtenida de manera empírica conociendo la calidad del ladrillo y del mortero

B: Determinadas de los ensayos de compresión axial de pilas y compresión diagonal de muretes mediante ensayos de laboratorio de acuerdo a lo indicado en las NTP 399.605 y 399.621. *Fuente RNE E070.*

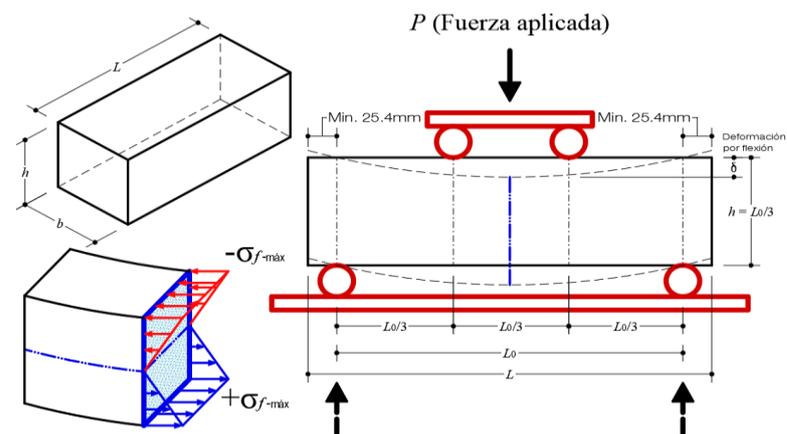
2.2.13.2. Ensayo a la flexión

Figura 15 Dimensiones de la probeta y deformaciones por flexión con una carga

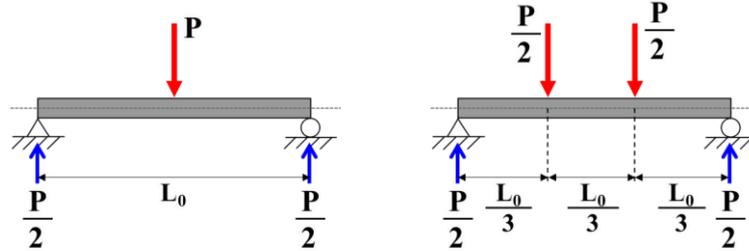


El desarrollo del ensayo obedece al método estándar ASTM C67-01, además usaremos el criterio establecido para ensayos a compresión, donde se han usado como mínimo 10 unidades representativas, por lo cual se decidió trabajar con un 50% de muestras en la PUCP y el resto en los laboratorios de la UNAP, para poder identificar el comportamiento y el desplazamiento diferencial del material con la aplicación de una fuerza transversal sobre un espacio vacío que fuerce al comportamiento flexionante, por lo que una de las características del ensayo es el control de cargas.

Figura 16 Dimensiones de la probeta y deformaciones por flexión con dos cargas.



Desarrollando un modelo matemático, se idealiza dos diagramas de cuerpo libre:



$$M_1 = \frac{P \cdot L_0}{4}$$

$$M_2 = \frac{P \cdot L_0}{6}$$

$$\sigma_f = R_f = \left[\frac{M \cdot c}{I} \right], \text{ considerando: } c = \frac{h}{2}, I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

En un sistema con una sola carga “P” aplicada (M_1), si la fractura se produce en la superficie de tracción cercano al centro de luz y por debajo de la carga aplicada, el módulo de rotura se calcula de la siguiente manera:

$$R_1 = \frac{3}{2} \left[\frac{P \cdot L_0}{b \cdot h^2} \right]$$

En un sistema con dos cargas “P/2” aplicadas (M_2) (ASTM C 42, ASTM C 31 o ASTM C 192), si la fractura se produce en la superficie de tracción dentro del tercio medio de la luz libre, el módulo de rotura se calcula de la siguiente manera:

$$R_2 = \left[\frac{P \cdot L_0}{b \cdot h^2} \right]$$

Si la fractura se produce en la superficie de tracción fuera del tercio medio de la luz libre, pero no más allá del 5% de la luz libre, se calcular el módulo de rotura de la siguiente manera:

$$R_3 = 3 \left[\frac{P \cdot a}{b \cdot h^2} \right]$$

Donde:

R_1, R_2, R_3 : Módulo de rotura en diferentes condiciones (en MPa).

P : Carga máxima aplicada, indicada por la máquina de ensayo (en N).

L_0 : Luz libre entre apoyos (en mm).



- a : Distancia media entre la línea de fractura y el apoyo más cercano medido en la superficie de la tracción de la viga (en mm).
- b : Promedio del ancho del espécimen, en la fractura (en mm).
- h : Promedio de la altura del espécimen, en la fractura (en mm).

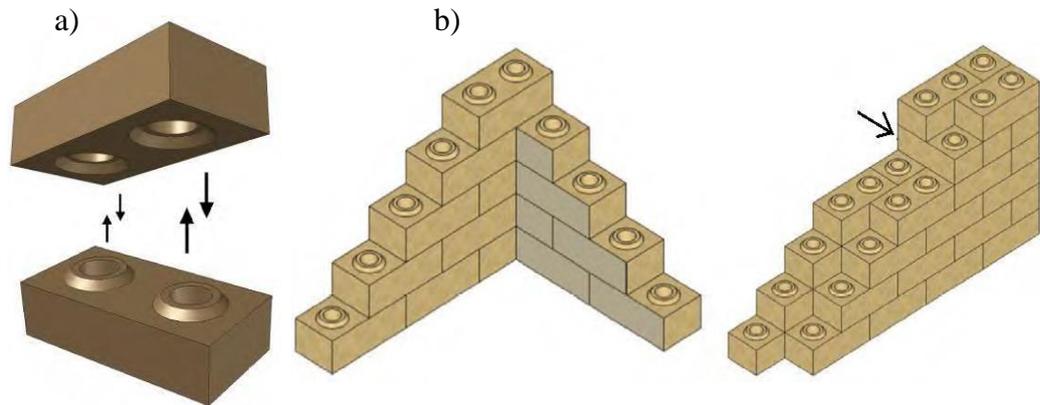
Si la fractura se produce en la superficie de tracción fuera del tercio medio de la luz libre, en más de un 5% de la luz libre, desechar los resultados del ensayo.

Otro ensayo in situ es el estudio de flexión por carga estática sobre una muestra apoyada en dos puntos (Vitulas y Reynoso, 2013), logrando obtener resultados que identifiquen la resistencia aproximada del material en la zona de extracción, aunque es un valor empírico, es necesario considerarlo.

2.2.13.3. Ensayos mecánicos del sistema de mampostería.

La mampostería de junta seca es construida en base a la interconexión de Ladrillos modulares mediante un sistema endentado hembra – macho de 10 mm, los cuales se ubican tanto en la superficie del bloque como en su base (ver Figura 12). La técnica de interconexión de bloques es una solución que se ha propuesto hace algunas décadas como una alternativa al BTC tradicional con la finalidad de eliminar el uso de mortero y lograr un sistema constructivo más sencillo y económico. El sistema endentado de los bloques provee a la mampostería esfuerzos de corte, lo cual provee al sistema una resistencia frente a fuerzas sísmicas en regiones de moderada sismicidad. Adicionalmente, el sistema puede ser reforzado a través de los agujeros que presenta, lo cual no es el alcance de esta investigación.

Figura 17 Sistema de interconexión y apilamiento



Nota. a) Sistema de interconexión endentada hembra – macho b) Apilamiento de mampostería de ladrillos modulares ecológicos de tierra comprimida

Para la realización de estos ensayos nos basaremos en la NTP 399.605 Método de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería. Se tomará en cuenta la esbeltez para este ensayo h/t_p (altura/min. Long.) que debe estar entre 1.3 y 5.0 y de acuerdo a estos valores aplicar un factor de corrección como indica la norma mencionada como se indica en la Tabla 9.

Tabla 9 Factores de corrección por esbeltez en ensayo de compresión de prismas

hp/tp (*)	1.3	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
Factor de corrección	0.75	0.86	1.0	1.04	1.07	1.15	1.22

(*) h_p/t_p : Relación de altura del prisma y medidas menores laterales del prisma

Fuente NTP399.605

2.2.13.4. Desarrollo de la Resistencia a la Compresión

Los prismas serán almacenados a una temperatura no menor de 10°C durante 28 días. Los prismas podrán ensayarse a menor edad que la nominal de 28 días, pero no menor de 14 días. (Norma E070 – RNE). Esta norma nos da factores de corrección en caso de realizarse el ensayo a los 14 o 21 días de acuerdo al material de los ladrillos, pero para la presente investigación se realizará a los 28 días para obtención de mejores resultados.

Las unidades de albañilería de concreto serán utilizadas después de lograr su resistencia especificada y su estabilidad volumétrica. Para el caso de unidades curadas con agua, el plazo mínimo para ser utilizadas será de 28 días. (Norma E070 – RNE).

Para obtener un buen concreto no solo basta contar con materiales de buena calidad mezclados en proporciones correctas. Es necesario también tener en cuenta factores como el proceso de mezclado, transporte, colocación o vaciado y curado. (Harmsen, 2002). Se debe cuidar el curado durante las primeras etapas de endurecimiento. En la Tabla 10 se muestra la relación entre la resistencia del concreto a una determinada edad y su resistencia a los 28 días.

Tabla 10. Relación entre la resistencia a la compresión respecto a 28 días

Tiempo	07 días	14 días	28 días	90 días	6 meses	01 año	02 años	05 años
$f'_c(t)/f'_c28$	0.67	0.86	1	1.17	1.23	1.27	1.31	1.35

Nota. Se puede observar en la siguiente tabla, cuál es la relación de la resistencia a la compresión del concreto con respecto a los 28 días en cual adquiere su máxima resistencia.

Fuente. Elaborado por equipo de trabajo.

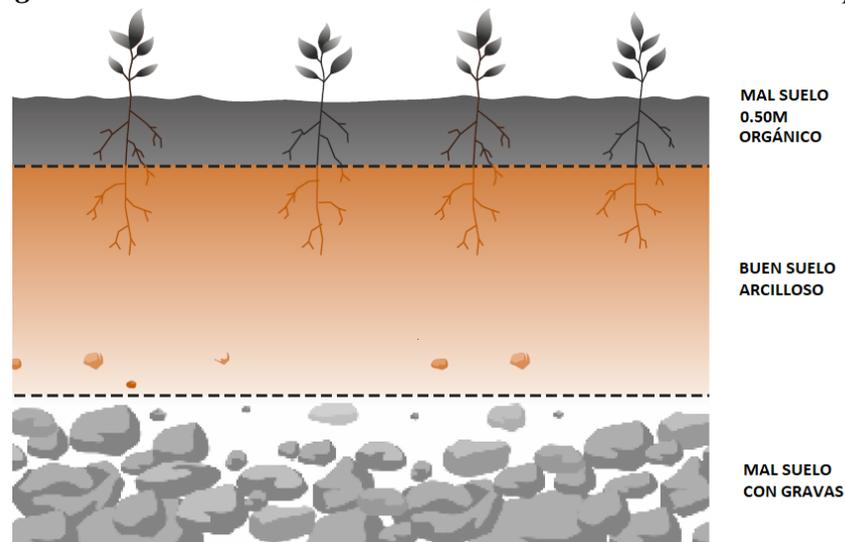
2.2.14. Procedimiento constructivo con ladrillos modulares

El procedimiento constructivo con la utilización de ladrillos modulares de tierra comprimida fue extraído del manual del proyecto HiloTec que fue desarrollado por Sturm (2014) y la empresa Mota Engil en Malawi, África. Dicho manual fue elaborado después de obtener resultados satisfactorios de la respuesta del prototipo de vivienda de Ladrillos de tierra comprimida o BTC sometidos a aceleraciones de 0.2 g y 0.4g. El manual detalla cada paso de la construcción, desde la selección de suelo hasta la producción del BTC en este caso ladrillo modular de tierra comprimida, desde las cimentaciones hasta la instalación del techo. La construcción de viviendas con este material de ladrillos modulares de tierra comprimida tiene las siguientes etapas.

a. Primera Etapa

Esta primera etapa consiste en verificar la idoneidad del suelo de construcción mediante una caracterización física.

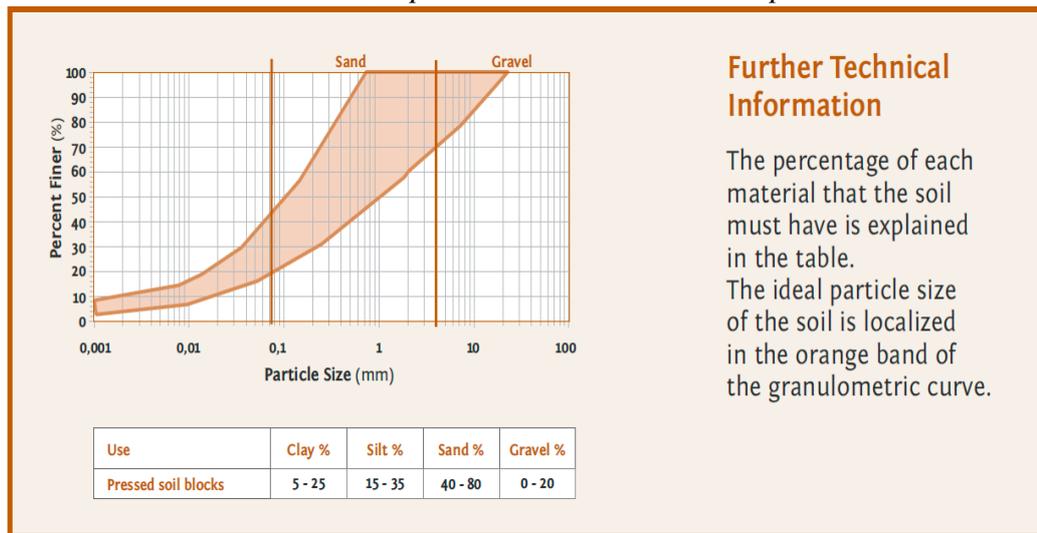
Figura 18 Suelo recomendado a utilizar en ladrillos de tierra comprimida.



Nota. Se observa las capas de tierra en el cual se recomienda utilizar un suelo arcilloso libre de partes orgánicas y sin gravas. Self-building manual for sustainable housing (Mota-Engil).

En este manual del proyecto de HiloTec, nos brinda un huso para el porcentaje de cada material recomendando que la curva granulométrica del suelo a utilizarse se encuentra dentro del área anaranjada y/o cumpla con los porcentajes como sigue, Arcilla de 5-25%, Limo de 15-35%; Arena de 40 a 80%; Grava 0-20%. Como se muestra en la siguiente figura.

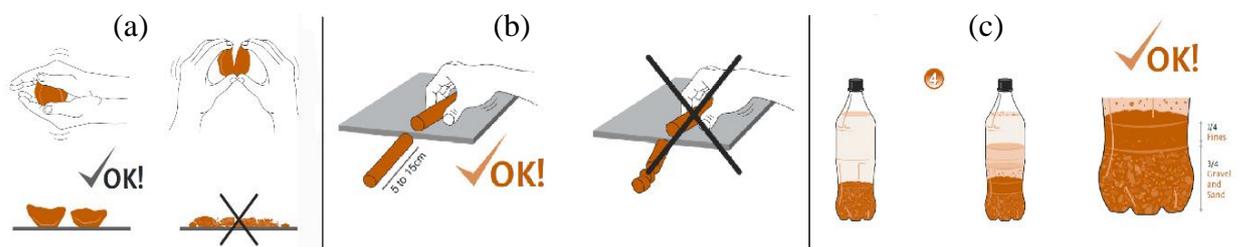
Figura 19 Huso de suelo a utilizar para ladrillos de tierra comprimida.



Fuente: Self-building manual for sustainable housing (Mota-Engil).

Para pruebas In situ este manual nos recomienda pruebas rápidas como Prueba de bola del suelo(a), Prueba de Puros(b) o Prueba de Botella(c).

Figura 20 Pruebas rápidas para la idoneidad del suelo.



Fuente: Self-building manual for sustainable housing (Mota-Engil).



b. Segunda Etapa

Esta etapa consiste en la elaboración propiamente dicha de los ladrillos modulares de tierra comprimida el cual consta principalmente de seis pasos. 1) Preparación de Tierra, 2) Tamizado de tierra a través de un tamiz de de 5mm, 3) Mezclado de tierra con cemento, 4) Colocación de material en máquina, 5) Apilamiento de los ladrillos frescos, 6) Curado de los ladrillos modulares de tierra comprimida herméticamente, El proceso de fabricación de las unidades de albañilería suelo cemento, la compactación de las unidades es un factor muy importante, ya que determina las propiedades físico-mecánicas de estas, con una incidencia directa en el desarrollo de la resistencia a la compresión. Asimismo, la cantidad de agua, de acuerdo con el modo de fabricación y la energía de compactación que se utilice, define de igual manera el desarrollo de las propiedades físico-mecánicas de las unidades de albañilería de suelo cemento. Donde se observan las propiedades físicomecánicas de las unidades de albañilería de suelo cemento con un mismo porcentaje de cemento, pero con un diferente proceso de curado, El curado de estas es fundamental para asegurar que las unidades desarrollen propiedades físico-mecánicas que permitan su uso como material de construcción. Estos pasos son los recomendados según el manual Self-building manual for sustainable housing (Mota-Engil), los cuales son mostrados a continuación en la Figura 16.

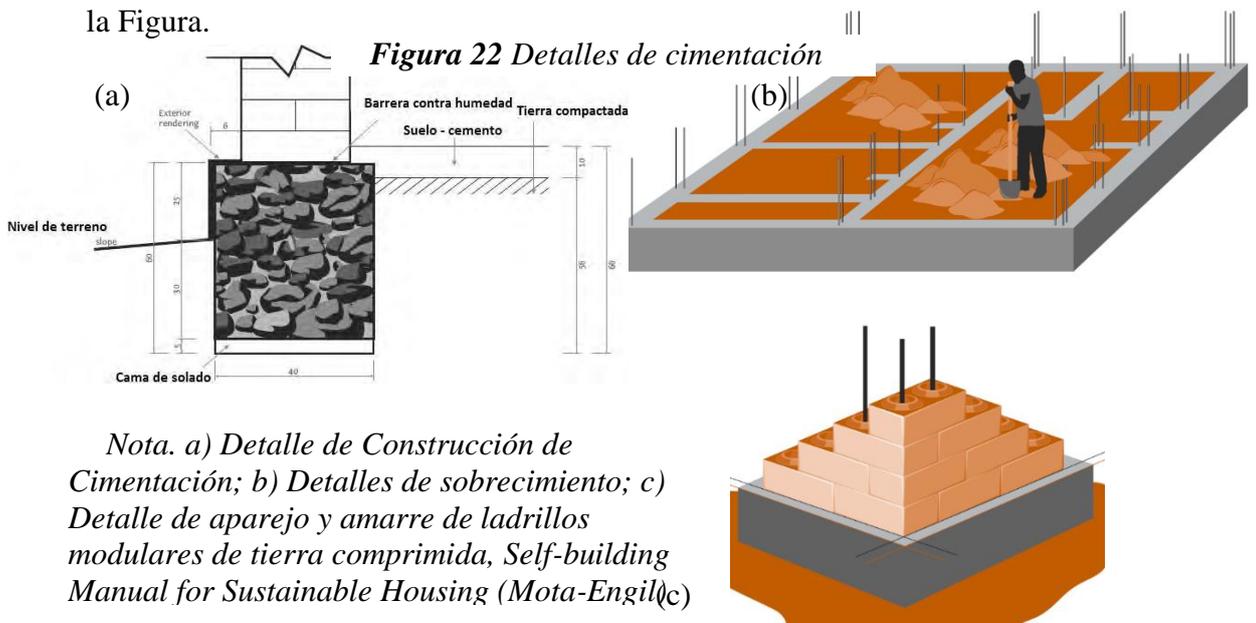
Figura 21 Pasos para la elaboración de ladrillos modulares de tierra comprimida.



Fuente: *Self-building manual for sustainable housing (Mota-Engil)*

c. Tercera Etapa

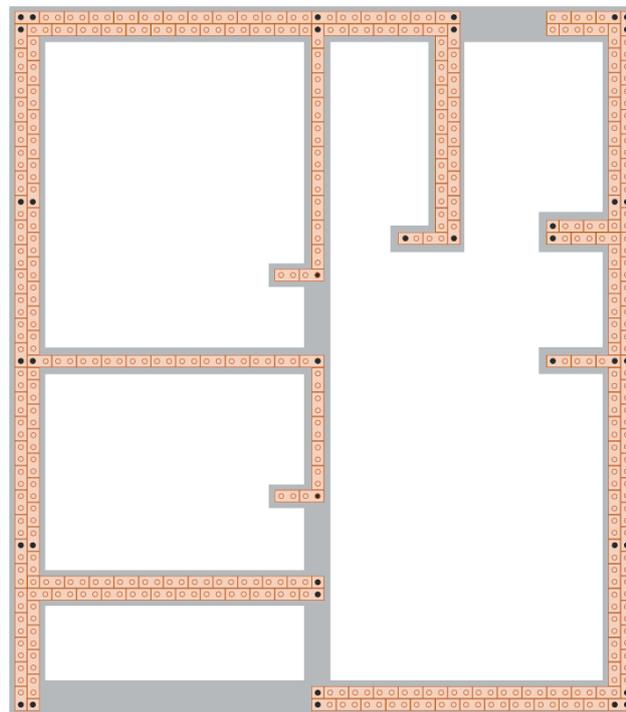
Esta tercera etapa consiste en la nivelación del terreno y la construcción de la cimentación, donde se recomienda que las longitudes de la construcción no sean mayores a 8 metros y además respetar los detalles de construcción mostrados en la Figura.



d. Cuarta Etapa

Esta cuarta etapa consiste en el asentado de los muros, donde la primera hilada es la más importante. La colocación tiene que ser lo más exacto posible, lo que servirá para un mejor asentado de los ladrillos en hiladas superiores, esto evitará posibles agrietamientos y ayudará al paso de barras acero a través de los alveolos o agujeros. Este manual nos indica colocar un muro de doble fila en los muros exteriores, además de colocarse refuerzos en vértices o esquinas según indique el plano. Se muestra el siguiente ejemplo, una vivienda construida con ladrillos modulares de tierra comprimida donde se observa puntos negros donde debe colocarse acero de refuerzo, también observamos la doble fila de ladrillos en las caras exteriores de la vivienda.

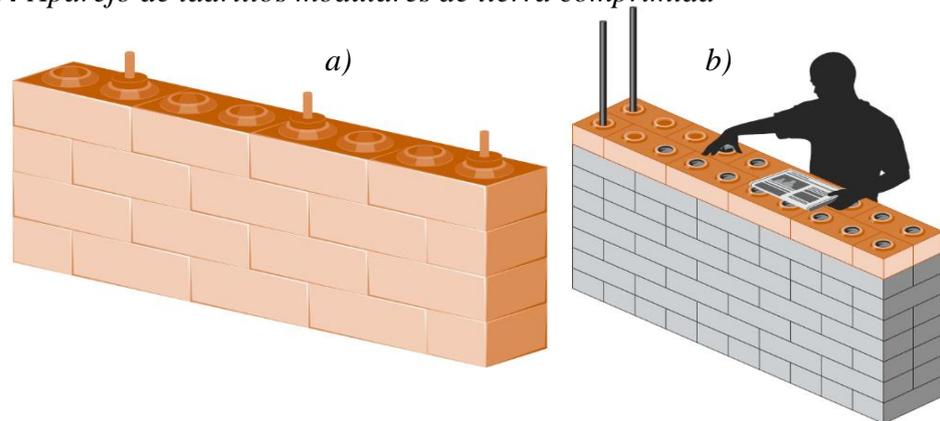
Figura 23 Vivienda construida con ladrillos modulares de tierra comprimida



Nota. Ejemplo de Vista en planta de vivienda construida con ladrillos modulares de tierra comprimida.

Fuente: Self-building manual for sustainable housing (Mota-Engil).

Figura 24 Aparejo de ladrillos modulares de tierra comprimida

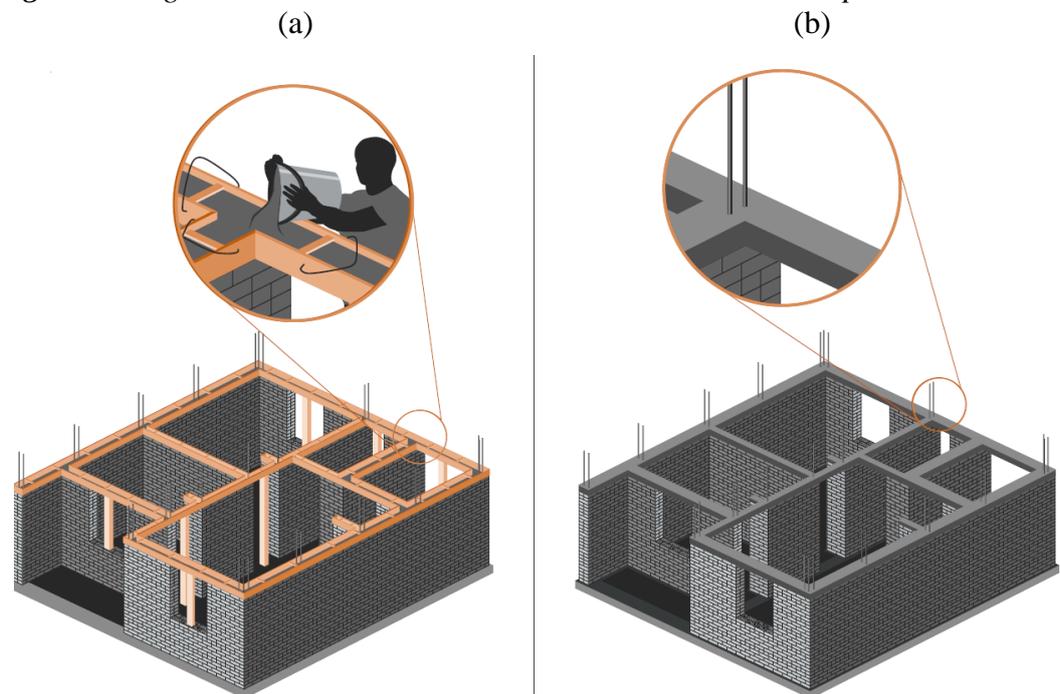


Nota. a) Aparejo de una sola fila b) Aparejo de dos filas, Self-building manual for sustainable housing (Mota-Engil)

e. Quinta Etapa

Esta etapa consiste en la construcción de una viga de amarre de concreto armado sobre la última hilada del muro, esto además de ayudar a confinar los muros servirá para la instalación del techo de la vivienda.

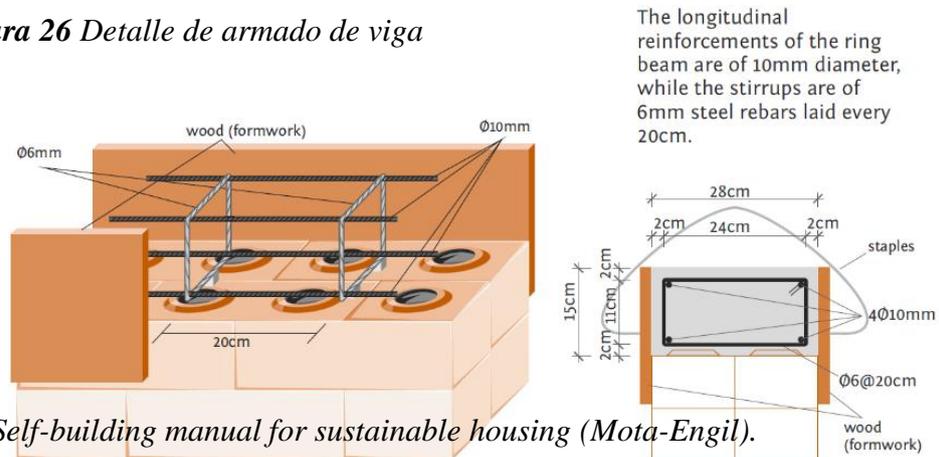
Figura 25 Vigas en vivienda de ladrillos modulares de tierra comprimida



Nota. a) Encofrado y vaciado de concreto en viga b) Acabado final de viga, Self-building manual for sustainable housing (Mota-Engil).

Se indica también la utilización de acero es toda la longitud de la viga. Como se muestra en la Figura 26 El acero longitudinal de refuerzo son de 10 mm de diámetro, mientras que los estribos son de Varillas de acero de 6 mm colocadas cada 20 centímetros.

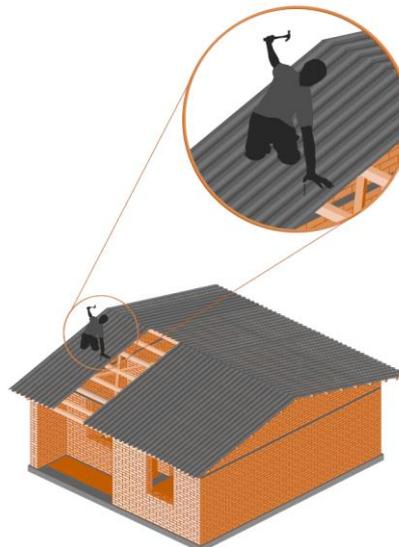
Figura 26 Detalle de armado de viga



Fuente: *Self-building manual for sustainable housing (Mota-Engil)*.

Finalmente, se procede a la instalación de techo utilizando correas de madera en sentido perpendicular a las vigas.

Figura 27 Instalación de techo en viviendas.



Nota. Instalación de techo en viviendas fabricadas con ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida. Self-building manual for sustainable housing (Mota-Engil).

2.2.15. Tratamiento Estadístico

2.2.15.1. Estadística para la Evaluación de Datos

El tratamiento estadístico, es de importancia para la evaluación de los resultados de los especímenes, nos permite tener una certeza de confiabilidad de los valores obtenidos de dichas pruebas y, en función a los parámetros estadísticos, poder evaluar estos resultados. Para tener una confiabilidad de los datos de los especímenes de ha considerado evaluar los resultados de Resistencia a la compresión, con los parámetros del Coeficiente de Variación (CV) y desviación estándar (S), en función a la siguiente tabla ya que se utiliza cemento en la fabricación es estos ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida.

Tabla 11 Valores de dispersión en control de concreto

DISPERSIÓN TOTAL					
CLASE DE OPERACIÓN	DESVIACIÓN ESTANDAR PARA DIFERENTES GRADOS DE CONTROL (Kg/cm ²)				
	EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	SUFICIENTE	DEFICIENTE
CONCRETO EN OBRA	< a 28.1	28.1 a 35.2	35.2 a 42.2	42.2 a 49.2	> a 49.2
CONCRETO EN LABORATORIO	< a 14.1	14.1 a 17.6	17.6 a 21.1	21.1 a 24.6	> a 24.6
DISPERSIÓN ENTRE TESTIGOS					
CLASE DE OPERACIÓN	COEFICIENTE DE VARIACIÓN PARA DIFERENTES GRADOS DE CONTROL (%)				
	EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	SUFICIENTE	DEFICIENTE
CONCRETO EN OBRA	< a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	5.0 a 6.0	> a 6.0
CONCRETO EN LABORATORIO	< a 2.0	2.0 a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	> a 5.0

Fuente: (Pasquel Carvajal, 1999)

Dado que la anterior tabla se ajusta más para concreto en específico también nos apoyaremos en la Aceptación de Unidades: Si la muestra presentase más de 20% de dispersión en los resultados (coeficiente de variación), para unidades producidas industrialmente, o 40 % para unidades producidas artesanalmente, se ensayará otra muestra y de persistir esa dispersión de resultados, se rechazará el lote. (RNE E.070).



Con la certeza de tener la confiabilidad de los datos, seguidamente se realiza la gráfica de la distribución de frecuencia de datos, que deben cumplir la distribución Normal o distribución de Gauss y ajustarse a ella.

2.2.15.2. La Distribución Normal

La distribución más utilizada para modelar experimentos aleatorios es la Distribución Normal, considerando el concepto básico de una variable aleatoria binomial que nos permite proporcionar aproximaciones a las probabilidades binomiales, tal que puede mostrarse un experimento aleatorio que está formado por una serie de ensayos independientes, donde cada uno da como resultado un valor observado de la variable aleatoria en particular. Entonces, la variable aleatoria que representa el resultado promedio de los ensayos tiende hacia una distribución con una función de densidad correspondiente a la función siguiente:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-u)^2}{2\sigma^2}}$$

σ : Desviación estándar. Es una medida de dispersión de la resistencia a la compresión f'_b alrededor de la media.

x : Variable Aleatoria (cada resultado de f'_b)

u : Promedio o media. Proporciona una idea del lugar donde están concentrados los valores que toma la variable x .

σ^2 : Varianza. Expresa cualitativamente la dispersión alrededor de la media, mide la variabilidad alrededor de la media.

Seguidamente se presentan algunos conceptos inherentes al tema de estudio, los cuales nos permitirán entender mejor el concepto de distribución normal y de la estadística aplicada a esta investigación.



Variable aleatoria. - Es una función que asigna un número real a cada resultado en el espacio muestral de un experimento aleatorio. Es decir, es razonable modelar el rango de valores posibles de la variable aleatoria con un intervalo de números reales. Por ejemplo, en la presente tesis la variable vendría a ser la resistencia a la compresión que tiene un valor diferente para cada ensayo.

Distribución de probabilidad o distribución de una variable aleatoria X.- Es una descripción del conjunto de valores posibles de X (f_x) junto con la probabilidad asociada con cada uno de estos valores, siendo este el resumen más útil de un experimento aleatorio. Para esta investigación la probabilidad sería que estos resultados lleguen a obtener la resistencia de diseño.

Distribución Binomial. - En este caso la variable aleatoria es el conteo del número de ensayos que cumplen con un criterio específico, por lo que es razonable suponer que todos los ensayos que conforman el experimento aleatorio son independientes; esto quiere decir que el resultado obtenido en un ensayo no tiene ningún efecto sobre el resultado obtenido en un segundo ensayo, por lo tanto, la probabilidad de éxito en cada ensayo es constante. Este tipo de distribución tiene solo dos resultados finales o es éxito o fracaso. En la presente investigación el éxito sería obtener la resistencia de diseño y el fracaso sería lo contrario.

2.2.15.3. Prueba De Hipótesis

Una hipótesis estadística es una afirmación o conjetura acerca de una o más muestras o una población. No es posible saber con absoluta certeza la verdad o falsedad de una hipótesis estadística, pues para ello habría que trabajar con toda la población, para el presente caso se trabajará con muestras. En la práctica se toma una muestra aleatoria de la población de interés y se utilizan los datos que contiene tal muestra para



proporcionar evidencias que confirmen o no la hipótesis. Si la evidencia de la muestra es inconsistente con la hipótesis planteada, entonces esta se rechaza y si la evidencia apoya a la hipótesis planteada, entonces esta se acepta. (Estuardo M., 2012)

El esquema para realizar una prueba de hipótesis acerca de un parámetro “u” es el siguiente:

- 1) Identificar el parámetro de interés. Para el caso de esta investigación el parámetro de interés es la resistencia promedio de cada grupo de ladrillos modulares ecológicos de tierra comprimida, se denotará como “u”. El desarrollo detallado se ubica en el Capítulo 3 de esta investigación.
- 2) Establecer la hipótesis nula (H_0). Su planteamiento siempre debe tener un valor exacto del parámetro poblacional. Por ejemplo, $H_0: u=140$; sin embargo, para la comparación de dos poblaciones, como es el caso de esta investigación se planteará $H_0: u_1 \leq u_2$.
- 3) Hipótesis alternativa (H_1). Esta admite varios valores. Existen dos tipos de hipótesis alternativa; la primera de ellas es la hipótesis bilateral la cual se utiliza cuando la conclusión que se quiere obtener no implica ninguna dirección específica, y la respuesta será “no es igual a”. La segunda es la denominada hipótesis unilateral, que es la que se aplica en esta investigación; se utiliza cuando las proposiciones planteadas deben ser respondidas como “mayor que”, “menor que”, etc. Para fines de esta investigación se plantea, $H_1: u_1 > u_2$.
- 4) Fijar el nivel de significancia ($\alpha = 0.05, 0.01$ o 0.10). El nivel de significancia más usual con el que se analiza los resultados de resistencia al concreto es 0.05 , con el cual se determina el “Z” de las tablas estadísticas (ver ANEXO K). Este nivel de significancia será utilizado en todos los casos, y se calcula interpolando los siguientes



valores:

Tabla 12 Cuadro de interpolación para la variable Z

	Puntuación "Z"	Distancia de "Z" a la media	Área de la parte mayor	Área de la parte menor
De la Tabla	1.64	0.4495	0.9495	0.0505
Interpolar	Z	-	0.9500	0.0500
De la Tabla	1.65	0.4505	0.9505	0.0495

Elaborado por equipo de trabajo

De donde, para un Nivel de Significancia de 0.0500, $Z = 1.645$. Este valor se utilizará para todas las pruebas de hipótesis.

- 5) Seleccionar el test estadístico o estadístico de prueba. El estadístico de prueba nos va a permitir rechazar o aceptar la hipótesis planteada, en función al valor que se obtenga y al nivel de significancia.

Si se tienen dos poblaciones en estudio y se quieren comparar una con otra, el estadístico de prueba será:

$$Z_0 = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}$$

Donde:

Z_0 : Estadístico de Prueba

u_1 : Resistencia promedio del primer grupo

u_2 : Resistencia promedio del segundo grupo

σ_1 : Desviación estándar del primer grupo

σ_2 : Desviación estándar del segundo grupo

n_1 : Cantidad de especímenes del primer grupo

n_2 : Cantidad de especímenes del segundo grupo

Donde se considera que si ambas poblaciones presentan una distribución normal entonces la distribución de $X_1 - X_2$, también será una distribución normal con media $u_1 - u_2$ y varianza.

Las puntuaciones Z nos indican la dirección y grado en que un valor individual obtenido se aleja de la media (μ) en una escala de unidades de desviación estándar. (Zapata C., 2007)

- 6) Establecer la región de rechazo para el estadístico. La región de rechazo se realiza en base a la puntuación de Z . Si el valor calculado del test estadístico cae en la región crítica rechazar H_0 , en caso contrario no rechazar H_0 y concluir que la muestra aleatoria no proporciona evidencia para rechazarla. En la imagen se muestra la región de rechazo de acuerdo al planteamiento para esta investigación, dicha región se encuentra sombreada. Para la investigación se plantea:

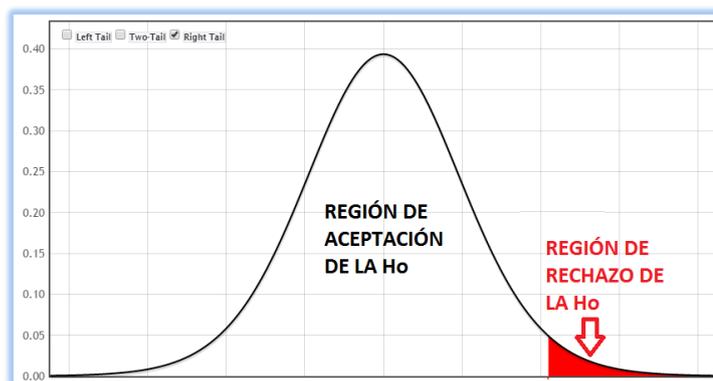
Hipótesis nula $H_0: \mu_1 \leq \mu_2$

Hipótesis alternativa $H_1: \mu_1 > \mu_2$

Entonces se rechaza la hipótesis nula, si $Z_0 > Z$ (Z adquiere valores positivos).

$$H_1: \mu_{\bar{x}_{CV}} > \mu_{\bar{x}_C} \rightarrow H_0: \mu_{\bar{x}_{CV}} \leq \mu_{\bar{x}_C} \quad \text{o} \quad H_1: \mu_{\bar{x}_{CV}} < \mu_{\bar{x}_C} \rightarrow H_0: \mu_{\bar{x}_{CV}} \geq \mu_{\bar{x}_C}$$

Figura 28. Curva de distribución para hipótesis



Nota. Distribución de una cola a la derecha $H_1: \mu_{\bar{x}_{CV}} < \mu_{\bar{x}_C} \rightarrow H_0: \mu_{\bar{x}_{CV}} \geq \mu_{\bar{x}_C}$
Fuente: StatKey.com-Theoretical Distribution

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del Estudio

El principal material a extraerse para utilizarse en la fabricación de ladrillos de tierra comprimida es la arcilla que se utiliza en ladrilleras artesanales informales, dicha cantera está ubicada en la Rinconada de Salcedo - Puno con coordenadas UTM N8'243,227 E392,461, ubicada a 25 minutos aproximadamente desde el centro de la ciudad de Puno.

Figura 29 Ubicación cantera arcilla en ladrillera artesanal



Fuente: Google Earth

La extracción de esta arcilla fue manual, tomando las acciones necesarias y cuidado para su estudio en laboratorio. Cabe mencionar que por motivos de Pandemia las muestras obtenidas fueron llevadas a un laboratorio particular para su análisis, en el mismo se realizaron los estudios y ensayos mostrados en la presente investigación, esto debido a que los laboratorios de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno no se encuentran en funcionamiento a la fecha.

Figura 30 *Extracción de arcilla de cantera Rinconada de Salcedo*



El agregado o arena gruesa para la elaboración de los ladrillos de tierra comprimidos usados en la estabilización física de los mismos en la investigación, fueron obtenidos de la cantera de Cutimbo, ubicada a 24 km., de la ciudad de Puno rumbo a la ciudad de Moquegua.

3.2. Población y Muestra

La presente investigación al ser un estudio experimental carece de población, se consideró una población finita debido a que la cantidad promedio de ladrillos modulares ecológicos de tierra comprimida que pueden fabricarse con la máquina Forza es de 1 millar/día a 1.5 millar/día. El principal material a utilizarse es un suelo arcilloso natural, proveniente de una cantera de arcilla en La Rinconada de Salcedo Puno, la misma arcilla utilizada en la fabricación de ladrillos artesanales en hornos informales; los resultados de los ensayos se muestran en el Ítem 4.1., a este suelo arcilloso se adicionó un porcentaje de arena gruesa para una estabilización física y un porcentaje de cemento para una estabilización química de marca Rumi Portland tipo



I y cumple la norma técnica peruana NTP334-009 envasado en bolsas antihumedad en una presentación de 42.5 kg, a toda esta mezcla homogénea se añade un porcentaje de agua fundamental para la hidratación de cemento y para que la mezcla desarrolle su capacidad ligante, el tipo de agua es potable y la cantidad utilizada se desarrolló en el ítem 3.1.3 ensayo Proctor dependiendo de la trabajabilidad del suelo entre el 11.80% a 12% en peso; en la siguiente tabla se muestra los seis tipos de mezcla evaluados en la presente investigación.

Tabla 13 Porcentajes de material para cada tipo de suelo

DENOMINACIÓN DE SUELO	PORCENTAJE DE CEMENTO	PORCENTAJE DE ARENA	PORCENTAJE DE ARCILLA
S-1	15%	5%	80%
S-2	15%	10%	75%
S-3	15%	15%	70%
S-4	20%	5%	75%
S-5	20%	10%	70%
S-6	20%	15%	65%

Elaborado por el equipo de trabajo

Del presente cuadro por cada tipo de suelo se realizaron un total de 15 ensayos a la compresión, siendo el tamaño de la muestra un total de 90 pruebas de rotura, ensayo a la compresión simple en unidades de albañilería f'_b , del mejor resultado se hizo las pruebas de compresión uniaxial en prismas y el ensayo de flexotracción. Para la evaluación de la arcilla se realizó el contenido de humedad, ensayo de límites de consistencia, ensayo granulométrico y ensayo de próctor estándar según las normativas vigentes.

Por tanto, el tipo de muestra a obtener será no probabilística a juicio o conveniencia, teniendo en cuenta las recomendaciones de la NTP 331.017 y NTP



331.019 dónde nos indica que por cada 50 millares de unidades de albañilería se debe tomar 10 unidades representativas aleatoriamente, para la presente investigación se tomaron muestras como se indica en la Tabla 13; tomando 15 muestras por cada denominación de suelo utilizado según la proporción de cemento y arena en el mismo.

3.3. Metodología de la Investigación

3.3.1. Tipo de Investigación

La presente investigación se enmarca en un Estudio Transversal según el período temporal y el número de mediciones de la variable de estudio con muestras independientes que se realizaron. Se enmarca también en un Estudio Analítico según el número de variables analíticas que serán relacionadas. Considerándose una investigación Pura o básica.

3.3.2. Periodo de la Investigación y Localización

La presente investigación se realizó en el periodo de Julio del 2020 a Julio de 2021, la investigación se realizó en el centro poblado de Salcedo distrito de Puno, provincia de Puno, departamento de Puno, realizándose los ensayos en el Laboratorio de Geotecnia (Mecánica de suelos, control de calidad, concreto y pavimentos) INGEOPLESCA (consultores y constructores) ubicado en la ciudad de Puno Jr. Vela Vela N°420.

3.3.3. Enfoque de la Investigación

El enfoque de la presente investigación es Cuantitativo ya que se utilizaron herramientas de análisis estadístico y matemático para explicar y describir los datos numéricos obtenidos en las diferentes pruebas de laboratorio, además de haberse realizado la prueba de hipótesis con los resultados obtenidos. Cabe mencionar que



este enfoque cuantitativo tiene un proceso deductivo, secuencial y con un análisis objetivo.

3.3.4. Alcance de la Investigación

El alcance de esta investigación es descriptivo correlacional ya que tiene como propósito relacionar y vincular entre sí los resultados del comportamiento mecánico de los ladrillos modulares de tierra comprimida con la inclusión de diferentes porcentajes de arena y cemento.

3.3.5. Diseño de la Investigación

El diseño de esta investigación es Experimental ya que se realizó la manipulación de variables independientes para un control, medición y comparación de resultados obtenidos. Verificándose cambios en la variable dependiente de acuerdo a la manipulación de la variable independiente, siendo para esto la hipótesis el eje o centro para este diseño de investigación experimental.

3.4. Variables

3.4.1. Variables Independientes

- Composición de la materia prima para la elaboración de ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida elaborados con arcilla de la ciudad de Puno.

3.4.2. Variables Dependientes

- Propiedades mecánicas de los ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida elaborados con arcilla de la ciudad de Puno.



3.5. Materiales Y Equipos

3.5.1. Materiales

- Arcilla utilizada para la fabricación de ladrillos artesanales en la ciudad de Puno.
- Agregado Fina
- Cemento
- Agua potable

3.5.2. Equipos

- Tamiz grande diámetro 5 mm
- Mezcladora de 180 Lt.
- Máquina Forza para prensado de ladrillos
- Tamices
- Horno
- Equipo próctor
- Máquina de ensayo que satisface los requerimientos para los ensayos de pilas de muretes del laboratorio de suelos, concreto y asfalto “INGEOPLESCA”.
- Balanza digital
- Vernier
- Picnómetro
- Baldes, depósitos, sacos, palas y otras herramientas en laboratorio.



3.6. Proceso de producción y caracterización mecánica

En el presente Ítem se abordan todos los aspectos de la producción de los Ladrillos Ecológicos Modulares de Tierra Comprimida y su caracterización mecánica. Se aborda la caracterización física del suelo y el tratamiento utilizado para mejorar sus propiedades físicas con la finalidad de que sea idóneo para la fabricación de estos ladrillos. Se describe el proceso de fabricación de un Ladrillo de tierra comprimida convencional haciendo uso de una mezcladora tipo trompo de 180 Lt., la máquina Eco Brava y mano de obra. Finalmente, se muestran los resultados de la caracterización mecánica del Ladrillo Ecológico Modular de Tierra Comprimida en términos de esfuerzo de compresión y flexión.

a. Proceso de estabilización química y física

Todos los suelos pueden ser utilizados para producir una mezcla de suelo-cemento con la excepción de que cuando se requiera que esta sea una mezcla con calidad y consumo mínimo de cemento, el número de suelos aptos se reduce (Toirac, 2008). La elección de un suelo idóneo parte de su caracterización física, para lo cual se realizaron una serie de ensayos detallados en la sección 3.13. Los resultados obtenidos de la caracterización del tipo de suelo permiten la elección del más idóneo, según las recomendaciones de Toirac (2008), UNE 41410 (2008) y Sturm (2014). El suelo utilizado como materia prima fue sometido a diferentes pruebas de laboratorio para verificar los parámetros de las normas antes mencionadas, observándose que principalmente cumple con los parámetros de los límites de consistencia del suelo, sin embargo se observó que la granulometría se encuentra al límite, siendo este material muy fino para de utilizado directamente con el cemento, por lo que se procedió a estabilizar físicamente con arena para mejorar su granulometría y estar en el uso correspondiente según los parámetros

de las normas ya mencionadas.

b. Producción de ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida

El proceso de producción de estos ladrillos se llevó a cabo en base al suelo obtenido de la cantera mencionada en el ítem 3.1.1. con el uso de una mezcladora de concreto para homogenizar la mezcla para luego llevarla a una máquina Forza. El proceso de producción empieza con el tamizado del suelo base y arena a través de la malla 5mm de espesor.

Figura 31 Tamizado de tierra a través de la malla 5mm



El siguiente paso consiste en mezclar el suelo con arena y cemento para la estabilización física y química e ir aumentando agua gradualmente hasta que estos insumos se hayan mezclado homogéneamente. Para luego introducir esta mezcla en la máquina Forza donde se da forma y se estabiliza mecánicamente a través de la compresión que ofrece dicha máquina. Los especímenes fabricados se cubren con un plástico durante 7 días y posteriormente se dejan al aire libre en un almacén cerrado no dejando de lado el curado con agua de los mismos, ya que en su composición química contiene cemento.

Figura 32 Fabricación de ladrillos modulares de tierra comprimida



Nota. a) Mezclado de arcilla cemento y agregado fino. b1) y b2) Prensado de ladrillo modular ecológico de tierra comprimida con máquina Forza. c) Curado de ladrillos post prensado

Finalmente, una vez proporcionado los cuidados correspondientes a las muestras de ladrillo de tierra comprimida, se procedió su traslado hacia el laboratorio teniendo los cuidados correspondientes al momento de ser manipulados. Según los días que correspondan 7, 14 y 28 días.

Figura 33 Muestras de ladrillo de tierra comprimida listas para laboratorio



c. Caracterización mecánica a compresión y flexión

Un típico BTC contiene menos del 10% de cemento Portland en peso (Walker, 1999), por lo cual, la presente investigación maneja tres porcentajes de cemento de prueba correspondientes al 15% y 20%. Estabilizado con 5% 10 % y 15% de arena. El proceso de estabilización empieza con la mezcla de todos los componentes secos dentro de una mezcladora de concreto de 180 lt. y una vez obtenida una mezcla homogénea se añade el agua de manera lenta y gradual hasta llegar a una trabajabilidad adecuada y una pasta uniforme. La mezcla se considera idónea luego de que al realizar la prueba del bolillo (ver Capítulo 2) con la pasta obtenida, el bolillo no se destruye al ser partida por la mitad, se tomó en cuenta el contenido de humedad óptimo obtenido en laboratorio. Del procedimiento se obtienen tres tipos de mezclas.



La caracterización mecánica de los ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida se realizó mediante ensayos de compresión y flexión en tres puntos. La cantidad de muestras se detallan en la Tabla 14.

Tabla 14 Caracterización mecánica de los ladrillos de tierra comprimida

Denominación	Edad en Días	Ensayo	Cantidad
T-1	07	Compresión	05
T-1	14	Compresión	05
T-1	28	Compresión	05
T-2	07	Compresión	05
T-2	14	Compresión	05
T-2	28	Compresión	05
T-3	07	Compresión	05
T-3	14	Compresión	05
T-3	28	Compresión	05
T-4	07	Compresión	05
T-4	14	Compresión	05
T-4	28	Compresión	05
T-5	07	Compresión	05
T-5	14	Compresión	05
T-5	28	Compresión	05
T-6	07	Compresión	05
T-6	14	Compresión	05
T-6	28	Compresión	05
F-6	28	Flexión	05
P-6	28	Prismas	05

Elaborado por el equipo de trabajo

3.7. Ensayos para la Caracterización Física del Suelo Base (Arcilla)

a. Contenido de Humedad

Este ensayo se realizó en base a los lineamientos de la Norma Técnica Peruana NTP 339.127. El contenido de humedad del suelo es un parámetro obligatorio en la caracterización física del suelo y se utilizó para establecer una relación entre su comportamiento y sus propiedades mecánicas.

El contenido de Humedad obtenido corresponde a un 11.80%

b. Análisis granulométrico

El procedimiento del ensayo, el registro de datos y los cálculos se realizan en base a la Norma Técnica Peruana NTP 400.012. En la Figura 29 se muestran los dos tipos de análisis granulométrico realizado. El método de tamizado fue utilizado para analizar las muestras retenidas en la malla N°200. Mientras que, el método del hidrómetro se utilizó para el análisis de las muestras de suelo que pasan por la malla N°200. Los tamices estándar utilizados fueron aquellos comprendidos desde la malla 3/8" hasta la N°200. Es importante mencionar que los resultados del análisis granulométrico fueron apoyados en la recopilación de recomendaciones que Sturm (2014) realizó sobre la granulometría de suelos adecuados para la construcción (ver Figura 9) y de la norma UNE 41410 (2008).

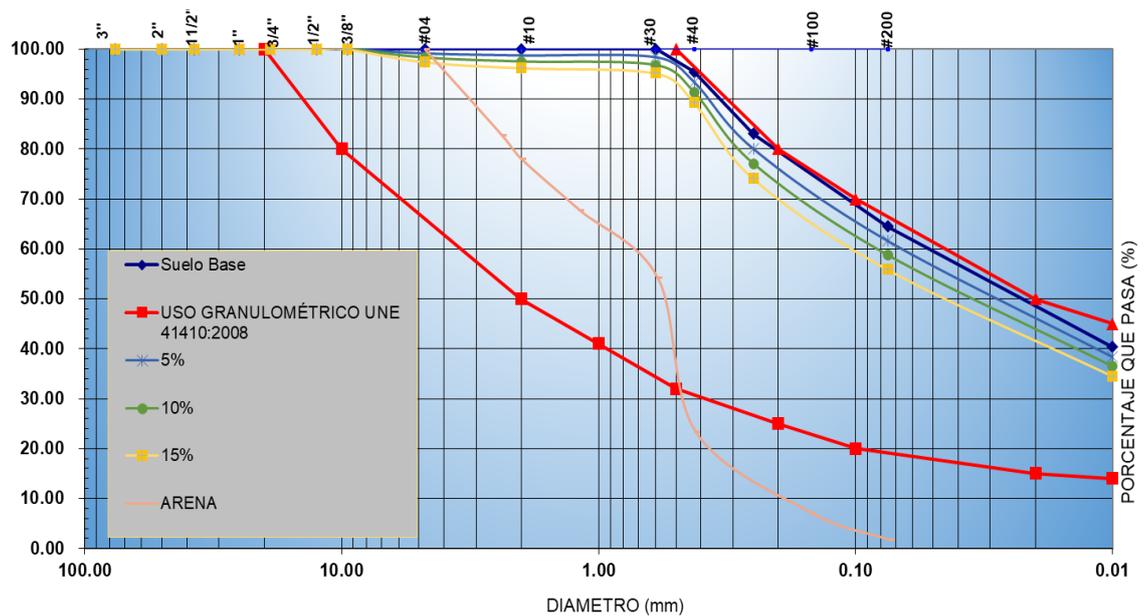


Figura 34 Curva de distribución granulométrica de materia prima - arcilla

Mejoramiento de las propiedades físicas de suelo

El objetivo de mejorar las propiedades físicas del suelo base (S-1) es que el suelo sea idóneo para la fabricación de Ladrillos Ecológicos Modulares de Tierra Comprimida. El suelo idóneo es aquel que cumple con la granulometría, plasticidad, peso específico y densidad de compactación requeridos por la norma UNE 41410 (2008) y las recomendaciones de Sturm (2014). Houben & Guillaud (1994) estudiaron sobre la granulometría de suelos adecuados para la fabricación de Ladrillos de tierra comprimida. Los resultados obtenidos del estudio los usaron para elaborar un huso granulométrico que fue adoptado por la norma UNE 41410 (2008).

En la siguiente figura se observa las curvas granulométricas de los suelos mejorados físicamente con Arena, con un porcentaje de 5% 10% y 15 % de arena. Notándose claramente que estabilizando en suelo fino con arena al 15% la curva se ajusta más al uso granulométrico según UNE 41410:2008, también se puede identificar que el porcentaje de arcillas del suelo base se acerca mucho al límite de uso granulométrico, por lo cual fue necesaria la estabilización física del suelo con arena.

Figura 35 Ensayo de granulometría en laboratorio.





c. Límites de Consistencia

Los límites líquido y plástico se utilizaron para caracterizar la fracción fina de los suelos con el fin de predecir su comportamiento en términos de compresibilidad, y compactibilidad. Cuando el límite líquido es un valor alto significa que el suelo tiene gran capacidad de retención de agua, lo cual es una propiedad de las arcillas. Mientras que, el límite plástico es el porcentaje de humedad en que el suelo pasa del estado elástico al estado plástico. La pérdida de plasticidad del suelo indica una cantidad insuficiente de arcilla (Silva, et al., 2014), el cual es un indicador que es inadecuado para fabricar ladrillo de tierra comprimida. Por otra parte, el rango de valores de límites de consistencia para suelos estabilizados es: límite líquido <45% y límite plástico <18% (Toirac, 2008). El ensayo se elaboró haciendo uso de la Cuchara de Casagrande siguiendo los lineamientos de la norma técnica peruana NTP 339.129.

Otro parámetro importante es la plasticidad del suelo, la norma UNE 41410 (2008) descalifica el uso de suelos con contenido de arcilla menor al 10%. El mejoramiento del suelo S-1 se realizó mediante la adición de arena gruesa (Ag-1) en porcentajes de 5% 10% y 15% por lo cual se obtuvo tres mezclas de suelo mejoradas S-2 S-3 y S-4 respectivamente. El análisis granulométrico de la arena (Ag-1) y de suelos mejorados S-2 S-3 y S-4 se observan en las curvas granulométricas se muestran en la Figura 30 Los resultados de los límites de consistencia de cada suelo se observan en la Tabla 15.

Figura 36 Ensayos para determinar los límites de consistencia del suelo base



Los límites de consistencia obtenidos del suelo base en laboratorio fueron:

Tabla 15 Resultados de límites de consistencia

Límites de consistencia	ARENA	SUELO BASE
Límite Líquido	No presenta	48.12%
Límite Plástico	No presenta	26.52%
Índice de Plasticidad	No presenta	21.60%

d. Gravedad específica del suelo por picnómetro de agua (Gs)

El peso específico se obtuvo mediante la relación entre el peso de sólidos de la muestra de suelo y el volumen de agua que este desaloja a temperatura ambiente utilizando una corrección por temperatura de la Norma Técnica Peruana NTP 339.131. El valor del peso específico intervino en el cálculo de la densidad seca de compactación y el procedimiento del ensayo se realizó de acuerdo a los lineamientos de la Norma Técnica Peruana NTP 339.131. La gravedad específica (Gs) obtenida fue de 2.68.

Figura 37 Ensayo de gravedad específica de los sólidos (Gs)



e. Ensayo de compactación próctor estándar.

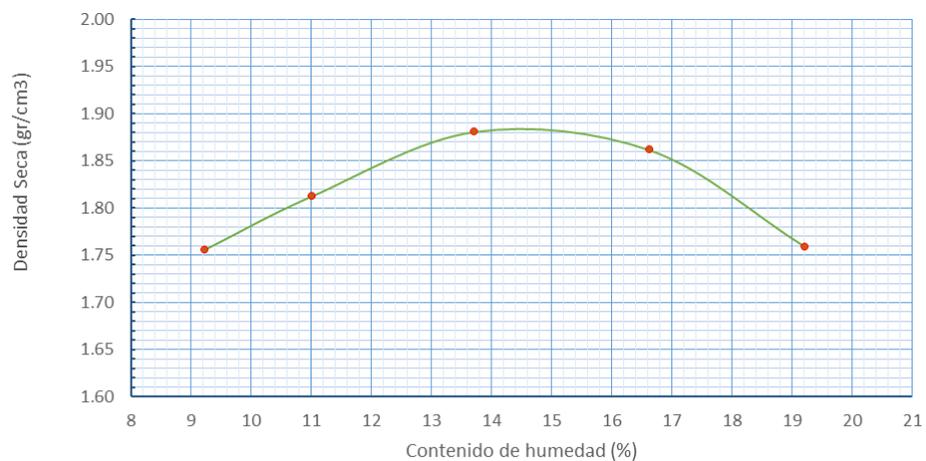
El ensayo se realizó de acuerdo a la Norma Técnica Peruana NTP 339.142. La densidad seca de compactación que se encuentra en el rango de $1650 \text{ kg/m}^3 < \gamma_d < 1760 \text{ kg/m}^3$ corresponde a un suelo con bajo desempeño (Doat, et al., 1991), lo que es importante para predecir el comportamiento del suelo caracterizado. El ensayo Proctor puede ser estándar o modificado y se diferencian en el esfuerzo de compactación que ofrece cada uno. Debido a que, la máquina utilizada para la fabricación de ladrillos de tierra comprimida ofrece una compactación aproximada de 4 a 6 MPa el tipo de ensayo elegido es el Proctor tipo estándar.

Figura 38 Ensayo de compactación próctor estándar de suelo base.



La fabricación de ladrillos de tierra comprimida con un grado de compactación está ligada al contenido óptimo de humedad del suelo base a utilizarse, para lo cual se realizó el ensayo de Proctor estándar. La curva de compactación mostrada en la Figura 35 indica una densidad de compactación máxima de 1885 Kg/m³ para un contenido humedad óptimo del 14.5%.

Figura 39 Curva de compactación para el contenido de humedad óptimo



3.8. Ensayos para la caracterización mecánica de ladrillos.

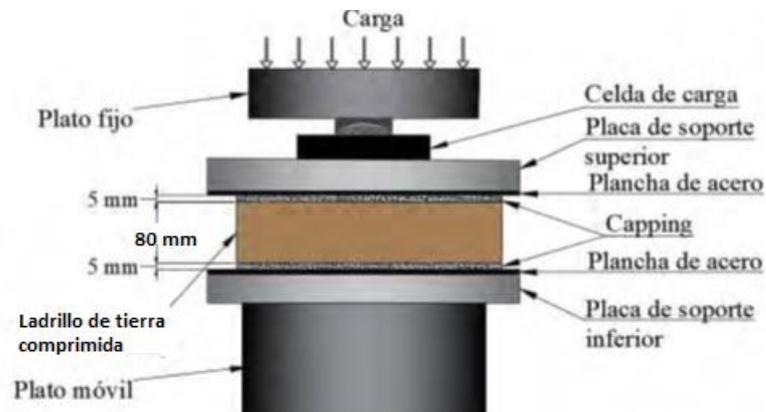
a. Ensayo de compresión de unidades de ladrillo modular de tierra comprimida.

El ensayo de compresión se realizó siguiendo los lineamientos de la Norma Técnica Peruana NTP 399.604 y NTP 399.613. La máquina utilizada para el ensayo es la máquina universal Forney 600 que cuenta con un sistema hidráulico que permite la realización de ensayos convencionales de compresión, tracción y fatiga bajo un control de desplazamiento o de fuerza. La carga es aplicada por medio de una celda de carga con capacidad de 250 kN y contiene un cilindro independiente con capacidad de 100 kN. El ensayo se realizó mediante la aplicación constante de la carga bajo un control de desplazamiento a una velocidad de 1mm/min. Las muestras de ensayo corresponden a Ladrillos de tierra comprimida estabilizado con cemento y arena de 250x125x80 mm. Las superficie inferior y superior de las muestras de ensayo que están en contacto con los platos de acero de la prensa hidráulica se enrasaron para buscar la uniformidad de la aplicación de la carga. Adicionalmente, se colocó un capeo de triplay de 5 mm de espesor. Las superficies de contacto resultante fueron paralelas entre sí y perpendiculares al eje vertical del transmisor de carga del equipo (ver Figura 36). Finalmente, el esfuerzo de compresión (f'_b) se calculó mediante la ecuación (a.1), donde, P es la carga máxima registrada en N y A es el área de contacto del Ladrillo de tierra comprimida en mm². La variación de los resultados es mostrada en términos del coeficiente de variación (CV) el cual es calculado mediante la ecuación (3.2), donde, S es la desviación estándar y \bar{X} es el promedio ponderado de los resultados.

$$f'_b = \frac{P}{A} \dots a.1$$

$$CV = \frac{S}{X} \dots \dots a. 2$$

Figura 40 Configuración del ensayo de compresión



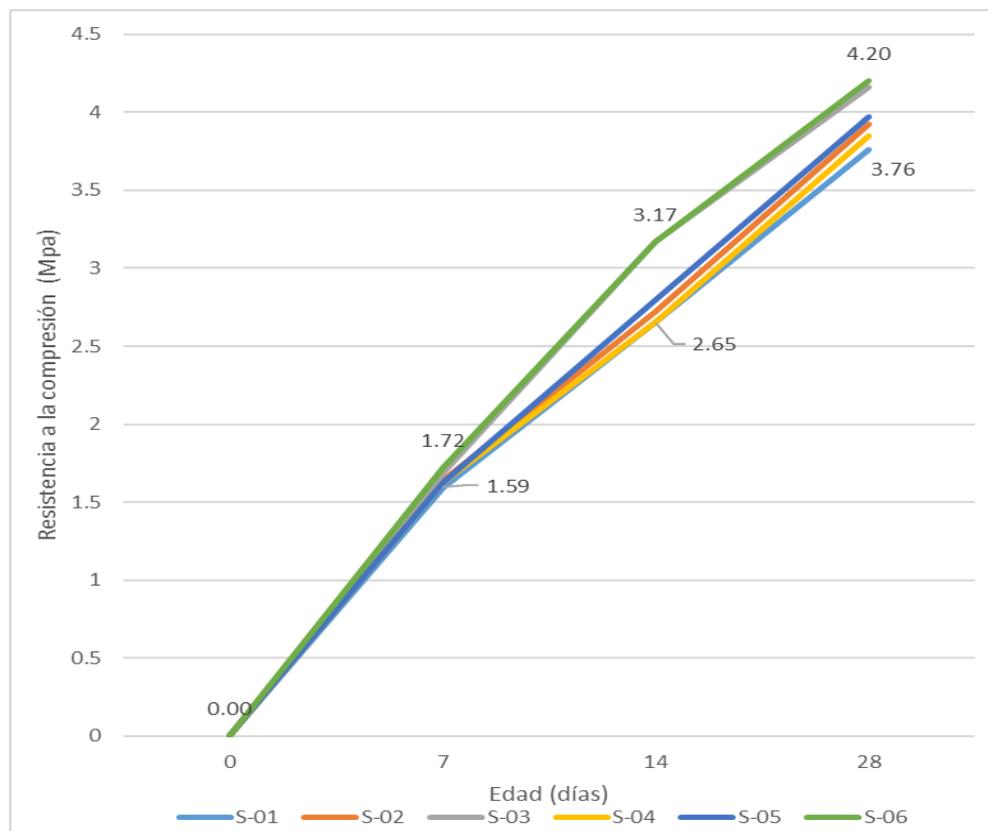
Nota. Se muestra la configuración de cómo se realizará los ensayos a la compresión de los ladrillos modulares de tierra comprimida.
Fuente. Alvarez (2018).

Figura 41 Ensayo a la compresión en laboratorio.



La resistencia a la compresión de los ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida se determinó mediante el ensayo de compresión uniaxial desarrollado a los 7; 14 y 28 días de edad para determinar su evolución a través del tiempo. Los resultados del ensayo a la compresión se muestran en la Figura 37 donde se puede observar la evolución de la resistencia de las seis mezclas obtenidas según el porcentaje de cemento y arena utilizado en el suelo base para su estabilización.

Figura 42 Resultados de ensayo a la compresión



b. Ensayo de flexión en tres puntos de ladrillos modulares de tierra comprimida.

Resistencia a la tracción medida como: resistencia a la tracción indirecta o tracción por flexión. En un muro sometido a compresión, la falla ocurre por tracción transversal de la unidad de albañilería, mientras ella se encuentra en una

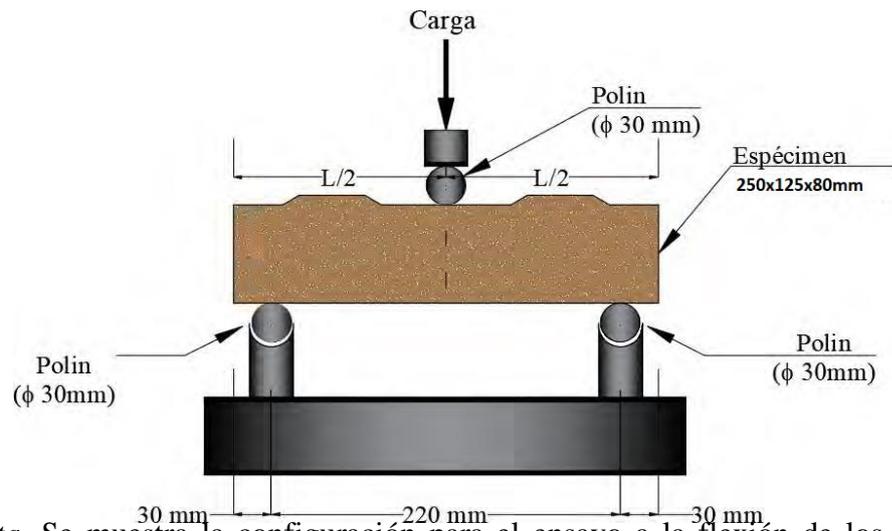


situación de cargas triaxiales. Esto demuestra la importancia del conocimiento de esta propiedad. Lamentablemente, su medición solamente puede hacerse, para obtener resultados significativos, en testigos razonablemente macizos. Dos ensayos son usuales: el ensayo de tracción indirecta y el ensayo de tracción por flexión o de módulo de ruptura (Gallegos, 2005, p.115).

Para esta investigación utilizaremos el ensayo de flexión en tres puntos cuyo objetivo fue determinar la resistencia a la flexión (f_r) conocido también como módulo de ruptura (MOR) de los Ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida. El ensayo se realizó en base a los lineamientos de la norma NTP 399.613 Normas de unidades. El equipo que se utilizó para este ensayo es UTEST UTC-6231 para el ensayo de flexo compresión. Las muestras de ensayo son Ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida estabilizados con cemento y arena, los cuales fueron colocados horizontalmente sobre dos polines de 30 mm de diámetro cada uno. La luz libre entre los dos apoyos es de 220 mm presentando una relación de luz/peralte de 3.1 como se muestra en la Figura 39 La carga vertical uniformemente bajo un control de desplazamiento a una velocidad constante de 0.25 mm/min. Finalmente, el MOR (f_r) se calculó mediante la ecuación b.1 donde, l_s es la luz libre entre apoyos, F_{max} es la carga máxima, b es el ancho del espécimen y H es la altura del espécimen. La variación de los resultados es mostrada en términos del coeficiente de variación (CV).

$$f_r = \frac{3 l_s F_{max}}{2 b H^2} \dots b.1$$

Figura 43 Configuración del ensayo a la flexión



Nota. Se muestra la configuración para el ensayo a la flexión de los ladrillos modulares de tierra comprimida.

Fuente. Alvarez (2018)

Realizado los ensayos correspondientes al mejor resultado obtenido en las pruebas de compresión simple es decir con el S-6, se obtuvo el Módulo de Ruptura o resistencia a la flexión promedio de $f'_{br} = 0.71$ Mpa. con un CV de 4.45%.

Figura 44 Ensayo a la flexión de primas de albañilería



c. Ensayo de compresión de prismas con ladrillos modulares de tierra comprimida

El ensayo de compresión de prismas de Ladrillo ecológicos modulares de tierra comprimida se realizó según los lineamientos de la Norma Técnica Peruana NTP 399.605. Las muestras de ensayo fueron pilas de cuatro unidades de Ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida con una base de 250x125 mm y 320 mm de altura, como se utilizó cuatro unidades en las pilas de ladrillos se realizó la corrección por esbeltez para dicho ensayo según la Tabla 16 de la Norma Técnica Peruana 399.605. El equipo utilizado para el ensayo fue la máquina universal Forney 600, la misma que fue utilizada para el ensayo a compresión. El ensayo se realizó mediante la aplicación constante de la carga bajo el control de desplazamientos a una velocidad de 0.25 mm/min. La ecuación c.1 se utilizó para determinar el valor de la resistencia a la compresión (f'_m) donde P es la carga máxima registrada en Newtons y A es el área neta de la superficie de contacto en mm².

$$f'_m = \frac{P}{A} \dots \dots c. 1$$

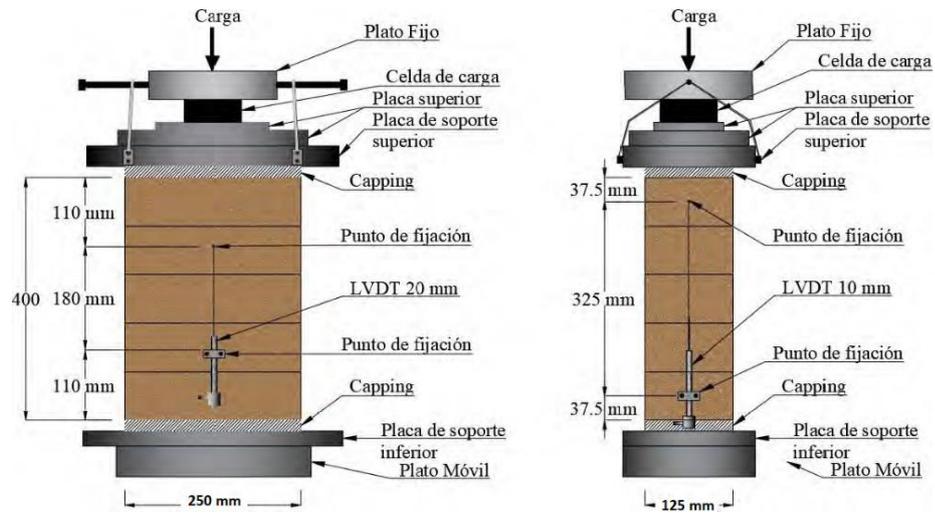
Tabla 16 Factores de corrección por esbeltez en ensayo de primas de albañilería

h_p/t_p^A	1.3	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
Factor de corrección	0.75	0.86	1.0	1.04	1.07	1.15	1.22

Nota. A. h_p/t_p Relación de la altura del prisma y las medidas menores laterales del prisma.

Fuente NTP 399.605

Figura 45 Configuración del ensayo de compresión de prismas.



Nota. (a) Vista frontal (b) Vista lateral. (Alvarez Ordoñez 2018)

Fuente. Alvarez (2018)

Figura 46 Ensayo de compresión de prismas en laboratorio



3.9. Análisis Estadístico

Como se expuso en el ítem 2.2.15 Tratamiento Estadístico de revisión de la literatura, el análisis estadístico consistió en obtener la desviación estándar (S) y el coeficiente de variación (CV) de cada grupo planteado para la investigación, cinco (05) por cada denominación de los suelos de acuerdo al porcentaje de cemento y arena en la arcilla utilizada. Para cada grupo se plantea una tabla y un gráfico de su distribución normal. Posteriormente se evaluará estos parámetros estadísticos con lo especificado en la Tabla 11, correspondiente ítem 2.2.15.1. Los datos de la resistencia a compresión f'_b se han tomado de los resultados de laboratorio que se adjuntan en el anexo K. Como ya se ha mencionado, la cantidad de especímenes por cada condición de porcentaje de cemento y arena en la arcilla es de 15 (05 a los 7 días; 05 a los 14 días y 05 a los 28 días); Se tuvo cuidado en la conservación, manejo y transporte de los especímenes a laboratorio para las pruebas correspondiente ya que esto podría incidir en los resultados obtenidos. Teniendo las siguientes dosificaciones en volumen de los 06 suelos a evaluar según la Tabla 13.

3.9.1. Coeficiente de variación y desviación estándar: S-1

Tabla 17 Coeficiente de variación y desviación estándar S-01

Nro. de Especímenes (n)	f'_b (kg/cm ²)	Xi-u	$\Sigma(xi-u)^2$
5	Xi		
	39.56	1.22	1.48
S-01 C:15%; A:5%;Ar:80%	36.75	-1.59	2.54
	41.35	3.01	9.04
	35.72	-2.62	6.89
	38.34	0.00	0.00
MEDIA (u)	38.34		
$\Sigma(xi-u)^2$			19.94
Varianza (S ²)			4.99
Desviación Estándar (S)			2.23
Coeficiente de Variación (CV%)			5.82

Elaborado por el equipo de trabajo

En la tabla anterior se obtienen parámetros como la media, varianza, desviación estándar y el coeficiente de variación; se obtuvieron de la siguiente manera los cuales se especificará para este cuadro y se generalizará para las siguientes tablas.

a. *Media*

$$u = \frac{\Sigma f' b}{n} = \frac{191.72}{5} = 38.34$$

Donde f'_b es la resistencia a la compresión obtenida de cada espécimen y n es la cantidad de especímenes que conforman el grupo.

b. *La Varianza*

$$\sigma^2 = \frac{\Sigma (xi - u)^2}{n - 1} = \frac{19.94}{5 - 1} = 4.99$$

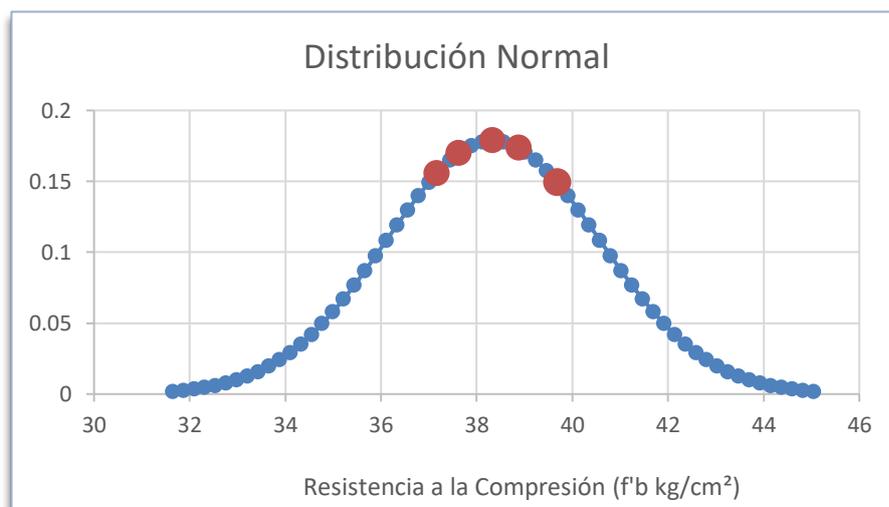
c. *La Desviación Estándar*

$$S = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{4.99} = 2.23$$

d. *El Coeficiente de Variación*

$$CV = \frac{S}{u} * 100 = \frac{2.23}{38.34} * 100 = 5.82\%$$

Figura 47 Distribución normal S-01



Interpretación. Según la Tabla 11, para el presente grupo la desviación estándar se califica como excelente ya que 2.23 es menor a 14, y el coeficiente de variación que está entre 5 y 6 se considera deficiente. Además del gráfico se deduce que los resultados se ajustan a una distribución normal de dispersión mínima.

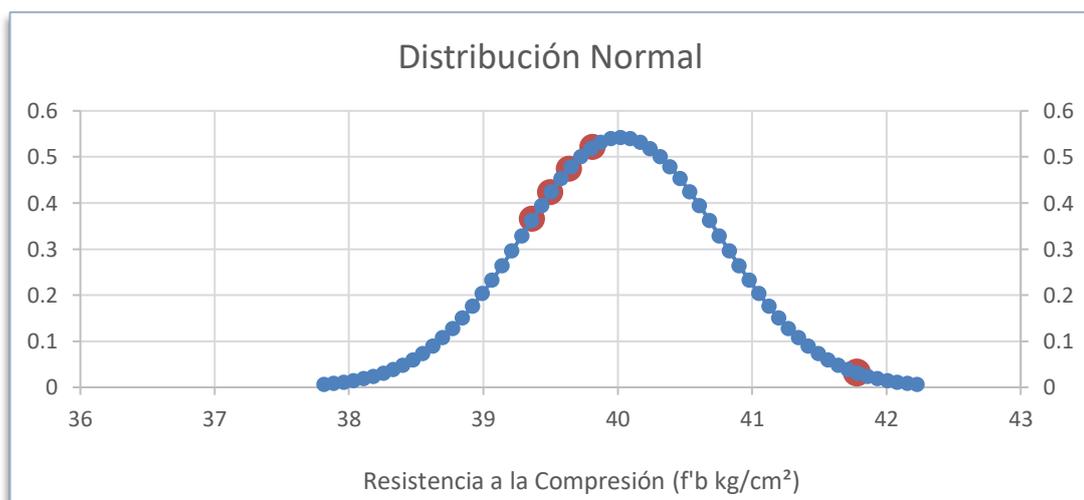
3.9.2. Coeficiente de variación y desviación estándar: S-2

Tabla 18 Coeficiente de variación y desviación estándar S-02

Nro de Especímenes (n)	f'_b (kg/cm ²)	Xi-u	$\Sigma(xi-u)^2$
5	Xi		
S-02 C:15%; A:10%;Ar:75%	39.54	-0.48	0.23
	39.87	-0.15	0.02
	41.32	1.30	1.68
	39.64	-0.38	0.15
	39.74	-0.28	0.08
MEDIA (u)	40.02		
$\Sigma(xi-u)^2$			2.17
Varianza (S ²)			0.54
Desviación Estándar (S)			0.74
Coeficiente de Variación (CV%)			1.84

Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 48 Distribución normal S-02



Interpretación. Según la Tabla 11, para el presente grupo la desviación estándar se califica como excelente ya que 0.74 es menor a 14, y el coeficiente de variación es menor que 2 se considera excelente. Además del gráfico se deduce que los resultados se ajustan a una distribución normal de dispersión mínima.

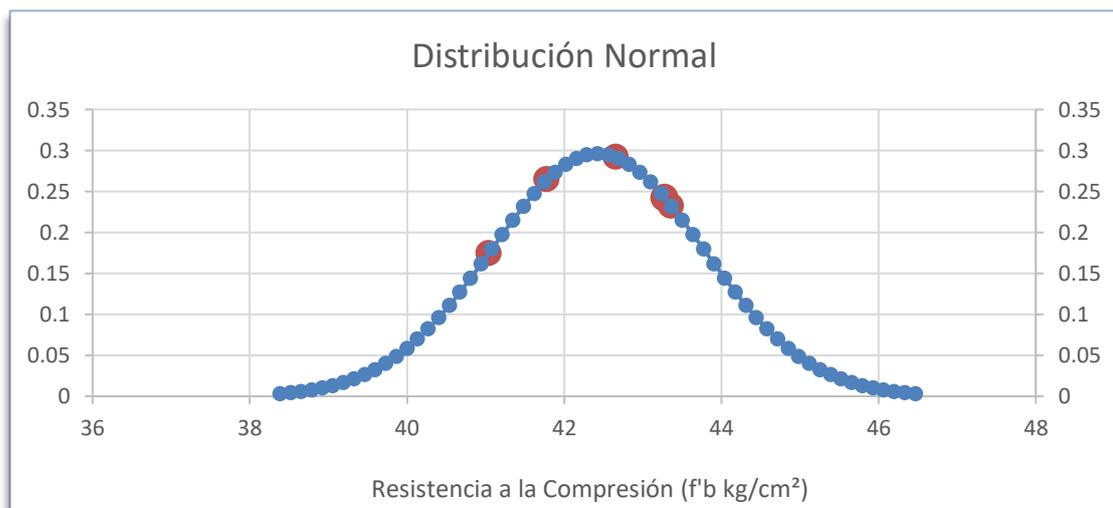
3.9.3. Coeficiente de variación y desviación estándar: S-3

Tabla 19 Coeficiente de variación y desviación estándar S-03

Nro de Especímenes (n)	f'_b (kg/cm ²)	Xi-u	$\Sigma(xi-u)^2$
5	Xi		
S-03 C:15%; A:15%;Ar:70%	41.56	-0.87	0.75
	40.56	-1.87	3.48
	43.58	1.15	1.33
	42.74	0.31	0.10
	43.69	1.26	1.60
MEDIA (u)	42.43		
$\Sigma(xi-u)^2$			7.26
Varianza (S ²)			1.81
Desviación Estándar (S)			1.35
Coeficiente de Variación (CV%)			3.18

Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 49 Distribución normal S-03



Interpretación. Según la Tabla 11, para el presente grupo la desviación estándar se califica como excelente ya que 1.35 es menor a 14, y el coeficiente de variación que está entre 3 y 4 se considera bueno. Además del gráfico se deduce que los resultados se ajustan a una distribución normal de dispersión mínima.

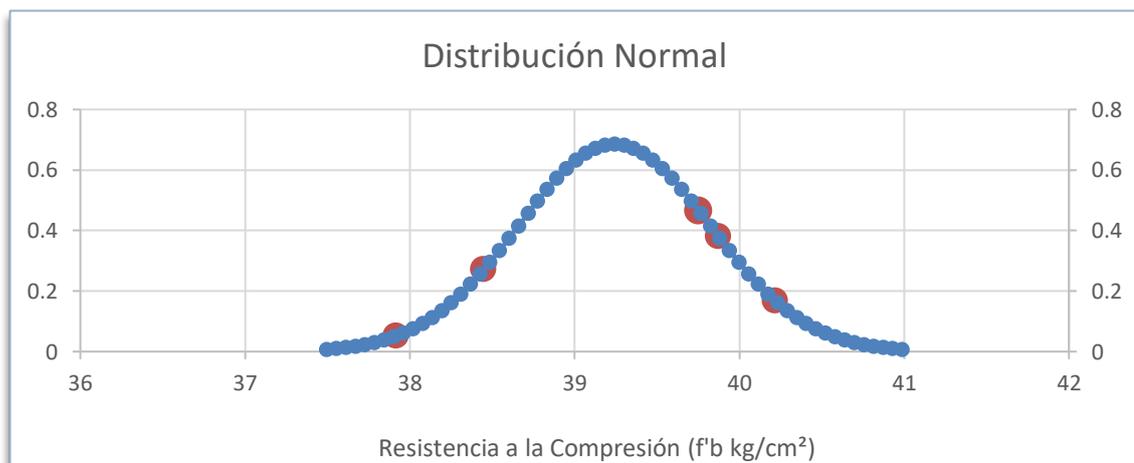
3.9.4. Coeficiente de variación y desviación estándar: S-4

Tabla 20 Coeficiente de variación y desviación estándar S-04

Nro de Especímenes (n)	f'_b (kg/cm ²)	Xi-u	$\Sigma(xi-u)^2$
5	Xi		
S-04 C:20%; A:05%;Ar:75%	38.78	-0.46	0.21
	39.81	0.57	0.32
	39.54	0.30	0.09
	38.47	-0.77	0.60
	39.61	0.37	0.14
MEDIA (u)	39.24		
$\Sigma(xi-u)^2$			1.36
Varianza (S ²)			0.34
Desviación Estándar (S)			0.58
Coeficiente de Variación (CV%)			1.48

Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 50 Distribución normal S-04



Interpretación. Según la Tabla 11, para el presente grupo la desviación estándar se califica como excelente ya que 0.58 es menor a 14, y el coeficiente de variación es menor que 2 se considera excelente. Además del gráfico se deduce que los resultados se ajustan a una distribución normal de dispersión mínima.

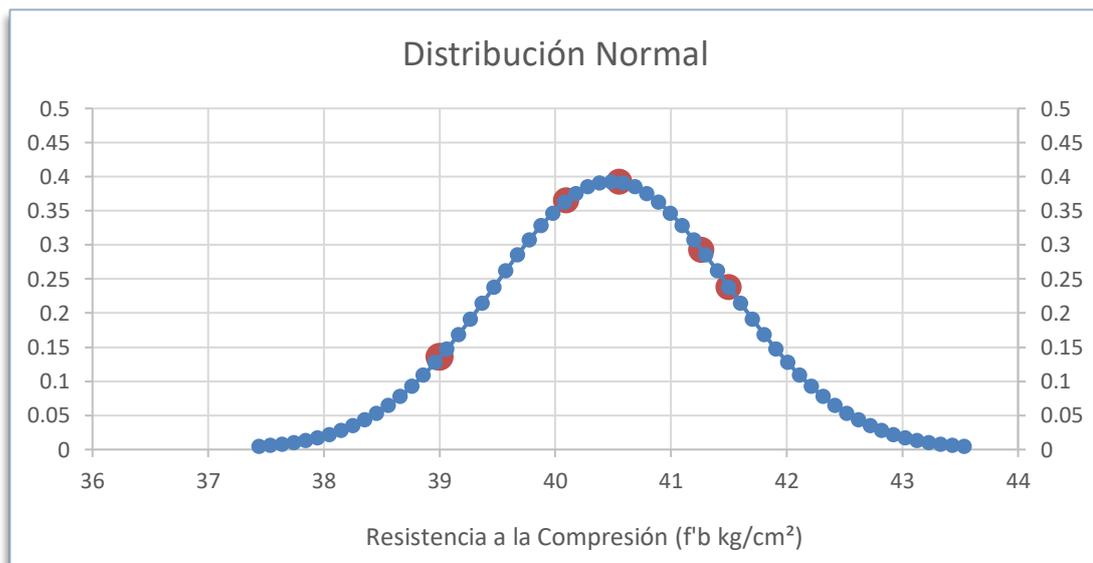
3.9.5. Coeficiente de variación y desviación estándar: S-5

Tabla 21 Coeficiente de variación y desviación estándar S-05

Nro de Especímenes (n)	f'_b (kg/cm ²)	Xi-u	$\Sigma(xi-u)^2$
5	Xi		
S-05 C:20%; A:10%;Ar:70%	40.56	0.07	0.01
	41.28	0.79	0.63
	38.98	-1.51	2.27
	41.52	1.03	1.07
	40.09	-0.40	0.16
MEDIA (u)	40.49		
$\Sigma(xi-u)^2$			4.13
Varianza (S ²)			1.03
Desviación Estándar (S)			1.02
Coeficiente de Variación (CV%)			2.51

Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 51 Distribución normal S-05



Interpretación. Según la Tabla 11, para el presente grupo la desviación estándar se califica como excelente ya que 1.02 es menor a 14, y el coeficiente de variación que está entre 2 y 3 se considera muy bueno. Además del gráfico se deduce que los resultados se ajustan a una distribución normal de dispersión mínima.

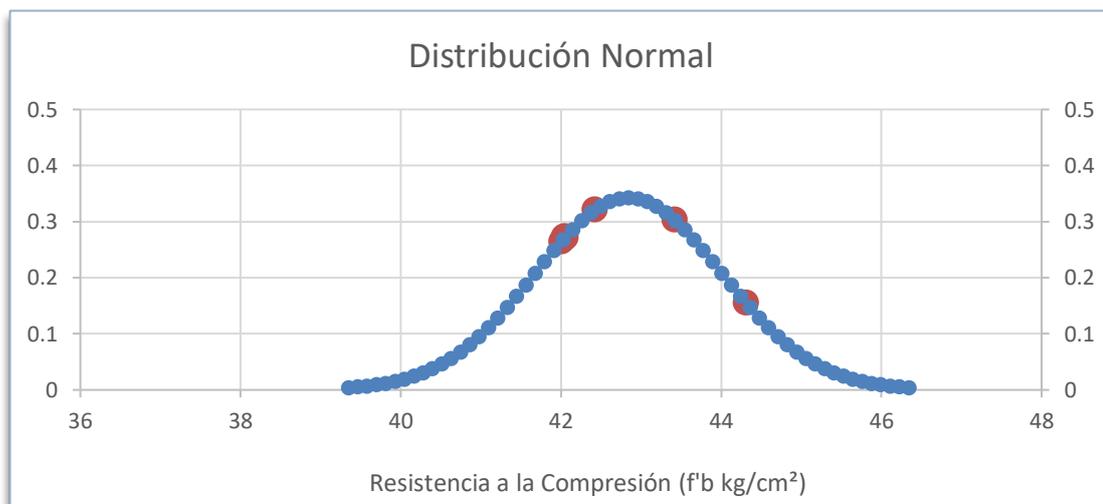
3.9.6. Coeficiente de variación y desviación estándar: S-6

Tabla 22 Coeficiente de variación y desviación estándar S-06

Nro de Especímenes (n)	f'_b (kg/cm ²)	Xi-u	$\Sigma(xi-u)^2$
5	Xi		
S-06 C:20%; A:15%;Ar:65%	42.36	-0.49	0.24
	43.52	0.67	0.45
	41.92	-0.93	0.86
	41.87	-0.98	0.95
	44.56	1.71	2.94
MEDIA (u)	42.85		
$\Sigma(xi-u)^2$			5.44
Varianza (S ²)			1.36
Desviación Estándar (S)			1.17
Coeficiente de Variación (CV%)			2.72

Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 52 Distribución normal S-06





Interpretación. Según la Tabla 11, para el presente grupo la desviación estándar se califica como excelente ya que 1.17 es menor a 14, y el coeficiente de variación que está entre 2 y 3 se considera muy bueno. Además del gráfico se deduce que los resultados se ajustan a una distribución normal de dispersión mínima.

3.9.7. Análisis Estadístico

De acuerdo a lo indicado en revisión de la literatura en la parte estadística, se realizará la prueba de hipótesis para los resultados de resistencia a la compresión de los ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida. El desarrollo y los pasos para tal fin, se establecieron en el ítem mencionado.

El objetivo de esta prueba es evaluar la resistencia a la compresión de los ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida al añadirle cemento y arena en proporciones indicadas, lo cual se ve reflejado en los resultados obtenidos en laboratorio.

Se procederá a comparar cada uno de los 06 tipos de suelo obtenido según las proporciones de cemento arena y arcillas utilizadas mencionadas en la caracterización de las muestras e indicadas en la Tabla 13. con la muestra patrón; es decir se comparará el suelo S-01 con el suelo S-02; el S-01 con el suelo S-03; el S-01 con el suelo S-04; el suelo S-01 con el suelo S-05 y el suelo S-01 con el suelo S-06. Se utilizará los resultados obtenidos a los 28 días, esto por fines prácticos según lo indicado en revisión de la literatura.

3.9.8. Prueba de Hipótesis

Se tiene de la Tabla 13

S-01 : 15%Cemento + 05% Arena + 85% Arcilla

S-02 : 15%Cemento + 10% Arena + 80% Arcilla

S-03 : 15%Cemento + 15% Arena + 75% Arcilla



S-04 : 20%Cemento + 05% Arena + 75% Arcilla

S-05 : 20%Cemento + 10% Arena + 70% Arcilla

S-06 : 20%Cemento + 15% Arena + 65% Arcilla

u_1 : Resistencia promedio del S-01

u_2 : Resistencia promedio del S-02

u_3 : Resistencia promedio del S-03

u_4 : Resistencia promedio del S-04

u_5 : Resistencia promedio del S-05

u_6 : Resistencia promedio del S-06

σ_1 : Resistencia promedio del S-01

σ_2 : Resistencia promedio del S-02

σ_3 : Resistencia promedio del S-03

σ_4 : Resistencia promedio del S-04

σ_5 : Resistencia promedio del S-05

σ_6 : Resistencia promedio del S-06

n : Número de especímenes del grupo (05 para todos los casos).

Prueba de hipótesis del S-01 con S-02

Se tiene los siguientes parámetros, de las Tablas 17 y 18

Tabla 23 Parámetros S-01 y S-02

PROPORCIÓN DE SUELOS	MEDIA (u)	DESVIACIÓN ESTANDAR (S)	NUM. DE ESPECIMENES
S-01	38.34	2.23	05
S-02	40.02	0.74	05

Elaborado por el equipo de trabajo



Se desarrolla la prueba de hipótesis de acuerdo a los pasos establecidos en el análisis estadístico de la revisión de la literatura.

1. Parámetro de interés. Se considerará las resistencias promedio de los suelos siguientes.

u_1 : Resistencia promedio del S-01

u_2 : Resistencia promedio del S-02

2. Hipótesis Nula

$H_0 : u_1 \leq u_2$

3. Hipótesis Alternativa

$H_1 : u_1 > u_2$

4. Nivel de significancia. Como ya se describió en el ítem anterior $\alpha = 0.05$ para todos los casos, además de la tabla estadística (ver ANEXO K) se obtiene $Z = 1.645$ (positivo). Por lo que se plantea:

Rechazar $H_0: u_1 \leq u_2$, si $Z_0 > Z$ (no se rechaza $H_1: u_1 > u_2$, “se acepta”)

5. Test estadístico.

$$Z_0 = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}$$

$$Z_0 = \frac{38.34 - 40.02}{\sqrt{\frac{2.23^2}{5} + \frac{0.74^2}{5}}} = -1.59$$

6. Conclusión. Puesto que $Z_0 < Z$ ($-1.59 < 1.645$), la hipótesis alternativa se rechaza para un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, y se concluye que la resistencia a la compresión a los 28 días de ladrillo ecológico modular de tierra comprimida elaborado con el S-02 es mayor a los ladrillos elaborados con el S-01.

Prueba de hipótesis del S-01 con S-03

Se tiene los siguientes parámetros, de las Tablas 17 y 19

Tabla 24 Parámetros S-01 y S-03

PROPORCIÓN DE SUELOS	MEDIA (μ)	DESVIACIÓN ESTANDAR (S)	NUM. DE ESPECIMENES
S-01	38.34	2.23	05
S-03	42.43	1.35	05

Elaborado por el equipo de trabajo

Se desarrolla la prueba de hipótesis de acuerdo a los pasos establecidos en el análisis estadístico de la revisión de la literatura.

1. Parámetro de interés. Se considerará las resistencias promedio de los suelos siguientes.

u_1 : Resistencia promedio del S-01

u_3 : Resistencia promedio del S-03

2. Hipótesis Nula

$H_0 : u_1 \leq u_3$

3. Hipótesis Alternativa

$H_1 : u_1 > u_3$

4. Nivel de significancia. Como ya se describió en el ítem anterior $\alpha = 0.05$ para todos los casos, además de la tabla estadística (ver ANEXO K) se obtiene $Z = 1.645$ (positivo). Por lo que se plantea:

Rechazar $H_0: u_1 \leq u_3$, si $Z_0 > Z$ (no se rechaza $H_1: u_1 > u_3$, “se acepta”)

5. Test estadístico.

$$Z_0 = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} = \frac{38.34 - 42.43}{\sqrt{\frac{2.23^2}{5} + \frac{1.35^2}{5}}} = -3.508$$

6. Conclusión. Puesto que $Z_0 < Z$ ($-3.508 < 1.645$), la hipótesis alternativa se

rechaza para un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, y se concluye que la resistencia a la compresión a los 28 días de ladrillo ecológico modular de tierra comprimida elaborado con el S-03 es mayor a los ladrillos elaborados con el S-01.

Prueba de hipótesis del S-01 con S-04

Se tiene los siguientes parámetros, de las Tablas 17 y 20

Tabla 25 Parámetros S-01 y S-04

PROPORCIÓN DE SUELOS	MEDIA (μ)	DESVIACIÓN ESTANDAR (σ)	NUM. DE ESPECIMENES
S-01	38.34	2.23	05
S-04	39.24	0.58	05

Elaborado por el equipo de trabajo

Se desarrolla la prueba de hipótesis de acuerdo a los pasos establecidos en el análisis estadístico de la revisión de la literatura.

1. Parámetro de interés. Se considerará las resistencias promedio de los suelos siguientes.

μ_1 : Resistencia promedio del S-01

μ_4 : Resistencia promedio del S-04

2. Hipótesis Nula

$H_0 : \mu_1 \leq \mu_4$

3. Hipótesis Alternativa

$H_1 : \mu_1 > \mu_4$

4. Nivel de significancia. Como ya se describió en el ítem anterior $\alpha = 0.05$ para todos los casos, además de la tabla estadística (ver ANEXO K) se obtiene $Z = 1.645$ (positivo). Por lo que se plantea:

Rechazar $H_0: \mu_1 \leq \mu_4$, si $Z_0 > Z$ (no se rechaza $H_1: \mu_1 > \mu_4$, “se acepta”)

5. Test estadístico.

$$Z_0 = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} = \frac{38.34 - 39.24}{\sqrt{\frac{2.23^2}{5} + \frac{0.58^2}{5}}} = -0.873$$

6. Conclusión. Puesto que $Z_0 < Z$ ($-0.873 < 1.645$), la hipótesis alternativa se rechaza para un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, se concluye que la resistencia a la compresión a los 28 días de ladrillo ecológico modular de tierra comprimida elaborado con el S-04 es mayor a los ladrillos elaborados con el S-01.

Prueba de hipótesis del S-01 con S-05

Se tiene los siguientes parámetros, de las Tablas 17 y 21

Tabla 26 Parámetros S-01 y S-05

PROPORCIÓN DE SUELOS	MEDIA (u)	DESVIACIÓN ESTANDAR (S)	NUM. DE ESPECIMENES
S-01	38.34	2.23	05
S-05	40.49	1.02	05

Elaborado por el equipo de trabajo

Se desarrolla la prueba de hipótesis de acuerdo a los pasos establecidos en el análisis estadístico de la revisión de la literatura.

1. Parámetro de interés. Se considerará las resistencias promedio de los suelos siguientes.

u_1 : Resistencia promedio del S-01

u_5 : Resistencia promedio del S-05

2. Hipótesis Nula $H_0 : u_1 \leq u_5$

3. Hipótesis Alternativa $H_1 : u_1 > u_5$

4. Nivel de significancia. Como ya se describió en el ítem anterior $\alpha = 0.05$ para todos los casos, además de la tabla estadística (ver ANEXO K) se

obtiene $Z = 1.645$ (positivo). Por lo que se plantea:

Rechazar $H_0: u_1 \leq u_5$, si $Z_0 > Z$ (no se rechaza $H_1: u_1 > u_5$, “se acepta”)

5. Test estadístico.

$$Z_0 = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} = \frac{38.34 - 40.49}{\sqrt{\frac{2.23^2}{5} + \frac{1.02^2}{5}}} = -1.96$$

6. Conclusión. Puesto que $Z_0 < Z$ ($-1.96 < 1.645$), la hipótesis alternativa se rechaza para un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, se concluye que la resistencia a la compresión a los 28 días de ladrillo ecológico modular de tierra comprimida elaborado con el S-05 es mayor a los ladrillos elaborados con el S-01.

Prueba de hipótesis del S-01 con S-06

Se tiene los siguientes parámetros, de las Tablas 17 y 22

Tabla 27 Parámetros S-01 y S-06

PROPORCIÓN DE SUELOS	MEDIA (μ)	DESVIACIÓN ESTANDAR (S)	NUM. DE ESPECIMENES
S-01	38.34	2.23	05
S-06	42.85	1.17	05

Elaborado por el equipo de trabajo

Se desarrolla la prueba de hipótesis de acuerdo a los pasos establecidos en el análisis estadístico de la revisión de la literatura.



1. Parámetro de interés. Se considerará las resistencias promedio de los suelos siguientes.

u_1 : Resistencia promedio del S-01

u_6 : Resistencia promedio del S-06

2. Hipótesis Nula

$H_0 : u_1 \leq u_6$

3. Hipótesis Alternativa

$H_1 : u_1 > u_6$

4. Nivel de significancia. Como ya se describió en el ítem anterior $\alpha = 0.05$ para todos los casos, además de la tabla estadística (ver ANEXO K) se obtiene $Z = 1.645$ (positivo). Por lo que se plantea:

Rechazar $H_0: u_1 \leq u_6$, si $Z_0 > Z$ (no se rechaza $H_1: u_1 > u_6$, “se acepta”)

5. Test estadístico.

$$Z_0 = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}$$

$$Z_0 = \frac{38.34 - 42.85}{\sqrt{\frac{2.23^2}{5} + \frac{1.17^2}{5}}} = -4.004$$

6. Conclusión. Puesto que $Z_0 < Z$ ($-4.004 < 1.645$), la hipótesis alternativa se rechaza para un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, se concluye que la resistencia a la compresión a los 28 días de ladrillo ecológico modular de tierra comprimida elaborado con el S-06 es mayor a los ladrillos elaborados con el S-01.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción de Resultados

4.1.1. De los Ensayos Preliminares

Preliminarmente se ensayaron la arcilla y la arena utilizada en la fabricación de ladrillos de tierra comprimida para poder hallar sus propiedades físicas, esto para verificar si cumplen con los parámetros, las normas actuales vigentes como sus usos granulométricos y para evaluar el comportamiento de los mismos. Se realizó los ensayos de límites de consistencia de la tierra a comprimirse clasificándola como una arcilla tipo CL (Arcilla Inorgánica de baja plasticidad) según la normativa SUCS o una A-7-6 según la normativa AASHTO.

Se verificó que la arcilla utilizada como material solo, para la fabricación de los ladrillos de tierra comprimida sin ningún tipo de estabilizante físico se encuentra al límite del uso granulométrico según la norma UNE 41410:2008 debido a la gran cantidad de partículas finas que posee. Al suceder esto es necesaria la estabilización con un material más granular es decir arena, siendo esta arena utilizada como estabilizante físico clasificada como SW (arena bien gradada) según la clasificación SUCS o A-3 según la normativa AASHTO. Cumpliendo así el uso granulométrico luego de esta estabilización física con arena.

Verificando la misma norma UNE 41410:2008 cumple con los límites de consistencia requeridos para la fabricación de ladrillos con tierra comprimida, siendo el límite líquido 48.12% cuando el requerido está entre 25% a 50%; verificándose también que el índice de plasticidad es 21.60%. Estando estos valores en la zona de plasticidad según la norma

antes mencionada.

El ensayo próctor estándar realizado al material fue básicamente para obtener un contenido de humedad óptimo correspondiente a un 14.5% llegando a una densidad máxima de 1885 Kg/cm³, el valor del contenido de humedad óptimo apoyó en esta investigación al momento de realizar la mezcla de suelo, cemento y arena para así poder determinar la cantidad necesaria de agua y poder controlar su vertido en la misma, teniendo en cuenta también el contenido de humedad natural del suelo a utilizarse.

4.1.2. Resultados de resistencia a la compresión

4.1.2.1. Ladrillo ecológico modular de tierra comprimida 15% cemento+05% agregado grueso+80% arcilla. S-01

Nro. DE ENSAYO	FECHA DE MOLDE	FECHA DE ROTURA	EDAD (DIAS)	ÁREA (CM ²)	LECTURA DEL DIAL (KG)	RESISTENCIA f _c =Kg/cm ²	DISEÑO f _c =Kg/cm ²	RESISTENCIA EN Mpa	% DE RESISTENCIA
1	31/07/20	07/08/20	7	255.95	3983	15.56	50	1.53	31.12
2	31/07/20	07/08/20	7	255.95	4602	17.98	50	1.76	35.96
3	31/07/20	07/08/20	7	255.95	4228	16.52	50	1.62	33.04
4	31/07/20	07/08/20	7	255.95	3921	15.32	50	1.50	30.64
5	31/07/20	07/08/20	7	255.95	4062	15.87	50	1.56	31.74
6	31/07/20	14/08/20	14	255.95	7044	27.52	50	2.70	55.04
7	31/07/20	14/08/20	14	255.95	6604	25.80	50	2.53	51.60
8	31/07/20	14/08/20	14	255.95	7379	28.83	50	2.83	57.66
9	31/07/20	14/08/20	14	255.95	6650	25.98	50	2.55	51.96
10	31/07/20	14/08/20	14	255.95	6913	27.01	50	2.65	54.02
11	31/07/20	28/08/20	28	255.95	10125	39.56	50	3.88	79.12
12	31/07/20	28/08/20	28	255.95	9406	36.75	50	3.60	73.50
13	31/07/20	28/08/20	28	255.95	10584	41.35	50	4.06	82.70
14	31/07/20	28/08/20	28	255.95	9143	35.72	50	3.50	71.44
15	31/07/20	28/08/20	28	255.95	9813	38.34	50	3.76	76.68

Elaboración equipo de trabajo.



Al realizar el análisis de lo ocurrido en la mezcla de arcilla cemento y arena según las dosificaciones indicadas para el S-01 se puede observar que a los 28 días los ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida alcanzan el 76.68% de resistencia a la compresión según el diseño planteado.

**4.1.2.2. Ladrillo ecológico modular de tierra comprimida
15% cemento+10% agregado grueso+75% arcilla. S-02**

Nro. DE ENSAYO	FECHA DE MOLDE	FECHA DE ROTURA	EDAD (DIAS)	ÁREA (CM ²)	LECTURA DEL DIAL (KG)	RESISTENCIA f'c=Kg/cm ²	DISEÑO f'c=Kg/cm ²	RESISTENCIA EN Mpa	% DE RESISTENCIA
1	31/07/20	07/08/20	7	255.95	4175	16.31	50	1.60	32.62
2	31/07/20	07/08/20	7	255.95	4062	15.87	50	1.56	31.74
3	31/07/20	07/08/20	7	255.95	4090	15.98	50	1.57	31.96
4	31/07/20	07/08/20	7	255.95	4574	17.87	50	1.75	35.74
5	31/07/20	07/08/20	7	255.95	4495	17.56	50	1.72	35.12
6	31/07/20	14/08/20	14	255.95	7566	29.56	50	2.90	59.12
7	31/07/20	14/08/20	14	255.95	6872	26.85	50	2.63	53.70
8	31/07/20	14/08/20	14	255.95	7034	27.48	50	2.69	54.96
9	31/07/20	14/08/20	14	255.95	7126	27.84	50	2.73	55.68
10	31/07/20	14/08/20	14	255.95	6941	27.12	50	2.66	54.24
11	31/07/20	28/08/20	28	255.95	10120	39.54	50	3.88	79.08
12	31/07/20	28/08/20	28	255.95	10205	39.87	50	3.91	79.74
13	31/07/20	28/08/20	28	255.95	10576	41.32	50	4.05	82.64
14	31/07/20	28/08/20	28	255.95	10146	39.64	50	3.89	79.28
15	31/07/20	28/08/20	28	255.95	10172	39.74	50	3.90	79.48

Elaborado por equipo de trabajo.

Al realizar el análisis de lo ocurrido en la mezcla de arcilla cemento y arena según las dosificaciones indicadas para el S-02 se puede observar que a los 28 días los ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida alcanzan el 80.04% de resistencia a la compresión según el diseño planteado.



4.1.2.3. Ladrillo ecológico modular de tierra comprimida 15% cemento+15% agregado grueso+70% arcilla. S-03

Nro. DE ENSAYO	FECHA DE MOLDE	FECHA DE ROTURA	EDAD (DIAS)	ÁREA (CM ²)	LECTURA DEL DIAL (KG)	RESISTENCIA f'c=Kg/cm ²	DISEÑO f'c=Kg/cm ²	RESISTENCIA EN Mpa	% DE RESISTENCIA
1	31/07/20	07/08/20	7	255.95	4489	17.54	50	1.72	35.08
2	31/07/20	07/08/20	7	255.95	4177	16.32	50	1.60	32.64
3	31/07/20	07/08/20	7	255.95	4262	16.65	50	1.63	33.30
4	31/07/20	07/08/20	7	255.95	4574	17.87	50	1.75	35.74
5	31/07/20	07/08/20	7	255.95	4500	17.58	50	1.72	35.16
6	31/07/20	14/08/20	14	255.95	7999	31.25	50	3.06	62.50
7	31/07/20	14/08/20	14	255.95	8329	32.54	50	3.19	65.08
8	31/07/20	14/08/20	14	255.95	9063	35.41	50	3.47	70.82
9	31/07/20	14/08/20	14	255.95	7645	29.87	50	2.93	59.74
10	31/07/20	14/08/20	14	255.95	8318	32.50	50	3.19	65.00
11	31/07/20	28/08/20	28	255.95	10637	41.56	50	4.08	83.12
12	31/07/20	28/08/20	28	255.95	10381	40.56	50	3.98	81.12
13	31/07/20	28/08/20	28	255.95	11154	43.58	50	4.27	87.16
14	31/07/20	28/08/20	28	255.95	10939	42.74	50	4.19	85.48
15	31/07/20	28/08/20	28	255.95	11183	43.69	50	4.28	87.38

Elaborado por equipo de trabajo.

Al realizar el análisis de lo ocurrido en la mezcla de arcilla cemento y arena según las dosificaciones indicadas para el S-03 se puede observar que a los 28 días los ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida alcanzan el 84.85% de resistencia a la compresión según el diseño planteado.

4.1.2.4. Ladrillo ecológico modular de tierra comprimida 20% cemento+05% agregado grueso+75% arcilla. S-04

Nro. DE ENSAYO	FECHA DE MOLDE	FECHA DE ROTURA	EDAD (DIAS)	ÁREA (CM ²)	LECTURA DEL DIAL (KG)	RESISTENCIA f'c=Kg/cm ²	DISEÑO f'c=Kg/cm ²	RESISTENCIA EN Mpa	% DE RESISTENCIA
1	01/08/20	08/08/20	7	255.95	4085	15.96	50	1.57	31.92
2	01/08/20	08/08/20	7	255.95	4244	16.58	50	1.63	33.16
3	01/08/20	08/08/20	7	255.95	4256	16.63	50	1.63	33.26
4	01/08/20	08/08/20	7	255.95	4405	17.21	50	1.69	34.42
5	01/08/20	08/08/20	7	255.95	4228	16.52	50	1.62	33.04
6	01/08/20	15/08/20	14	255.95	6793	26.54	50	2.60	53.08
7	01/08/20	15/08/20	14	255.95	7328	28.63	50	2.81	57.26
8	01/08/20	15/08/20	14	255.95	7602	29.70	50	2.91	59.40
9	01/08/20	15/08/20	14	255.95	6286	24.56	50	2.41	49.12
10	01/08/20	15/08/20	14	255.95	6581	25.71	50	2.52	51.42
11	01/08/20	29/08/20	28	255.95	9926	38.78	50	3.80	77.56
12	01/08/20	29/08/20	28	255.95	10189	39.81	50	3.90	79.62
13	01/08/20	29/08/20	28	255.95	10120	39.54	50	3.88	79.08



14	01/08/20	29/08/20	28	255.95	9846	38.47	50	3.77	76.94
15	01/08/20	29/08/20	28	255.95	10138	39.61	50	3.88	79.22

Elaborado por equipo de trabajo

Al realizar el análisis de lo ocurrido en la mezcla de arcilla cemento y arena según las dosificaciones indicadas para el S-04, se puede observar que a los 28 días los ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida alcanzan el 78.48% de resistencia a la compresión según el diseño planteado.

4.1.2.5. Ladrillo ecológico modular de tierra comprimida 20% cemento+10% agregado grueso+70% arcilla. S-05

Nro. DE ENSAYO	FECHA DE MOLDE	FECHA DE ROTURA	EDAD (DIAS)	ÁREA (CM ²)	LECTURA DEL DIAL (KG)	RESISTENCIA $f_c=Kg/cm^2$	DISEÑO $f_c=Kg/cm^2$	RESISTENCIA EN Mpa	% DE RESISTENCIA
1	31/07/20	07/08/20	7	255.95	3919	15.31	50	1.50	30.62
2	31/07/20	07/08/20	7	255.95	4141	16.18	50	1.59	32.36
3	31/07/20	07/08/20	7	255.95	4500	17.58	50	1.72	35.16
4	31/07/20	07/08/20	7	255.95	4013	15.68	50	1.54	31.36
5	31/07/20	07/08/20	7	255.95	4699	18.36	50	1.80	36.72
6	31/07/20	14/08/20	14	255.95	7794	30.45	50	2.99	60.90
7	31/07/20	14/08/20	14	255.95	7126	27.84	50	2.73	55.68
8	31/07/20	14/08/20	14	255.95	6826	26.67	50	2.62	53.34
9	31/07/20	14/08/20	14	255.95	7343	28.69	50	2.81	57.38
10	31/07/20	14/08/20	14	255.95	7425	29.01	50	2.84	58.02
11	31/07/20	28/08/20	28	255.95	10381	40.56	50	3.98	81.12
12	31/07/20	28/08/20	28	255.95	10566	41.28	50	4.05	82.56
13	31/07/20	28/08/20	28	255.95	9977	38.98	50	3.82	77.96
14	31/07/20	28/08/20	28	255.95	10627	41.52	50	4.07	83.04
15	31/07/20	28/08/20	28	255.95	10261	40.09	50	3.93	80.18

Elaborado por equipo de trabajo

Al realizar el análisis de lo ocurrido en la mezcla de arcilla cemento y arena según las dosificaciones indicadas para el S-05, se puede observar que a los 28 días los ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida alcanzan el 80.97% de resistencia a la compresión según el diseño planteado.

4.1.2.6. Ladrillo ecológico modular de tierra comprimida 20% cemento+15% agregado grueso+68% arcilla. S-06

Nro. DE ENSAYO	FECHA DE MOLDE	FECHA DE ROTURA	EDAD (DIAS)	ÁREA (CM ²)	LECTURA DEL DIAL (KG)	RESISTENCIA f _c =Kg/cm ²	DISEÑO f _c =Kg/cm ²	RESISTENCIA EN Mpa	% DE RESISTENCIA
1	31/07/20	07/08/20	7	255.95	4740	18.52	50	1.82	37.04
2	31/07/20	07/08/20	7	255.95	4338	16.95	50	1.66	33.90
3	31/07/20	07/08/20	7	255.95	4484	17.52	50	1.72	35.04
4	31/07/20	07/08/20	7	255.95	4331	16.92	50	1.66	33.84
5	31/07/20	07/08/20	7	255.95	4612	18.02	50	1.77	36.04
6	31/07/20	14/08/20	14	255.95	9025	35.26	50	3.46	70.52
7	31/07/20	14/08/20	14	255.95	8500	33.21	50	3.26	66.42
8	31/07/20	14/08/20	14	255.95	7794	30.45	50	2.99	60.90
9	31/07/20	14/08/20	14	255.95	8142	31.81	50	3.12	63.62
10	31/07/20	14/08/20	14	255.95	7927	30.97	50	3.04	61.94
11	31/07/20	28/08/20	28	255.95	10842	42.36	50	4.15	84.72
12	31/07/20	28/08/20	28	255.95	11139	43.52	50	4.27	87.04
13	31/07/20	28/08/20	28	255.95	10730	41.92	50	4.11	83.84
14	31/07/20	28/08/20	28	255.95	10717	41.87	50	4.11	83.74
15	31/07/20	28/08/20	28	255.95	11405	44.56	50	4.37	89.12

Elaborado por equipo de trabajo

Al realizar el análisis de lo ocurrido en la mezcla de arcilla cemento y arena según las dosificaciones indicadas para el S-06, se puede observar que a los 28 días los ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida alcanzan el 85.69% de resistencia a la compresión según el diseño planteado.

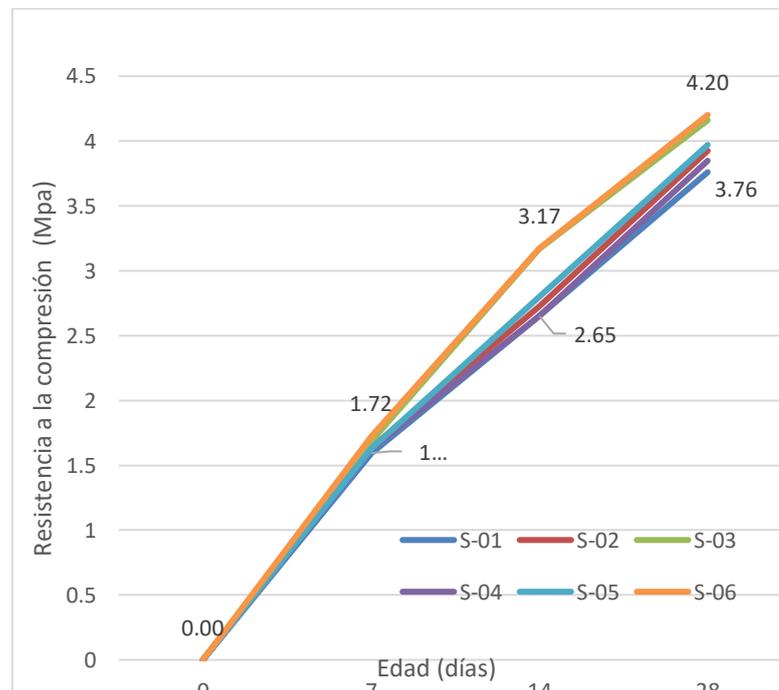
4.1.3. Discusión de Resultados

Para la presentación de la investigación se realizaron ensayos a los siguientes materiales usados: Arcilla, procedente de cantera de la Rinconada de Salcedo Puno y Agregado Fino, procedente de la cantera Cutimbo.

Una vez analizado el material utilizado para la fabricación de los ladrillos de tierra comprimida se procedió a la producción con diferentes porcentajes de material utilizado como cemento arena y arcilla, para después de los cuidados que corresponde llevar a evaluación las unidades de albañilería fabricadas para el estudio de sus propiedades mecánicas.

- a) De los ensayos mecánicos.

Figura 53 Resistencia a la compresión de ladrillos de tierra comprimida



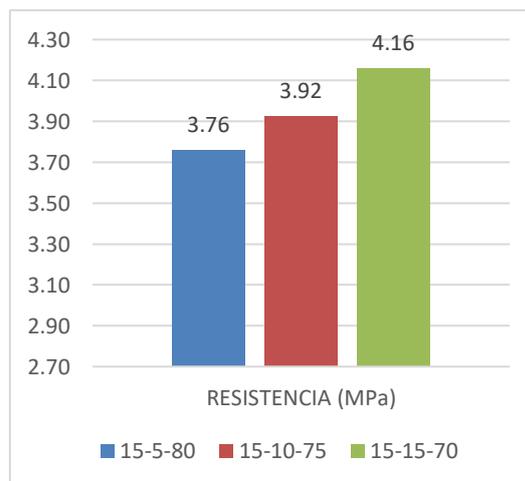
Elaborado por el equipo de trabajo

Del ensayo de resistencia a la compresión se resume, en el presente cuadro, los resultados promedios alcanzados para las 06 dosificaciones realizadas.

Se puede notar que las máximas resistencias alcanzadas a los 28 días con los suelos S-03 y S-06 con resistencia de 4.16 Mpa y 4.20 Mpa. presentando una variación del 1% de sus resistencias. Habiéndose utilizado 15% y 20% de cemento en su fabricación. Se puede notar entonces que la incidencia de cemento es casi nula.

Del mismo cuadro comparando el suelo S-04 S-05 y S-06 verificamos que sus resistencias promedio alcanzadas son de 3.85Mpa 3.97 Mpa y 4.20 Mpa esto para la misma cantidad de cemento, notándose que lo que varía es el estabilizante físico que es la arena en 5% 10% y 15% de su dosificación aumentando el 9% y 6% de su resistencia con respecto a la máxima alcanzada.

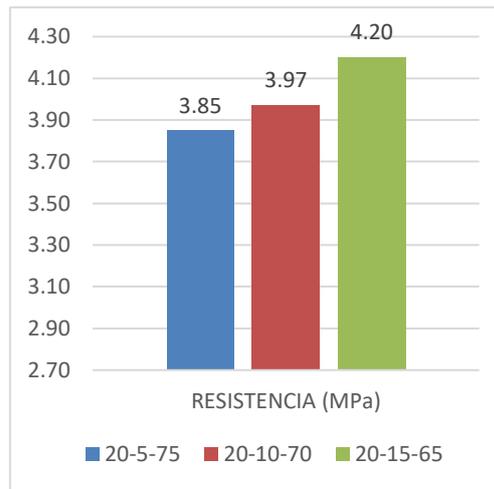
Figura 54 Resistencia a la compresión con 15% de cemento



Elaborado por equipo de trabajo

Del presente cuadro se muestra la variación de la resistencia a la compresión con un porcentaje del 15% de cemento, notándose que en función al aumento de estabilizante físico arena, sí se mejora la propiedad de resistencia a la compresión de los ladrillos de tierra comprimida.

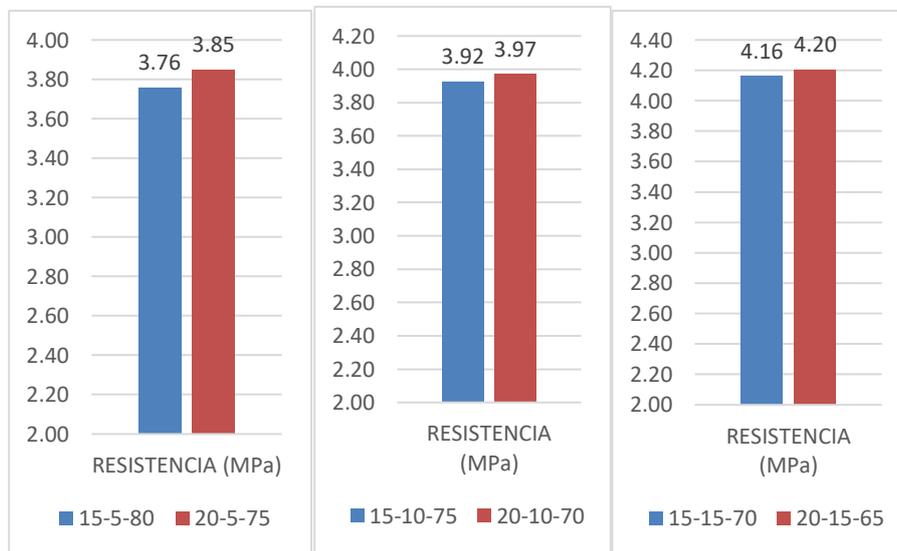
Figura 55 Resistencia a la compresión con 20% de cemento



Elaborado por equipo de trabajo

Análogamente en el cuadro anterior se muestra la variación de la resistencia a la compresión con un porcentaje del 20% de cemento, notándose que en función al aumento de estabilizante físico arena, sí se mejora la propiedad de resistencia a la compresión de los ladrillos de tierra comprimida.

Figura 56 Resistencia a la compresión según el porcentaje de arena



Elaborado por equipo de trabajo



En los presentes tres cuadros se compara la misma cantidad de estabilizante físico utilizado para diferentes proporciones de cemento, notándose que el aumento de la resistencia a la compresión de los ladrillos de tierra comprimida es mínimo, variando desde un 0.95% a un 2.33% de aumento.

Otro aspecto importante concierne sobre la resistencia a la compresión es la evaluación según la normas vigentes en Perú que para este caso es la norma E070 y norma E080, que nos da los parámetros mínimos de resistencia a la compresión para unidades de albañilería y adobe respectivamente, indicándonos que, para unidades de albañilería portantes la resistencia mínima requerida es de 50 Kg/cm² y para muros no portantes es de 20 Kg/cm², mientras que para trabajos con tierra es decir adobe es de 1.0 Mpa.

4.1.4. Correlación de Variables

Correlación según el porcentaje de cemento utilizado

Tabla 28 Resistencias a la compresión alcanzadas según porcentaje de cemento

% CEMENTO UTILIZADO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ALCANZADA (MPa)
15%	3.76
15%	3.92
15%	4.16
20%	3.85
20%	3.97
20%	4.20

Coefficiente de Correlación de Pearson 0.1899.

Elaborado por equipo de trabajo



Correlación según el porcentaje de arena utilizada

Tabla 29 Resistencias a la compresión alcanzada según porcentaje de arena

% ARENA UTILIZADA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ALCANZADA (MPa)
05%	3.76
10%	3.92
15%	4.16
05%	3.85
10%	3.97
15%	4.20

Coefficiente de Correlación de Pearson 0.9691.

Elaborado por equipo de trabajo

El Coeficiente de Correlación de Pearson se utiliza para estudiar la relación (o correlación) entre dos variables aleatorias cuantitativas (escala mínima de intervalo). Es una medida que nos da información acerca de la intensidad y la dirección de la relación. En otras palabras, se trata de un índice que mide el grado de covariación entre distintas variables relacionadas linealmente. El Coeficiente de Correlación de Pearson comprende valores entre el -1 y el +1. Así, dependiendo de su valor, tendrá un significado u otro. Si el Coeficiente de Correlación de Pearson es igual a 1 o a -1, podemos considerar que la correlación que existe entre las variables estudiadas es perfecta. Si el coeficiente es mayor que 0, la correlación es positiva (“A más, más, y a menos menos). En cambio, si es menor que 0 (negativo), la correlación es negativa (“A más, menos, y a menos, más). Finalmente, si el coeficiente es igual a 0, sólo podemos afirmar que no hay relación lineal entre las variables, pero puede haber algún otro tipo de relación.

4.2. Comparación y discusión de resultados según antecedentes

La resistencia a la compresión promedio máxima alcanzada en la presente investigación es de 4.20 Mpa, para lo cual se utilizó 20% de cemento 15% de arena y 65% de arcilla. La resistencia a la compresión promedio más cercana obtenida en la presente investigación es de 4.16 Mpa en la cual se utilizó 15% de cemento, 15% de arena y 70% de arcilla.

Tabla 30 Comparación de resultados según antecedentes.

AUTOR	RESISTENCIA ALCANZADA (Mpa)	PORCENTAJE ESTABILIZANTES UTILIZADOS	OBSERVACIÓN
Galíndez, 2007	4.31 Mpa (44 Kg/cm ²)	0% cemento 0% arena (BTC sin adición de cemento)	IP 15.81 y LL 26.3 (Arena Arcillosa SM)
Browne, 2009	2.0 Mpa	Sin estabilizantes	2.0 Mpa completamente aceptable para viviendas sociales
Rojas & Toche, 2014	9.75 Mpa (99.5 Kg/cm ²)	20% cemento 10% arena fina	Clasifica como ladrillo tipo III según norma E070
Calderón, 2013	10.07 Mpa (102.78 Kg/cm ²)	25% arena, 15% de cal.	Bloques de Gran Resistencia
Sturm, 2014	1.96 Mpa 3.06 Mpa	5% cemento 9% cemento	No incorpora arena
Sitati & Starovoytova, 2015	8.24 Mpa	12% cemento	No incorpora arena

Elaborado por equipo de trabajo



4.3. Análisis de Costo:

Al tener el recurso principal que es la arcilla en la ciudad de Puno, utilizada en ladrilleras artesanales, su obtención implica básicamente la extracción y traslado de la misma cotizándose en el mercado un volquete de 15 m³ de arcilla a S/ 200.00.

Se realizará el análisis de costo para las proporciones de 20% cemento 10% arena y 70% arcilla; además de 15% cemento 10% arena y 65% arcilla. La arena se cotizó con 60 soles/m³ y el cemento en S/ 22.50. El cemento utilizado para la dosificación de 20% es de 163 bolsas; de 15% se utiliza 114 bls.; también se evaluará para 10 % y 5% de cemento necesitándose 79 bls. y 37 bls. respectivamente. Con los datos técnicos de la investigación se calcula que para todo el material utilizado anteriormente se pueden fabricar un total de 10'500.00 ladrillos, esto incluye los desperdicios de materiales.

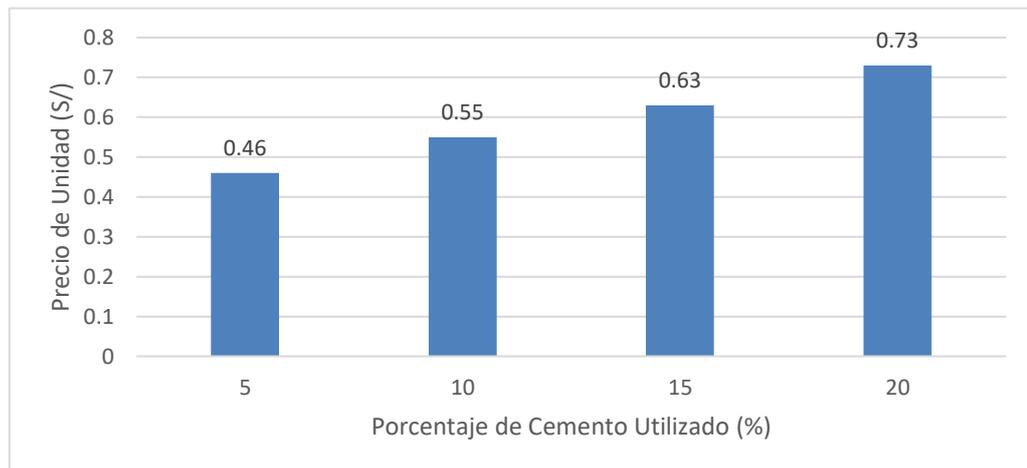
Para la mano de obra se tiene que el rendimiento de fabricación de ladrillos es de 1500 und/día según los fabricantes de la máquina de ladrillos comprimidos ecológicos, pero en la experiencia de la realización de estos ladrillos y conversando con operadores de la máquina estos trabajan con 03 personales encargados de los diferentes procesos mencionados en el capítulo de producción. Necesitándose de 08 a 09 días con los tres personales fabricando 1200 ladrillos por día aproximadamente en la práctica real, el cálculo de la mano de obra se estimó en 70 soles/día para cada personal. Para resumir lo anterior se presenta un análisis de costos unitarios para la fabricación de ladrillos ecológicos de tierra comprimida elaboración con arcillas de la ciudad de Puno.

Tabla 31 Análisis de costos unitarios según porcentaje de cemento utilizado

A.C.U. LADRILLO ECOLÓGICO MODULAR DE TIERRA COMPRIMIDA ELABORADO CON ARCILLA 20% CEMENTO						
RENDIMIENTO	und/día	1200				0.73
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PU S/	PARCIAL S/	
MANO DE OBRA						
PEÓN	hh	3.0	0.0200	8.75	0.175	
MATERIALES						
ARCILLA	m ³		0.00150	13.33	0.020	
ARENA	m ³		0.00027	60.00	0.016	
CEMENTO	BLS		0.01550	22.50	0.349	
EQUIPOS						
HERRAMIENTAS MANUALES						
	%MO		3.0000		0.005	
MÁQUINA FORZA	hm	1.00	0.0067	25.00	0.167	
A.C.U. LADRILLO ECOLÓGICO MODULAR DE TIERRA COMPRIMIDA ELABORADO CON ARCILLA 15% CEMENTO						
RENDIMIENTO	und/día	1200				0.63
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PU S/	PARCIAL S/	
MANO DE OBRA						
PEÓN	hh	3.0	0.0200	8.75	0.175	
MATERIALES						
ARCILLA	m ³		0.00150	13.33	0.020	
ARENA	m ³		0.00029	60.00	0.017	
CEMENTO	BLS		0.01085	22.50	0.244	
EQUIPOS						
HERRAMIENTAS MANUALES						
	%MO		3.0000		0.005	
MÁQUINA FORZA	hm	1.00	0.0067	25.00	0.167	
A.C.U. LADRILLO ECOLÓGICO MODULAR DE TIERRA COMPRIMIDA ELABORADO CON ARCILLA 10% CEMENTO						
RENDIMIENTO	und/día	1200				0.55
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PU S/	PARCIAL S/	
MANO DE OBRA						
PEÓN	hh	3.0	0.0200	8.75	0.175	
MATERIALES						
ARCILLA	m ³		0.00150	13.33	0.020	
ARENA	m ³		0.00030	60.00	0.018	
CEMENTO	BLS		0.00750	22.50	0.169	
EQUIPOS						
HERRAMIENTAS MANUALES						
	%MO		3.0000		0.005	
MÁQUINA FORZA	hm	1.00	0.0067	25.00	0.167	

A.C.U. LADRILLO ECOLÓGICO MODULAR DE TIERRA COMPRIMIDA ELABORADO CON ARCILLA 05% CEMENTO					
RENDIMIENTO	und/día	1200			0.46
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PU S/	PARCIAL S/
MANO DE OBRA					
PEÓN	hh	3.0	0.0200	8.75	0.175
MATERIALES					
ARCILLA	m ³		0.00150	13.33	0.020
ARENA	m ³		0.00032	60.00	0.019
CEMENTO	BLS		0.00350	22.50	0.079
EQUIPOS					
HERRAMIENTAS					
MANUALES	%MO		3.0000		0.005
MÁQUINA FORZA	hm	1.00	0.0067	25.00	0.167

Figura 57 Costos según porcentaje de cemento



Elaboración por equipo de trabajo

En el gráfico anterior se puede notar que uno de los principales insumos más incidentes en la fabricación de ladrillos de tierra comprimida es el estabilizante químico, es decir el cemento, por lo que se deberá optimizar su utilización, que para la presente investigación corresponde a un uso del 15% de cemento al haber evaluado sus propiedades mecánicas de los ladrillos modulares ecológicos de tierra comprimida.



4.4. Cumplimiento de Objetivos

Según Objetivo General

- Evaluar las propiedades mecánicas del ladrillo modular de tierra comprimida elaborado con arcillas utilizadas en ladrilleras artesanales de la ciudad de Puno, respecto la normativa vigente según RNE E070 y E080.

Se cumplió el presente objetivo, obteniendo resultados de resistencia a la compresión de las unidades de albañilería, mostradas desde la página 126 hasta la página 130 evaluándose hasta seis tipos de ladrillos según la proporción de cemento y arena utilizados para estabilizarse, todos estos mostrados también en el Anexo A. Se realizó, además el ensayo de flexotracción (Anexo J) a las unidades de albañilería, estos del mejor resultado obtenido en las pruebas de compresión simple y, finalmente se realizó el ensayo de compresión uniaxial en primas de albañilería estos también al mejor resultado obtenido de las pruebas de resistencia a la compresión de unidades del mismo. No se realizó la resistencia característica de la albañilería al corte ($V'm$) obtenida de ensayos de muretes a compresión diagonal, esta sería una prueba poco efectiva, ya que el sistema no presenta enlace horizontal debido a la utilización de junta seca por las interconexiones de los ladrillos modulares. Con estos resultados obtenidos se procedió a realizar la evaluación según los parámetros del RNE E070 y E080.

Según Objetivos Específicos

- Determinar y analizar la clasificación granulométrica de las arcillas utilizadas en la fabricación de ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, para así constatar si éstas cumplen con las recomendaciones y normas para la elaboración de ladrillos de tierra comprimida.

Se cumplió el presente objetivo específico, habiéndose realizado ensayos a la materia



prima utilizada para la fabricación de los ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida en este caso arcillas de la ciudad de Puno, Rinconada de Salcedo. Dichos resultados de los ensayos se muestran en los Anexos desde B hasta H.

- Establecer las propiedades mecánicas del ladrillo de tierra comprimida de acuerdo a los porcentajes de cemento y arena utilizados para la elaboración de éstos.

Se cumplió con el presente objetivo, estableciendo el grado influencia que se tiene al utilizar determinados porcentajes de cemento y arena en la estabilización de los ladrillos modulares de tierra comprimida, desarrollado en la Pag. 184 correlación de Variables.

- Determinar el costo de producción de los ladrillos modulares de tierra comprimida elaborados con arcillas utilizadas en la fabricación de ladrillos artesanales en la ciudad de Puno, en función a los porcentajes de cemento y arena utilizados en su fabricación.

Finalmente se determinó el costo de producción de los ladrillos modulares de tierra comprimida mediante un análisis de costos unitarios detallados desde la página 138 hasta la página 139, estos de acuerdo a la cantidad o porcentaje de cemento utilizado.



V. CONCLUSIONES

- En la evaluación de las propiedades mecánicas de los ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida elaborados con arcillas de la ciudad de Puno, se obtuvo una máxima resistencia a la compresión a los 28 días de 4.20Mpa estando este resultado por debajo del mínimo estipulado en la norma E070 para muros portantes, pero encima de lo requerido para su utilización para muros no portantes. Notándose también que de acuerdo a la norma E080 requiere una resistencia mínima de 1.0Mpa verificándose que sus propiedades de resistencia a la compresión son ampliamente mejores hasta en cuatro veces.
- El suelo utilizado como materia prima para la fabricación de ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida proveniente de La Rinconada de Salcedo en Puno, es un CL (Arcilla) clasificada como muy fino según los usos granulométricos de las normas utilizadas en la presente investigación. Además, el suelo mejorado con arena de la cantera de Cutimbo se ajusta al uso granulométrico según la norma UNE 41410:2008. Habiéndose realizado el ensayo de Próctor estándar para determinar la máxima densidad de compactación y contenido de humedad óptimo que resultó 1885 kg/cm³ y 14.5%, respectivamente.
- Las propiedades mecánicas de los ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida varían de acuerdo al porcentaje de estabilizante químico y físico utilizado, en el proceso de estabilización química se verificó que el aumento de cemento del 15% al 20% varía mínimamente la resistencia a la compresión lograda desde un 0.95% a un 2.33% como máximo. En cambio, esta resistencia a la compresión muestra un aumento de acuerdo a la cantidad de estabilizante físico que se añade utilizando arena de 5% a 15% aumentando la resistencia de 9.61% y 8.33% para 15% y 20% de cemento



respectivamente, notándose que tiene más influencia en las propiedades mecánicas el estabilizante físico que el químico. Esto también se evaluó según la correlación de variables, determinando un coeficiente de correlación de 0.19 para el porcentaje de estabilizante químico utilizado y 0.97 para el estabilizante físico, notándose que tiene más influencia en las propiedades mecánicas el estabilizante físico.

- El costo de fabricación de cada unidad oscila entre S/ 0.46 y S 0.73 variando la proporción de cemento utilizado de 05% a 20%, respectivamente; siendo este costo una alternativa para incentivar el uso de materiales económicos, ecosostenibles y resistentes en la construcción de viviendas sociales en la región de Puno.



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a futuros investigadores estudiar las propiedades de corte de la mampostería de junta seca mediante el ensayo de carga cíclica lateral con baja carga vertical. La compresión diagonal en muretes o compresión indirecta, sería una prueba poco efectiva, ya que el sistema no presenta enlace horizontal.
- Se recomienda a los productores de ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida, realicen un estudio técnico de la tierra a utilizarse, para así poder comprender su comportamiento, obtener su estudio granulométrico, su grado de compactación máxima y su contenido de humedad óptimo para garantizar la elaboración de ladrillos de calidad.
- Se recomienda a los productores de ladrillos artesanales que puedan innovar en el mercado de la ciudad de Puno, buscando la optimización de recursos para el ahorro en los costos en el uso de estabilizantes, es decir, cemento y arena, verificando además el uso granulométrico del suelo recomendado para la elaboración de ladrillos de tierra comprimida, pues existen suelos idóneos que no requieren ser estabilizados.
- Se recomienda que los productores de ladrillos modulares de tierra comprimida inviertan en máquinas mecánicas o automáticas específicas para la elaboración de estos, de acuerdo a la cantidad de producción que se propongan realizar.
- En cuanto al costo, también se recomienda a las instituciones y a la población de la región evaluar la utilización de los ladrillos ecológicos modulares de tierra comprimida como alternativa en reemplazo de las unidades de albañilería como adobes, los cuales se vienen utilizando en la construcción de casas calientes y otros proyectos en diferentes zonas de la región.



VII. REFERENCIAS.

- Alvarez Ordoñez, S. Y, (2018) *Comparación de las propiedades mecánicas de Unidades y prismas de bloques de tierra Comprimida estabilizada con cemento y Geopolímero de puzolana*. [Tesis para maestría, PUCP, Lima, Perú].
- Al-Sakkafl, Y. K. & Abdullah, G. M. S. (2021). Soil Properties for Earthen Building Construction in Najran City, Saudi Arabia. *Computers, Materials & Continua*. Vol. 67 (Nº.1), pp. 127-140. DOI: <https://doi.org/10.32604/cmc.2021.014438>
- Achoy Bustamante, L. A. (2012). *Estadística Descriptiva y Probabilidad*. Obtenido de Universidad de Occidente, Culiacan - México: <https://matematicasudeo.files.wordpress.com/2012/08/estadistica-descriptiva1.pdf>
- Anand & Ramamurthy (2005) *Development and evaluation of hollow concrete interlocking block masonry system.c*.
- Abanto Castillo, F. (1994). *Tecnología del concreto*. Lima-Perú: San Marcos.
- Cabo Laguna, M. (2011) *Ladrillo ecológico como material sostenible para la construcción*, Universidad Pública de Navarra, España.
- Chan, C.-M. & Low, L.-P., 2010. Development of a Strength Prediction Model for “Green” Compressed Stabilised Earthbricks. *Journal of Sustainable Development*, pp. 140-150.
- Cornejo Cueva, A. (2019) *Evaluación comparativa de las características físico – mecánicas de unidades de ladrillo tipo king kong de 18 huecos elaboradas en la ladrillera latesan con arcillas y arenas de las canteras de Piñipampa y San Jerónimo-Cusco según la norma E.070*.



- Calderon Peñafiel, J. C. (2013) *Tecnologías para la fabricación de bloques de tierra de gran resistencia*.
- Condori Apaza, M. (2013) *Impactos socioambientales por la fabricación de ladrillos en Huancayo*. Universidad Nacional de Centro, Huancayo, Perú.
- Cruz Ramirez, A. P. (2011). *Pruebas de Hipótesis para una muestra*. Extraído en diciembre del 2016, de Monografías.com: <http://www.monografias.com/trabajos30/prueba-de-hipotesis/prueba-de-hipotesis.shtml>
- De Sensi, B. (2003) *Terracruda, La Diffusione Dell'architettura Di Terra* (Soil, Dissemination of Earth Architecture).
- Echeverry Correa, J, y Jaramillo Valencia,C, (2017) *Elaboración de (btc) bloques de tierra comprimida con suelos derivados de cenizas volcánicas y materiales alternativos*. Universidad Libre Colombia.
- Estuardo M., G. A. (2012) *Edística y Probabilidades*. Santiago: Universidad católica de la santísima concepción.
- Harmesen T. E. (2002) *Diseño de estructuras de concreto armado*. Tercera Edición Fondo editorial PUCP.
- Galindez, F, (2007) *Bloques de tierra comprimida (BTC) sin adición de cemento*. Universidad Católica de Salta, Argentina.
- Gallegos, H. (2005) *Albañilería estructural. Perú*: Fondo editorial PUCP.
- Gatti, F. (2012). *Arquitectura y construcción en tierra. Estudio comparativo de las técnicas contemporánea en tierra*. [Tesis Fin de Master, Universidad Politécnica de Catalunya, España]. URI: <https://core.ac.uk/display/41807254> Online:



<https://core.ac.uk/download/pdf/41807254.pdf>

Heath, A., Lawrence, M., Walker, P. & Fourie, C., 2009. *The compressive strength of modern earth masonry*. s.l., s.n.

Hernandez, R. (2006). *Metodología de la investigación*. Mexico: McGraw-Hiill/Interamericana editores.

Houben, H. and Guillaud, H. (1994). *Earth Construction – A Comprehensive Guide*. ITDG Publishing, London, UK.

Bestraten Castells, S., Hormías Laperal, E., y Altemir Montaner, A. (2011). Construcción con tierra en el siglo XXI. *Informes de la Construcción*, Vol. 63 (Nº.523), pp. 5-20. DOI: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.10.046>

Browne, G. (2009). *Stabilised interlocking rammed earth blocks: alternatives to cement stabilisation*. s.l.:s.n.

Cid, J., Mazarrón, F. R. y Cañas, L. (2011). The earth building normative documents in the world. *Informes de la Construcción*, Vol. 63 (Nº.523), pp. 159–169. DOI: <https://doi.org/10.3989/ic.10.011>

Cid Falceto, J. J. (2012). *Durabilidad de los bloques de tierra comprimida. Evaluación y recomendaciones para la normalización de los ensayos de erosión y absorción*. [Tesis doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, España]. Online DC: <https://oa.upm.es/14647/>

Braja Das (2013) *Fundamentals of Geotechnical Engineering: Christopher M. Shortt, Global Engineering, 2013*

J. E. Bowles. (1981) *Manuel de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil*.

Cornejo Cueva, A. (2014) *Evaluación comparativa de las características físico – mecánicas de unidades de ladrillo tipo King Kong de 18 huecos elaborados en la ladrillera Latesan con arcillas y arenas de las canteras Piñipampa y San Jerónimo*



– *Cusco según la normativa E 070*. [Tesis, Universidad Andina del Cusco, Cusco, Perú].

INDECI, 2008. *INFORME DE EMERGENCIA N° 557 - 31/12/2008 / COEN-SINADECI*,
Lima: s.n.

Maini, S. (2015). *Earthen Architecture in the World*. *Auroville Earth Institute*.

Morel, J. & Pkla, A., 2002. A model to measure compressive strength of compressed earth blocks with the ‘3 points bending test’. *Construction and Building Materials 16*, pp. 303-310.

MTC (2016). *Manual de ensayo de materiales (EM 2000)*.

Neves & Borges Faria Gaviorno, S. (2016). *Curso taller de bioconstrucción y tecnologías apropiadas. Bioconstrucción, Formas y Patrones Naturales* [PDF]. Recuperado el 15 de enero de 2021 de <http://es.slideshare.net/SebastianGaviorno/apunte-n1-curso-bioconstrucc>

Norma Española UNE 41410:2008 *Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques Definiciones, Especificaciones y métodos de ensayo*, España.

Norma Técnica RNE 070 *Albañilería – Reglamento Nacional de Edificaciones*, Lima: El Peruano.

Norma Técnica RNE 080 *Diseño y Construcción con Tierra Reforzada – Reglamento Nacional de Edificaciones*, Lima: El Peruano.

Norma Técnica Peruana NTP 339.127 *Suelos. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo*.



- Norma Técnica Peruana NTP 339.129 *Suelos. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos.* Perú, p.27
- Norma Técnica Peruana NTP 339.131 *Suelos. Método para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo.*
- Norma Técnica Peruana NTP 339.142 *Suelos. Métodos de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía estándar (600 kN-m/m³ 12400 pie-lbf/pie³).*
- Norma Técnica Peruana NTP 399.604 *Unidades de Albañilería. Método de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto.*
- Norma Técnica Peruana NTP 399.605 *Unidades de Albañilería. Método de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería.*
- Norma Técnica Peruana NTP 399.613 *Unidades de Albañilería. Método de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería.*
- Norma Técnica Peruana NTP 400.012 *Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.*
- Padrón, J. y Ruiz, E. (2015) *Análisis del bloque de tierra comprimida como material alternativo y sostenible para la construcción.* [Tesis de grado Título Profesional, Universidad Rafael Urdaneta, Venezuela].
- Pasquel Carbajal, E. (1993), *Tópicos de tecnología del concreto en el Perú.* Libro 17 colección del ingeniero civil.
- PCA, P. C. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto* (Vol. Primera Edición).
- Quiroz Gonzales, M. (2015) *Análisis de las Propiedades Físico-Mecánica de las*



Unidades de Albañilería de Suelo Cemento Fabricadas con Arena de la Cantera de Vicho, Suelo de la Zona Ladrillera de San Jerónimo y Cemento Portland T IP.

Rivva Lopez, E. (2010). *Materiales para el concreto. 2da edición.* Instituto de la Construcción y Gerencia – ICG. Perú. 2010.

Rocha, M. (2017) *CEB Dossier.* Badajoz: CEDACTerra.

Rhodes, D. (1990) *Arcilla y vidriado para el ceramista.* España: Ediciones.

Rojas Vargas & Vidal Toche (2014), *Comportamiento Sísmico de un Módulo de dos Pisos Reforzado y Construido con Ladrillos Ecológicos Prensados.*

San Bartolomé (2005), *Comentarios a la norma técnica de edificación E.070 albañilería,* SENCICO.

San Bartolomé R. (1994). *Construcciones de Albañilería, Comportamiento Sísmico y Diseño Estructural.* Lima: Fondo Editorial PUCP. 1era edición.

SENCICO. (2017). *Norma E.080.* Diseño y construcción con tierra reforzada. Perú.

Silva, R. A. et al., 2014. Mechanical characterisation of dry-stack masonry made of CEBs stabilised with alkaline activation. *Construction and Building Materials*, pp. 349-358.

Sitati, S. & Starovoytova, D. (2015) *A model for testing compressive and flexural strength of sisal fibre reinforced compressed earth blocks in the absence of laboratory facilities.*

Sturm, T. (2014). *Experimental characterization of dry-stack interlocking compressed earth block masonry.* Braga: s.n.

Toirac, J. (2008) *El suelo como material de construcción.* *Ciencia y Sociedad*, XXXIII, pp. 519-571.

UNESCO (2013), *Earthen architecture in today's world.* Salle XI – Paris, Francia.

Valdez D. (1994). *Cerámicas y Refractarios* Editorial A&b S.A Lima-Perú Consejo nacional de ciencia y tecnología.



- Vega Castro, D. L. (2019). *Sistemas constructivos tradicionales ecológicos y el mimetismo en un entorno rural para un centro de desarrollo de agricultura familiar en Simbal - Trujillo*. [Tesis, Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú]. URI: <https://hdl.handle.net/11537/22119>
- Vitulas Quille, Y. T. y Reynoso Machaca, K. B. (2020). Construcción Ancestral y Concepción Mística de los Putucos del Altiplano Peruano. *Desarrollo e Innovación en Ingeniería. Instituto Antioqueño de Investigación*. Ed. Edgar Serna M. (5ta Ed.). Medellín, Vol. 5 (Nº.1), pp. 65-73 (Cap. 9). Colombia. DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.4031208>
- Vitulas Quille, Y. T. y Reynoso Machaca, K. B. (2013). *Etnoingeniería de los Putucos: El predominio de la Sabiduría Colla*. Editorial El Altiplano. Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Perú.
- Walker, P. (1999) *Bond characteristics of earth block masonry. Journal of materials in civil engineering*, pp. 249-256.
- Wheeler, G. (2005). *Manual of Construction Interlocking Compressed Earth Blocks*. Center for Vocational Building Technology. Volume II.
- Zapata C., T. (2007). *Efecto del cemento puzolánico IP y acelerante de fragua, en un concreto expuesto a clima híbrido en su resistencia final de diseño*. [Tesis, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú].

ANEXOS

ANEXO A:

ANEXO A-1: Ensayo a la compresión simple S-01.

<p style="text-align: center;">LABORATORIO DE GEOTECNIA MECÁNICA DE SUELOS, CONTROL DE CALIDAD, CONCRETO Y PAVIMENTOS</p> <p style="text-align: center;">CONSULTORES Y CONSTRUCTORES</p> <p style="text-align: center;">INGENIERIA DE GEOTECNIA, EJECUCIÓN DE OBRAS Y PROYECTOS LABORATORIO DE ENSAYOS, SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO</p>															
FORMATO ENSAYO A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA - NTP-399.604 -399-613															
SOLICITADO POR		BACH. RODRIGUEZ CALIZAYA, SAMUEL ALEXIS													
PROYECTO		"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LADRILLOS ECOLÓGICOS MODULARES DE TIERRA COMPRIMIDA ELABORADOS CON ARCILLAS DE LA CIUDAD DE PUNO".													
UBICACIÓN		LABORATORIO DE GEOTECNIA, MECÁNICA DE SUELOS, CONTROL DE CALIDAD CONCRETO Y PAVIMENTOS - INGEOPLESKA CONSULTORA Y CONSTRUCTORA													
MUESTRA		LADRILLO MODULAR DE TIERRA COMPRIMIDA 15% CEMENTO + 5% A.G. + 80% ARCILLA													
FECHA DE EMISIÓN		31 DE AGOSTO DEL 2020													
Nro. DE ENSAYO	DESCRIPCIÓN	FECHA DE MOLDE	FECHA DE ROTURA	EDAD (DIAS)	PESO (KG)	LARGO (CM)	ANCHO (CM)	ALTURA (CM)	ÁREA DE ALVEOLOS (CM2)	ÁREA (CM2)	LECTURA DEL DIAL (KG)	RESISTENCIA F _c =Kg/cm2	DISEÑO F _c =Kg/cm2	RESISTENCIA EN Mpa	% DE RESISTENCIA
1	15% CEMENTO PORTLAND + 5% AGREGADO GRUESO + 80% ARCILLA	31/07/2020	07/08/2020	7	4.44	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	3983	15.56	50	1.53	31.12
2	15% CEMENTO PORTLAND + 5% AGREGADO GRUESO + 80% ARCILLA	31/07/2020	07/08/2020	7	4.46	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	4602	17.98	50	1.76	35.96
3	15% CEMENTO PORTLAND + 5% AGREGADO GRUESO + 80% ARCILLA	31/07/2020	07/08/2020	7	4.45	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	4228	16.52	50	1.62	33.04
4	15% CEMENTO PORTLAND + 5% AGREGADO GRUESO + 80% ARCILLA	31/07/2020	07/08/2020	7	4.56	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	3921	15.32	50	1.50	30.64
5	15% CEMENTO PORTLAND + 5% AGREGADO GRUESO + 80% ARCILLA	31/07/2020	07/08/2020	7	4.48	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	4062	15.87	50	1.56	31.74
6	15% CEMENTO PORTLAND + 5% AGREGADO GRUESO + 80% ARCILLA	31/07/2020	14/08/2020	14	4.46	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	7044	27.52	50	2.70	55.04
7	15% CEMENTO PORTLAND + 5% AGREGADO GRUESO + 80% ARCILLA	31/07/2020	14/08/2020	14	4.56	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	6604	25.80	50	2.53	51.60
8	15% CEMENTO PORTLAND + 5% AGREGADO GRUESO + 80% ARCILLA	31/07/2020	14/08/2020	14	4.55	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	7379	28.83	50	2.83	57.66
9	15% CEMENTO PORTLAND + 5% AGREGADO GRUESO + 80% ARCILLA	31/07/2020	14/08/2020	14	4.48	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	6650	25.98	50	2.55	51.96
10	15% CEMENTO PORTLAND + 5% AGREGADO GRUESO + 80% ARCILLA	31/07/2020	14/08/2020	14	4.49	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	6913	27.01	50	2.65	54.02
11	15% CEMENTO PORTLAND + 5% AGREGADO GRUESO + 80% ARCILLA	31/07/2020	28/08/2020	28	4.56	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	10125	39.56	50	3.88	79.12
12	15% CEMENTO PORTLAND + 5% AGREGADO GRUESO + 80% ARCILLA	31/07/2020	28/08/2020	28	4.55	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	9406	36.75	50	3.60	73.50
13	15% CEMENTO PORTLAND + 5% AGREGADO GRUESO + 80% ARCILLA	31/07/2020	28/08/2020	28	4.48	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	10584	41.35	50	4.06	82.70
14	15% CEMENTO PORTLAND + 5% AGREGADO GRUESO + 80% ARCILLA	31/07/2020	28/08/2020	28	4.50	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	9143	35.72	50	3.50	71.44
15	15% CEMENTO PORTLAND + 5% AGREGADO GRUESO + 80% ARCILLA	31/07/2020	28/08/2020	28	4.55	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	9813	38.34	50	3.76	76.68

INGEOPLESKA SAC E.I.R.L.
"Victorio Ochoa"

ING. JULIO ESCOBEDO ARIZACA
CIP/905958
ESPECIALISTA EN SUELOS Y PAVIMENTOS
GEOTECNIA



ANEXO A-2: Ensayo a la compresión simple S-02.



CONSULTORES Y CONSTRUCTORES

INGENIERIA DE GEOTECNIA, EJECUCIÓN DE OBRAS Y PROYECTOS
LABORATORIO DE ENSAYOS, SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

LABORATORIO DE
GEOTECNIA
MECÁNICA DE SUELOS,
CONTROL DE CALIDAD,
CONCRETO Y PAVIMENTOS

FORMATO ENSAYO A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA - NTP-399.604 -399-613

SOLICITADO POR	: BACH. RODRIGUEZ CALIZAYA, SAMUEL ALEXIS
PROYECTO	: "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LADRILLOS ECOLÓGICOS MODULARES DE TIERRA COMPRIMIDA ELABORADOS CON ARCILLAS DE LA CIUDAD DE PUNO".
UBICACIÓN	: LABORATORIO DE GEOTECNIA, MECÁNICA DE SUELOS, CONTROL DE CALIDAD CONCRETO Y PAVIMENTOS - INGEOPLESACA CONSULTORA Y CONSTRUCTORA
MUESTRA	: LADRILLO MODULAR DE TIERRA COMPRIMIDA 15% CEMENTO + 10% A.G. + 75% ARCILLA
FECHA DE EMISIÓN	: 31 DE AGOSTO DEL 2020

Nro. DE ENSAYO	DESCRIPCIÓN	FECHA DE MOLDE	FECHA DE ROTURA	EDAD (DÍAS)	PESO (KG)	LARGO (CM)	ANCHO (CM)	ALTURA (CM)	ÁREA DE ALVEOLOS (CM ²)	LECTURA DEL DIAL (KG)	RESISTENCIA F _c =KG/cm ²	DISEÑO F _c =KG/cm ²	RESISTENCIA EN Mpa	% DE RESISTENCIA
1	15% CEMENTO PORTLAND + 10% AGREGADO GRUESO + 75% ARCILLA	31/07/2020	07/08/2020	7	4.45	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	16.31	50	1.60	32.62
2	15% CEMENTO PORTLAND + 10% AGREGADO GRUESO + 75% ARCILLA	31/07/2020	07/08/2020	7	4.47	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	15.87	50	1.56	31.74
3	15% CEMENTO PORTLAND + 10% AGREGADO GRUESO + 75% ARCILLA	31/07/2020	07/08/2020	7	4.46	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	15.98	50	1.57	31.96
4	15% CEMENTO PORTLAND + 10% AGREGADO GRUESO + 75% ARCILLA	31/07/2020	07/08/2020	7	4.57	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	17.87	50	1.75	35.74
5	15% CEMENTO PORTLAND + 10% AGREGADO GRUESO + 75% ARCILLA	31/07/2020	07/08/2020	7	4.49	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	17.56	50	1.72	35.12
6	15% CEMENTO PORTLAND + 10% AGREGADO GRUESO + 75% ARCILLA	31/07/2020	14/08/2020	14	4.47	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	29.56	50	2.90	59.12
7	15% CEMENTO PORTLAND + 10% AGREGADO GRUESO + 75% ARCILLA	31/07/2020	14/08/2020	14	4.57	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	26.85	50	2.63	53.70
8	15% CEMENTO PORTLAND + 10% AGREGADO GRUESO + 75% ARCILLA	31/07/2020	14/08/2020	14	4.56	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	27.48	50	2.69	54.96
9	15% CEMENTO PORTLAND + 10% AGREGADO GRUESO + 75% ARCILLA	31/07/2020	14/08/2020	14	4.49	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	7034	50	2.73	55.68
10	15% CEMENTO PORTLAND + 10% AGREGADO GRUESO + 75% ARCILLA	31/07/2020	14/08/2020	14	4.50	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	7126	50	2.66	54.24
11	15% CEMENTO PORTLAND + 10% AGREGADO GRUESO + 75% ARCILLA	31/07/2020	28/08/2020	28	4.57	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	6941	50	3.88	79.08
12	15% CEMENTO PORTLAND + 10% AGREGADO GRUESO + 75% ARCILLA	31/07/2020	28/08/2020	28	4.56	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	10120	50	3.91	79.74
13	15% CEMENTO PORTLAND + 10% AGREGADO GRUESO + 75% ARCILLA	31/07/2020	28/08/2020	28	4.49	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	10205	50	4.05	82.64
14	15% CEMENTO PORTLAND + 10% AGREGADO GRUESO + 75% ARCILLA	31/07/2020	28/08/2020	28	4.51	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	10576	50	3.89	79.28
15	15% CEMENTO PORTLAND + 10% AGREGADO GRUESO + 75% ARCILLA	31/07/2020	28/08/2020	28	4.56	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	10177	50	3.90	79.48

INGEOPLESCA S.A. E.I.R.L.
Victor Hugo Rumbaut
GERENTE GENERAL

ING. JULIO ESCOBEDO ARIZACA
C.I.P. 90558
EPECIALISTA SUELOS Y PAVIMENTOS
GEOTECNIA



ANEXO A-3: Ensayo a la compresión simple S-03.

LABORATORIO DE GEOTECNIA
MECÁNICA DE SUELOS,
CONTROL DE CALIDAD DE
CONCRETO Y PAVIMENTOS

CONSULTORES Y CONSTRUCTORES

INGENIERIA DE GEOTECNIA, EJECUCIÓN DE OBRAS Y PROYECTOS
LABORATORIO DE ENSAYOS, SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

FORMATO ENSAYO A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA - NTP-399.604 -399-613

SOLICITADO POR	: BACH. RODRIGUEZ CALIZAYA, SAMUEL ALEXIS
PROYECTO	: 'EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LADRILLOS ECOLÓGICOS MODULARES DE TIERRA COMPRIMIDA ELABORADOS CON ARCILLAS DE LA CIUDAD DE PUÑO.'
UBICACIÓN	: LABORATORIO DE GEOTECNIA, MECÁNICA DE SUELOS, CONTROL DE CALIDAD DE CONCRETO Y PAVIMENTOS - INGEOPLESCA
MUESTRA	: LADRILLO MODULAR DE TIERRA COMPRIMIDA 15% CEMENTO + 15% A.G. + 70% ARCILLA
FECHA DE EMISIÓN	: 31 DE AGOSTO DEL 2020

Nro. DE ENSAYO	DESCRIPCIÓN	FECHA DE MOLDE	FECHA DE ROTURA	EDAD (DÍAS)	PESO (KG)	LARGO (CM)	ANCHO (CM)	ALTURA (CM)	ÁREA DE ALVEOLOS (CM2)	ÁREA (CM2)	LECTURA DEL DIAL (KG)	RESISTENCIA f'c=Kg/cm2	DISEÑO f'c=Kg/cm2	RESISTENCIA EN Mpa	% DE RESISTENCIA
1	15% CEMENTO PORTLAND + 15% AGREGADO GRUESO + 70% ARCILLA	31/07/2020	07/08/2020	7	4.46	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	4489	17.54	50	1.72	35.08
2	15% CEMENTO PORTLAND + 15% AGREGADO GRUESO + 70% ARCILLA	31/07/2020	07/08/2020	7	4.48	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	4177	16.32	50	1.60	32.64
3	15% CEMENTO PORTLAND + 15% AGREGADO GRUESO + 70% ARCILLA	31/07/2020	07/08/2020	7	4.45	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	4262	16.65	50	1.63	33.30
4	15% CEMENTO PORTLAND + 15% AGREGADO GRUESO + 70% ARCILLA	31/07/2020	07/08/2020	7	4.75	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	4574	17.87	50	1.75	35.74
5	15% CEMENTO PORTLAND + 15% AGREGADO GRUESO + 70% ARCILLA	31/07/2020	07/08/2020	7	4.79	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	4500	17.58	50	1.72	35.16
6	15% CEMENTO PORTLAND + 15% AGREGADO GRUESO + 70% ARCILLA	31/07/2020	14/08/2020	14	4.62	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	7999	31.25	50	3.06	62.50
7	15% CEMENTO PORTLAND + 15% AGREGADO GRUESO + 70% ARCILLA	31/07/2020	14/08/2020	14	4.50	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	8329	32.54	50	3.19	65.08
8	15% CEMENTO PORTLAND + 15% AGREGADO GRUESO + 70% ARCILLA	31/07/2020	14/08/2020	14	4.51	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	9063	35.41	50	3.47	70.82
9	15% CEMENTO PORTLAND + 15% AGREGADO GRUESO + 70% ARCILLA	31/07/2020	14/08/2020	14	4.75	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	7645	29.87	50	2.93	59.74
10	15% CEMENTO PORTLAND + 15% AGREGADO GRUESO + 70% ARCILLA	31/07/2020	14/08/2020	14	4.66	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	8318	32.50	50	3.19	65.00
11	15% CEMENTO PORTLAND + 15% AGREGADO GRUESO + 70% ARCILLA	31/07/2020	28/08/2020	28	4.61	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	10637	41.56	50	4.08	83.12
12	15% CEMENTO PORTLAND + 15% AGREGADO GRUESO + 70% ARCILLA	31/07/2020	28/08/2020	28	4.58	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	10381	40.56	50	3.98	81.12
13	15% CEMENTO PORTLAND + 15% AGREGADO GRUESO + 70% ARCILLA	31/07/2020	28/08/2020	28	4.45	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	11154	43.58	50	4.27	87.16
14	15% CEMENTO PORTLAND + 15% AGREGADO GRUESO + 70% ARCILLA	31/07/2020	28/08/2020	28	4.48	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	10939	42.74	50	4.19	85.48
15	15% CEMENTO PORTLAND + 15% AGREGADO GRUESO + 70% ARCILLA	31/07/2020	28/08/2020	28	4.52	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	11183	43.69	50	4.28	87.38

INGEOPLESCA S.A.C.
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
GERENCIA GENERAL
EJECUTIVO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
GEOTECNIA

ANEXO A-4: Ensayo a la compresión simple S-04.



CONSULTORES Y CONSTRUCTORES

INGENIERIA DE GEOTECNIA, EJECUCIÓN DE OBRAS Y PROYECTOS
LABORATORIO DE ENSAYOS, SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

LABORATORIO DE
GEOTECNIA
MECÁNICA DE SUELOS,
CONTROL DE
CALIDAD, CONCRETO Y
PAVIMENTOS

FORMATO ENSAYO A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA - NTP-399.604 -399-613

SOLICITADO POR	:	BACH. RODRIGUEZ CALIZAYA, SAMUEL ALEXIS
PROYECTO	:	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LADRILLOS ECOLÓGICOS MODULARES DE TIERRA COMPRIMIDA ELABORADOS CON ARCILLAS DE LA CIUDAD DE PUÑO"
UBICACIÓN	:	LABORATORIO DE GEOTECNIA, MECÁNICA DE SUELOS, CONTROL DE CALIDAD CONCRETO Y PAVIMENTOS - INGEOPLESKA CONSULTORA Y CONSTRUCTORA
MUESTRA	:	LADRILLO MODULAR DE TIERRA COMPRIMIDA 20% CEMENTO + 5% A.G. + 75% ARCILLA
FECHA DE EMISIÓN	:	31 DE AGOSTO DEL 2020

Nro. DE ENSAYO	DESCRIPCIÓN	FECHA DE MOLDE	FECHA DE ROTURA	EDAD (DIAS)	PESO (KG)	LARGO (CM)	ANCHO (CM)	ALTURA (CM)	ÁREA DE ALVEOLOS (CM2)	LECTURA DEL DIAL (KG)	RESISTENCIA $f_c=kg/cm^2$	DISEÑO $f_c=kg/cm^2$	RESISTENCIA EN Mpa	% DE RESISTENCIA
1	20% CEMENTO PORTLAND + 5% AGREGADO GRUESO + 75% ARCILLA	01/08/2020	08/08/2020	7	4.47	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	15.96	50	1.57	31.92
2	20% CEMENTO PORTLAND + 5% AGREGADO GRUESO + 75% ARCILLA	01/08/2020	08/08/2020	7	4.49	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	16.58	50	1.63	33.16
3	20% CEMENTO PORTLAND + 5% AGREGADO GRUESO + 75% ARCILLA	01/08/2020	08/08/2020	7	4.46	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	16.63	50	1.63	33.26
4	20% CEMENTO PORTLAND + 5% AGREGADO GRUESO + 75% ARCILLA	01/08/2020	08/08/2020	7	4.76	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	17.21	50	1.69	34.42
5	20% CEMENTO PORTLAND + 5% AGREGADO GRUESO + 75% ARCILLA	01/08/2020	08/08/2020	7	4.80	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	16.52	50	1.62	33.04
6	20% CEMENTO PORTLAND + 5% AGREGADO GRUESO + 75% ARCILLA	01/08/2020	15/08/2020	14	4.63	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	26.54	50	2.60	53.08
7	20% CEMENTO PORTLAND + 5% AGREGADO GRUESO + 75% ARCILLA	01/08/2020	15/08/2020	14	4.51	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	28.63	50	2.81	57.26
8	20% CEMENTO PORTLAND + 5% AGREGADO GRUESO + 75% ARCILLA	01/08/2020	15/08/2020	14	4.52	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	29.70	50	2.91	59.40
9	20% CEMENTO PORTLAND + 5% AGREGADO GRUESO + 75% ARCILLA	01/08/2020	15/08/2020	14	4.76	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	24.56	50	2.41	49.12
10	20% CEMENTO PORTLAND + 5% AGREGADO GRUESO + 75% ARCILLA	01/08/2020	15/08/2020	14	4.67	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	25.71	50	2.52	51.42
11	20% CEMENTO PORTLAND + 5% AGREGADO GRUESO + 75% ARCILLA	01/08/2020	29/08/2020	28	4.62	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	38.78	50	3.80	77.56
12	20% CEMENTO PORTLAND + 5% AGREGADO GRUESO + 75% ARCILLA	01/08/2020	29/08/2020	28	4.59	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	39.81	50	3.90	79.62
13	20% CEMENTO PORTLAND + 5% AGREGADO GRUESO + 75% ARCILLA	01/08/2020	29/08/2020	28	4.46	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	39.54	50	3.88	79.08
14	20% CEMENTO PORTLAND + 5% AGREGADO GRUESO + 75% ARCILLA	01/08/2020	29/08/2020	28	4.49	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	38.47	50	3.77	76.94
15	20% CEMENTO PORTLAND + 5% AGREGADO GRUESO + 75% ARCILLA	01/08/2020	29/08/2020	28	4.53	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	39.61	50	3.88	79.22



ANEXO A-5: Ensayo a la compresión simple S-05.

LABORATORIO DE GEOTECNIA
MECANICA DE SUELOS,
CONTROL DE CALIDAD, CONCRETO Y PAVIMENTOS

CONSULTORES Y CONSTRUCTORES

INGENIERIA DE GEOTECNIA, EJECUCION DE OBRAS Y PROYECTOS
LABORATORIO DE ENSAYOS, SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

FORMATO ENSAYO A LA COMPRESION SIMPLE DE UNIDADES DE ALBAÑILERIA - NTP-399.604 -399-613

SOLICITADO POR	:	BACH. RODRIGUEZ CALIZAYA, SAMUEL ALEXIS
PROYECTO	:	"EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LADRILLOS ECOLOGICOS MODULARES DE TIERRA COMPRIMIDA ELABORADOS CON ARCILLAS DE LA CIUDAD DE PUNO"
UBICACION	:	LABORATORIO DE GEOTECNIA, MECANICA DE SUELOS, CONTROL DE CALIDAD CONCRETO Y PAVIMENTOS - INGEOPLESCA CONSULTORA Y CONSTRUCTORA
MUESTRA	:	LADRILLO MODULAR DE TIERRA COMPRIMIDA 20% CEMENTO + 10% A.G. + 70% ARCILLA
FECHA DE EMISION	:	31 DE AGOSTO DEL 2020

Nro. DE ENSAYO	DESCRIPCION	FECHA DE MOLDE	FECHA DE ROTURA	EDAD (DIAS)	PESO (KG)	LARGO (CM)	ANCHO (CM)	ALTURA (CM)	AREA DE ALVEOLOS (CM2)	AREA (CM2)	LECTURA DEL DIAL (KG)	RESISTENCIA f _c =kg/cm ²	DISEÑO f _c =kg/cm ²	RESISTENCIA EN Mpa	% DE RESISTENCIA
1	20% CEMENTO PORTLAND + 10% AGREGADO GRUESO + 70% ARCILLA	31/07/2020	07/08/2020	7	4.45	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	3919	15.31	50	1.50	30.62
2	20% CEMENTO PORTLAND + 10% AGREGADO GRUESO + 70% ARCILLA	31/07/2020	07/08/2020	7	4.47	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	4141	16.18	50	1.59	32.36
3	20% CEMENTO PORTLAND + 10% AGREGADO GRUESO + 70% ARCILLA	31/07/2020	07/08/2020	7	4.44	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	4500	17.58	50	1.72	35.16
4	20% CEMENTO PORTLAND + 10% AGREGADO GRUESO + 70% ARCILLA	31/07/2020	07/08/2020	7	4.74	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	4013	15.68	50	1.54	31.36
5	20% CEMENTO PORTLAND + 10% AGREGADO GRUESO + 70% ARCILLA	31/07/2020	07/08/2020	7	4.78	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	4699	18.36	50	1.80	36.72
6	20% CEMENTO PORTLAND + 10% AGREGADO GRUESO + 70% ARCILLA	31/07/2020	14/08/2020	14	4.61	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	7794	30.45	50	2.99	60.90
7	20% CEMENTO PORTLAND + 10% AGREGADO GRUESO + 70% ARCILLA	31/07/2020	14/08/2020	14	4.49	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	7126	27.84	50	2.73	55.68
8	20% CEMENTO PORTLAND + 10% AGREGADO GRUESO + 70% ARCILLA	31/07/2020	14/08/2020	14	4.50	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	6826	26.67	50	2.62	53.34
9	20% CEMENTO PORTLAND + 10% AGREGADO GRUESO + 70% ARCILLA	31/07/2020	14/08/2020	14	4.74	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	7343	28.69	50	2.81	57.38
10	20% CEMENTO PORTLAND + 10% AGREGADO GRUESO + 70% ARCILLA	31/07/2020	14/08/2020	14	4.65	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	7425	29.01	50	2.84	58.02
11	20% CEMENTO PORTLAND + 10% AGREGADO GRUESO + 70% ARCILLA	31/07/2020	28/08/2020	28	4.60	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	10381	40.56	50	3.98	81.12
12	20% CEMENTO PORTLAND + 10% AGREGADO GRUESO + 70% ARCILLA	31/07/2020	28/08/2020	28	4.57	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	10566	41.28	50	4.05	82.56
13	20% CEMENTO PORTLAND + 10% AGREGADO GRUESO + 70% ARCILLA	31/07/2020	28/08/2020	28	4.44	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	9977	38.98	50	3.82	77.96
14	20% CEMENTO PORTLAND + 10% AGREGADO GRUESO + 70% ARCILLA	31/07/2020	28/08/2020	28	4.47	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	10627	41.52	50	4.07	83.04
15	20% CEMENTO PORTLAND + 10% AGREGADO GRUESO + 70% ARCILLA	31/07/2020	28/08/2020	28	4.51	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	10261	40.09	50	3.93	80.18

INGEOPLESCA S.A. S.R.L.
Victor Hugo Riquelme Huipul
Gerente General

INGEOPLESCA S.A. S.R.L.
Ing. JOSÉ COBEDO ARIZACA
C.I.F. 90558
EFECTUACIÓN DE ENSAYOS Y PAVIMENTOS
GEOTECNIA

ANEXO A-6: Ensayo a la compresión simple S-06.

LABORATORIO DE
GEOTECNIA
MECANICA DE SUELOS,
CONTROL DE
CALIDAD, CONCRETO Y
PAVIMENTOS

CONSULTORES Y CONSTRUCTORES

INGENIERIA DE GEOTECNIA - EJECUCION DE OBRAS Y PROYECTOS

LABORATORIO DE ENSAYOS, SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

FORMATO ENSAYO A LA COMPRESION SIMPLE DE UNIDADES DE ALBAÑILERIA - NTP-399.604 -399-613

SOLICITADO POR	:	BACH, RODRIGUEZ CALIZAYA, SAMUEL ALEXIS
PROYECTO	:	"EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LADRILLOS ECOLOGICOS MODULARES DE TIERRA COMPRIMIDA ELABORADOS CON ARCILLAS DE LA CIUDAD DE PUÑO"
UBICACION	:	LABORATORIO DE GEOTECNIA, MECANICA DE SUELOS, CONTROL DE CALIDAD CONCRETO Y PAVIMENTOS - INGEOPLESCA CONSULTORA Y CONSTRUCTORA
MUESTRA	:	LADRILLO MODULAR DE TIERRA COMPRIMIDA 20% CEMENTO + 15% A.G. + 65% ARCILLA
FECHA DE EMISION	:	30 DE AGOSTO DEL 2020

Nro. DE ENSAYO	DESCRIPCION	FECHA DE MOLDE	FECHA DE ROTURA	EDAD (DIAS)	PESO (KG)	LARGO (CM)	ANCHO (CM)	ALTURA (CM)	AREA DE ALVEOLOS (CM2)	AREA (CM2)	LECTURA DEL DIAL (KG)	RESISTENCIA Fc=kg/cm2	DISEÑO Fc=kg/cm2	RESISTENCIA EN Mpa	% DE RESISTENCIA
1	20% CEMENTO PORTLAND + 15% AGREGADO GRUESO + 65% ARCILLA	31/07/2020	07/08/2020	7	4.43	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	4740	18.52	50	1.82	37.04
2	20% CEMENTO PORTLAND + 15% AGREGADO GRUESO + 65% ARCILLA	31/07/2020	07/08/2020	7	4.45	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	4338	16.95	50	1.66	33.90
3	20% CEMENTO PORTLAND + 15% AGREGADO GRUESO + 65% ARCILLA	31/07/2020	07/08/2020	7	4.44	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	4484	17.52	50	1.72	35.04
4	20% CEMENTO PORTLAND + 15% AGREGADO GRUESO + 65% ARCILLA	31/07/2020	07/08/2020	7	4.55	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	4331	16.92	50	1.66	33.84
5	20% CEMENTO PORTLAND + 15% AGREGADO GRUESO + 65% ARCILLA	31/07/2020	07/08/2020	7	4.47	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	4612	18.02	50	1.77	36.04
6	20% CEMENTO PORTLAND + 15% AGREGADO GRUESO + 65% ARCILLA	31/07/2020	14/08/2020	14	4.45	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	9025	35.26	50	3.46	70.52
7	20% CEMENTO PORTLAND + 15% AGREGADO GRUESO + 65% ARCILLA	31/07/2020	14/08/2020	14	4.55	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	8500	33.21	50	3.26	66.42
8	20% CEMENTO PORTLAND + 15% AGREGADO GRUESO + 65% ARCILLA	31/07/2020	14/08/2020	14	4.54	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	7794	30.45	50	2.99	60.90
9	20% CEMENTO PORTLAND + 15% AGREGADO GRUESO + 65% ARCILLA	31/07/2020	14/08/2020	14	4.47	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	8142	31.81	50	3.12	63.62
10	20% CEMENTO PORTLAND + 15% AGREGADO GRUESO + 65% ARCILLA	31/07/2020	14/08/2020	14	4.48	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	7927	30.97	50	3.04	61.94
11	20% CEMENTO PORTLAND + 15% AGREGADO GRUESO + 65% ARCILLA	31/07/2020	28/08/2020	28	4.55	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	10842	42.36	50	4.15	84.72
12	20% CEMENTO PORTLAND + 15% AGREGADO GRUESO + 65% ARCILLA	31/07/2020	28/08/2020	28	4.54	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	11139	43.52	50	4.27	87.04
13	20% CEMENTO PORTLAND + 15% AGREGADO GRUESO + 65% ARCILLA	31/07/2020	28/08/2020	28	4.47	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	10730	41.92	50	4.11	83.84
14	20% CEMENTO PORTLAND + 15% AGREGADO GRUESO + 65% ARCILLA	31/07/2020	28/08/2020	28	4.49	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	10717	41.87	50	4.11	83.74
15	20% CEMENTO PORTLAND + 15% AGREGADO GRUESO + 65% ARCILLA	31/07/2020	28/08/2020	28	4.54	25.00	12.50	8.00	56.548	255.95	11405	44.56	50	4.37	89.12

INGEOPLESCA S.A. S.R.L.
VIA ALTIPLANO 1000
PUÑO - PERU
TEL: 051 973 90558
WWW.INGEOPLESCA.COM

Ing. JULIO ESCOBEDO ARIZACA
CIP: 90558
ESPECIALISTA EN SUELOS Y PAVIMENTOS
GEOTECNIA



ANEXO B: CONTENIDO DE HUMEDAD.



CONSULTORES Y CONSTRUCTORES
INGENIERIA DE GEOTECNIA, EJECUCIÓN DE OBRAS Y PROYECTOS
LABORATORIO DE ENSAYOS, SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

LABORATORIO DE GEOTECNIA
MECÁNICA DE SUELOS, CONTROL DE CALIDAD, CONCRETO Y PAVIMENTOS

FORMATO CONTENIDO DE HUMEDAD - NTP-339.127

SOLICITANTE	: BACH. SAMUEL ALEXIS RODRIGUEZ CALIZAYA
PROYECTO	: "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LADRILLOS ECOLÓGICOS MODULARES DE TIERRA COMPRIMIDA ELABORADOS CON ARCILLAS DE LA CIUDAD DE PUNO"
UBICACIÓN	: RINCONADA SALCEDO - PUNO - PUNO
MUESTRA	: SUELO BASE CANTERA RINCONADA SALCEDO PUNO
FECHA	: 30/07/2020

SUELO BASE CANTERA RINCONADA SALCEDO PUNO

Nro. De Tara	A-2	A-4	A-11
Peso de Tara	16.92	18.65	20.41
Peso de Tara + M. Humeda	125.87	140.65	136.76
Peso de Tara + M. Seca	112.45	128.90	125.52
Peso de Agua	13.42	11.75	11.24
Peso Muestra Seca	95.53	110.25	105.11
Contenido de humedad W%	14.05	10.66	10.69
Promedio Cont. Humedad W%	11.80		



Ing. JULIO ESCOBEDO ARIZACA
CIP. 90558
ESPECIALISTA EN SUELOS Y PAVIMENTOS
GEOTECNIA

INGEOPLESKA C & C E.I.R.L.
Victoria Leizaola Humarán
GERENTE GENERAL



ANEXO C: ENSAYO LÍMITES DE CONSISTENCIA.



CONSULTORES Y CONSTRUCTORES

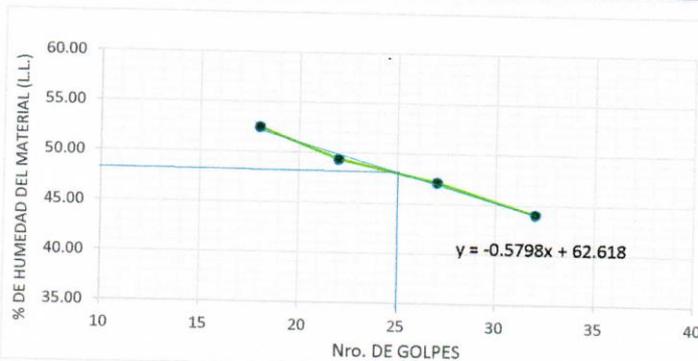
INGENIERIA DE GEOTECNIA, EJECUCIÓN DE OBRAS Y PROYECTOS
LABORATORIO DE ENSAYOS, SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

LABORATORIO DE GEOTECNIA
MECÁNICA DE SUELOS, CONTROL DE CALIDAD, CONCRETO Y PAVIMENTOS

FORMATO LIMITES DE CONSISTENCIA - NTP-339.129	
SOLICITANTE	: BACH. SAMUEL ALEXIS RODRIGUEZ CALIZAYA
PROYECTO	: "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LADRILLOS ECOLÓGICOS MODULARES DE TIERRA COMPRIMIDA ELABORADOS CON ARCILLAS DE LA CIUDAD DE PUNO"
UBICACIÓN	: RINCONADA SALCEDO - PUNO - PUNO
MUESTRA	: SUELO BASE CANTERA RINCONADA SALCEDO PUNO
FECHA	: 30/07/2020

LIMITES DE CONSISTENCIA

TARA	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO				
	1	6	2	4	7	3	5		
Nro. DE GOLPES	18	22	27	32	---	---	---	I	26.42
PESO TARA	23.55	24.23	24.15	24.62	25.14	24.2	25.03	II	26.67
PESO TARA + SUELO HUMEDO (gr)	36.16	36.91	36.79	36.81	28.25	27.62	28.04	III	26.47
PESO TARA + MUESTRA SECA (gr)	31.82	32.72	32.74	33.08	27.60	26.90	27.41	=	26.52
PESO DEL AGUA	4.34	4.19	4.05	3.73	0.65	0.72	0.63		
PESO SUELO SECO	8.27	8.49	8.59	8.46	2.46	2.7	2.38		
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	52.48	49.35	47.15	44.09	26.42	26.67	26.47		



L.L.:	48.12
L.P.:	26.52
I.P.:	21.60



 Ing. JULIO ESCOBEDO ARIZACA
CIP. 90558
ESPECIALISTA EN SUELOS Y PAVIMENTOS
GEOTECNIA

INGEOPLESCA C&C E.I.R.L.

Victoria Loupes Parr Humpiri
DNI 4731014
GERENTE GENERAL



ANEXO D: ENSAYO GRANULOMETRÍA ARCILLA.



CONSULTORES Y CONSTRUCTORES

INGENIERIA DE GEOTECNIA, EJECUCIÓN DE OBRAS Y PROYECTOS
LABORATORIO DE ENSAYOS, SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

LABORATORIO DE GEOTECNIA
MECÁNICA DE SUELOS, CONTROL DE
CALIDAD, CONCRETO Y PAVIMENTOS

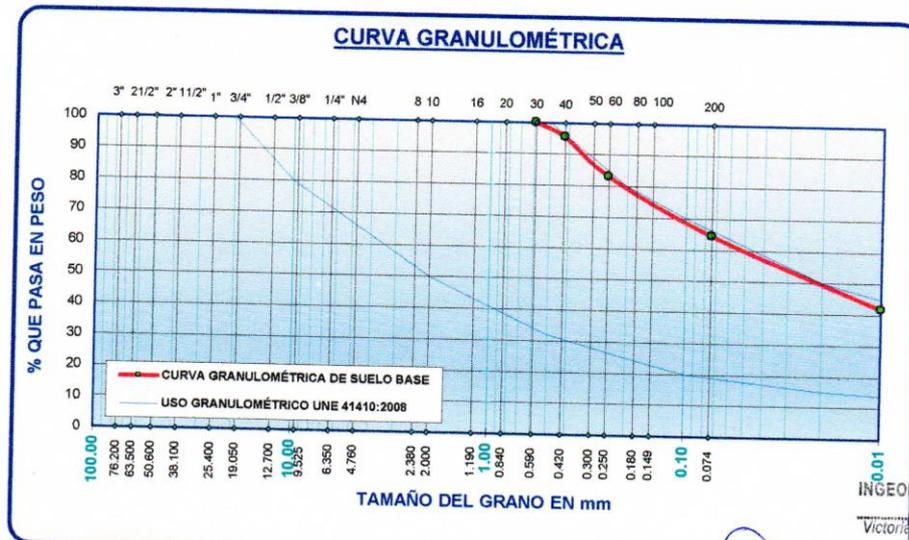
FORMATO ENSAYO DE GRANULOMETRIA - NTP-400.012

SOLICITANTE	: BACH. SAMUEL ALEXIS RODRIGUEZ CALIZAYA
PROYECTO	: "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LADRILLOS ECOLÓGICOS MODULARES DE TIERRA COMPRIMIDA ELABORADOS CON ARCILLAS DE LA CIUDAD DE PUNO"
UBICACIÓN	: RINCONADA SALCEDO - PUNO - PUNO
MUESTRA	: SUELO BASE - SUELO ARCILLOSO
FECHA	: 30/07/2020

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF. ASTM	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200						% QUE PASA LA MALLA # 200: 64.60 LIMITE LÍQUIDO 48 LIMITE PLÁSTICO 22 CLASIFICACIÓN DE SUELOS SUCS CL (Arcilla) AASHTO A-7-6
2 1/2"	63.500						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.700						
3/8"	9.525						
1/4"	6.350						
No4	4.760						
No8	2.380						
No10	2.000						
No16	1.190						
No20	0.840						
No30	0.590						
No40	0.420	65.08	4.51	4.51	95.49		
No50	0.300						
No60	0.250	179.65	12.45	16.96	83.04		
No80	0.180						
No100	0.149						
No200	0.074	266.09	18.44	35.40	64.60		
BASE		932.18	64.60	100.00	0.00		
TOTAL		1443.00	100.00				
% PERDIDA							

OBSERVACIONES

consideraremos suelos fino arcilloso ya que más del 50% pasa por el tamiz N°200, Además se tiene que IP>LL-30 y IG=13



INGEOPLESKA C&C E.I.R.L.
 Victoria Parí Humpiri
 GERENTE GENERAL

Ing JULIO ESCOBEDO ARIZACA
 CIP. 90558
 ESPECIALISTA EN SUELOS Y PAVIMENTOS
 GEOTECNIA



ANEXO E: ENSAYO GRANULOMETRÍA ARENA.



CONSULTORES Y CONSTRUCTORES

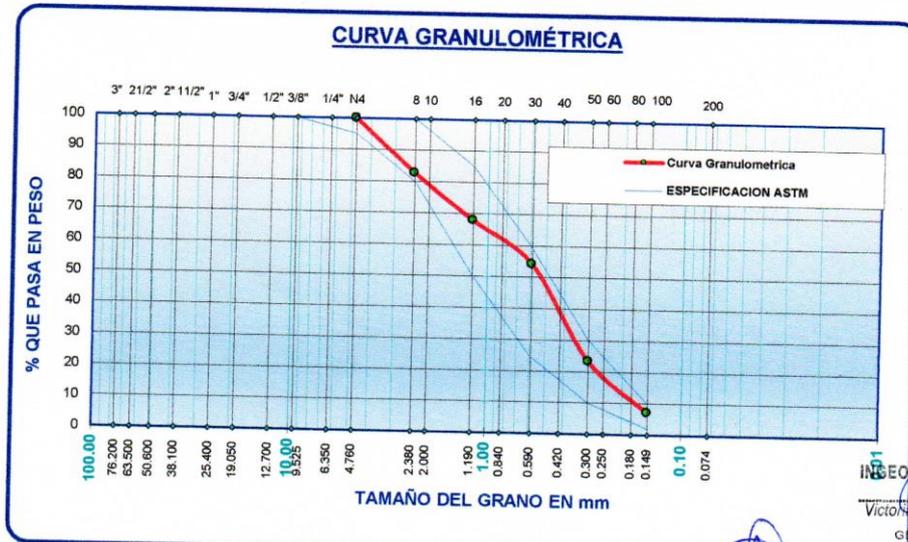
INGENIERÍA DE GEOTÉCNICA - EJECUCIÓN DE OBRAS Y PROYECTOS
LABORATORIO DE ENSAYOS, SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

LABORATORIO DE GEOTÉCNICA
MECÁNICA DE SUELOS, CONTROL DE CALIDAD, CONCRETO Y PAVIMENTOS

FORMATO ENSAYO DE GRANULOMETRÍA - NTP-400.012

SOLICITANTE	: BACH. SAMUEL ALEXIS RODRIGUEZ CALIZAYA
PROYECTO	: "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LADRILLOS ECOLÓGICOS MODULARES DE TIERRA COMPRIMIDA ELABORADOS CON ARCILLAS DE LA CIUDAD DE PUNO".
UBICACIÓN	: RINCONADA SALCEDO - PUNO - PUNO
MUESTRA	: ARENA GRUESA - ESTABILIZANTE FÍSICO
FECHA	: 30/07/2020

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF. ASTM	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200						% QUE PASA LA MALLA # 200: 1.72 LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO - CLASIFICACIÓN DE SUELOS SUCS SW AASHTO A-3
2 1/2"	63.500						
2"	50.600						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.700						
3/8"	9.525						
1/4"	6.350						
No4	4.760	0.00	0.00	0.00	100.00	95 100	
No8	2.380	195.77	17.26	17.26	82.74	80 100	
No10	2.000						
No16	1.190	169.16	14.92	32.18	67.82	50 85	
No20	0.840						
No30	0.590	154.22	13.60	45.78	54.22	25 60	
No40	0.420						
No50	0.300	350.18	30.88	76.66	23.34	10 30	
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.149	183.85	16.21	92.88	7.12	2 10	
No200	0.074	61.30	5.41	98.28	1.72		
BASE		19.48	1.72	100.00	0.00		OBSERVACIONES Arena limpia ya que menos del 5% pasa el tamiz N°200.
TOTAL		1133.96	100.00				
% PERDIDA							



INGEOPLESCA C & C E.I.R.L.

Victor...
CENTRO TECNOLÓGICO
GERENTE GENERAL



Ing. JULIO ESCOBEDO ARIZACA
CIP. 90558
ESPECIALISTA EN SUELOS Y PAVIMENTOS
GEOTÉCNICA

ANEXO F: ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA.



CONSULTORES Y CONSTRUCTORES
INGENIERIA DE GEOTECNIA, EJECUCION DE OBRAS Y PROYECTOS
LABORATORIO DE ENSAYOS, SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

LABORATORIO DE GEOTECNIA
MECÁNICA DE SUELOS, CONTROL DE CALIDAD, CONCRETO Y PAVIMENTOS

FORMATO DE GRAVEDAD ESPECIFICA DE LAS PARTICULAS SOLIDAS DEL SUELO - NTP-339.131

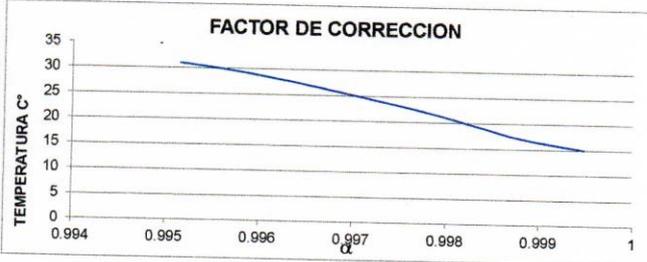
SOLICITANTE	: BACH. SAMUEL ALEXIS RODRIGUEZ CALIZAYA
PROYECTO	: "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LADRILLOS ECOLÓGICOS MODULARES DE TIERRA COMPRIMIDA ELABORADOS CON ARCILLAS DE LA CIUDAD DE PUNO".
UBICACIÓN	: RINCONADA SALCEDO - PUNO - PUNO
MUESTRA	: SUELO BASE CANTERA RINCONADA SALCEDO PUNO
FECHA	: 30/07/2020

PICTÓMETRO N° 25 - 500 ml.
Los pesos son en gramos (gr.)

Muestra	Masa Seca Muestra MS	Masa Frasco Mas Agua MA	Masa Frasco Mas Agua Mas Muestra MN	Temperatura T °C	Factor De Corrección alfa	Gs
1	91.54	688.94	746.20	15	0.99948	2.669
2	102.64	692.52	756.80	15	0.99948	2.674
3	101.54	694.52	758.60	15	0.99948	2.709
Gs Prom.						2.68

$$Gs = \alpha * \left(\frac{MS}{MS+MA-MN} \right)$$

Temperatura	α
15	0.99948
17	0.99881
19	0.99839
21	0.99800
22	0.99778
24	0.99729
25	0.99704
27	0.99652
28	0.99624
30	0.99559
31	0.99515



Ing JULIO ESCOBEDO ARIZACA
CIP. 90558
ESPECIALISTA EN SUELOS Y PAVIMENTOS
GEOTECNIA

INGEOPLESCA S.C. E.I.R.L.
Victoria E. Rojas Parra Huipuri
CIP. 10414
GERENTE GENERAL

ANEXO H: ENSAYO PRÓCTOR ESTÁNDAR.



CONSULTORES Y CONSTRUCTORES

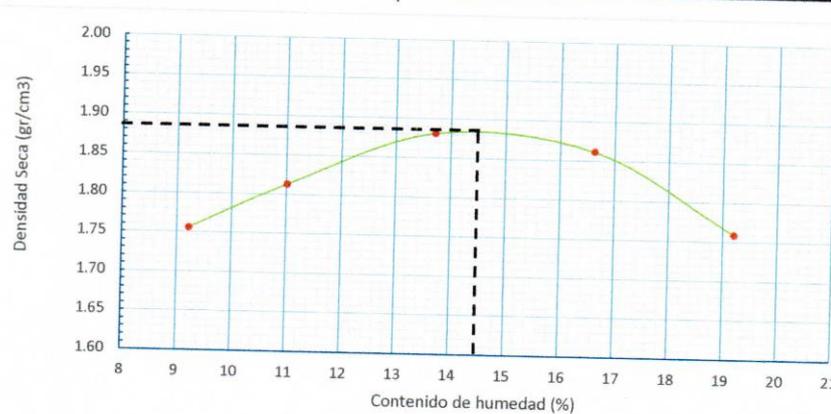
INGENIERIA DE GEOTECNIA, EJECUCIÓN DE OBRAS Y PROYECTOS
LABORATORIO DE ENSAYOS, SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

LABORATORIO DE
GEOTECNIA
MECÁNICA DE SUELOS,
CONTROL DE
CALIDAD, CONCRETO Y
PAVIMENTOS

FORMATO PRÓCTOR ESTÁNDAR - NTP-339.142	
SOLICITANTE	: BACH. SAMUEL ALEXIS RODRIGUEZ CALIZAYA
PROYECTO	: "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LADRILLOS ECOLÓGICOS MODULARES DE TIERRA COMPRIMIDA ELABORADOS CON ARCILLAS DE LA CIUDAD DE PUNO".
UBICACIÓN	: RINCONADA SALCEDO - PUNO - PUNO
MUESTRA	: SUELO BASE CANTERA RINCONADA SALCEDO PUNO
FECHA	: 30/07/2020

ENSAYO PRÓCTOR ESTÁNDAR

VOLUMEN DEL MOLDE :		944 cm ³				
PRUEBA N°		1	2	3	4	5
Peso suelo + molde	gr	5351.25	5440.51	5560.26	5590.47	5520.23
Peso molde	gr	3541.00	3541.00	3541.00	3541.00	3541.00
Peso suelo humedo compactado	gr	1810.25	1899.51	2019.26	2049.47	1979.23
Peso suelo humedo + tara	gr	175.22	182.12	187.43	173.23	224.56
Peso del suelo seco + tara	gr	170.23	176.50	178.12	164.85	209.36
Tara	gr	116.16	125.48	110.26	114.49	130.25
Peso del agua	gr	4.99	5.62	9.31	8.38	15.20
Peso del suelo seco	gr	54.07	51.02	67.86	50.36	79.11
Contenido de agua	%	9.23	11.02	13.72	16.64	19.21
Peso volumetrico humedo	gr/cm3	1.92	2.01	2.14	2.17	2.10
Peso volumetrico seco	gr/cm3	1.76	1.81	1.88	1.86	1.76
DENSIDAD MAXIMA - MDS (gr/cm3)					1.885	
HUMEDAD OPTIMA - CHO (%)					14.5	



Ing. JULIO ESCOBEDO ARIZACA
CIP. 90558
ESPECIALISTA EN SUELOS Y PAVIMENTOS
GEOTECNIA

INGEOPLESCA C & C S
Victoria Larrea Parí Huari
CIP. 18104
GERENTE GENERAL

ANEXO I: ENSAYO FLEXOTRACCIÓN.



CONSULTORES Y CONSTRUCTORES

INGENIERIA DE GEOTECNIA - EJECUCION DE OBRAS Y PROYECTOS

LABORATORIO DE ENSAYOS: SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

LABORATORIO DE GEOTECNIA
MECANICA DE SUELOS, CONTROL
DE
CALIDAD, CONCRETO Y
PAVIMENTOS

FORMATO ENSAYO FLEXOTRACCIÓN UNIDADES DE ALBAÑILERÍA N.T.P. 339.613

SOLICITANTE	: BACH. SAMUEL ALEXIS RODRIGUEZ CALIZAYA
PROYECTO	: "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LADRILLOS ECOLÓGICOS MODULARES DE TIERRA COMPRIMIDA ELABORADOS CON ARCILLAS DE LA CIUDAD DE PUNO".
UBICACIÓN	: RINCONADA SALCEDO - PUNO - PUNO
MUESTRA	: SUELO BASE CANTERA RINCONADA SALCEDO PUNO
FECHA	: 31/08/2020

UNIDAD	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)	LONG. ENTRE APOYOS	ÁREA BRUTA	CARGA MÁXIMA	F'br
				L	cm ²	Kg	kg/cm ²
1	25.00	12.50	8.00	22.00	255.95	168.26	6.94
2	25.00	12.50	8.00	22.00	255.95	175.26	7.23
3	25.00	12.50	8.00	22.00	255.95	166.89	6.88
4	25.00	12.50	8.00	22.00	255.95	180.26	7.44
5	25.00	12.50	8.00	22.00	255.95	185.23	7.64

F'br : Módulo de Ruptura (Mr)
L : Luz libre entre apoyos en cm
P : Carga Máxima de Rotura en Kg
b : Ancho de la unidad de albañilería
H : Altura de la unidad de albañilería

$$F'br = \frac{3 LP}{2 b H^2}$$



Ing. JULIO ESCOBEDO ARIZACA
CIP. 90558
ESPECIALISTA EN SUELOS Y PAVIMENTOS
GEOTECNIA

INGEOPLESCA C&C E.I.R.L.

Victor Hugo Parra Humpal
CIP. 11014
GERENTE GENERAL



ANEXO J: ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAxIAL EN PRISMAS



CONSULTORES Y CONSTRUCTORES

INGENIERIA DE GEOTECNIA, EJECUCIÓN DE OBRAS Y PROYECTOS
LABORATORIO DE ENSAYOS, SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

LABORATORIO DE GEOTECNIA
MECÁNICA DE SUELOS, CONTROL
DE
CALIDAD, CONCRETO Y
PAVIMENTOS

FORMATO ENSAYO COMPRESIÓN UNIAxIAL EN PRIMAS DE ALBAÑILERÍA - N.T.P. 339.605

SOLICITANTE	: BACH. SAMUEL ALEXIS RODRIGUEZ CALIZAYA
PROYECTO	: "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LADRILLOS ECOLÓGICOS MODULARES DE TIERRA COMPRIMIDA ELABORADOS CON ARCILLAS DE LA CIUDAD DE PUNO".
UBICACIÓN	: RINCONADA SALCEDO - PUNO - PUNO
MUESTRA	: SUELO BASE CANTERA RINCONADA SALCEDO PUNO
FECHA	: 31/08/2020

UNIDAD	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)	NÚMERO DE PRIMAS	FACTOR DE CORRECCIÓN N	ÁREA BRUTA	CARGA MÁXIMA	CARGA CORREGIDA	F'br
				N	hp/tp	cm ²	Kg.	Kg.	kg/cm ²
1	25.00	12.50	8.00	4.00	2.56	255.95	7842.56	8156.26	31.87
2	25.00	12.50	8.00	4.00	2.56	255.95	7754.26	8064.43	31.51
3	25.00	12.50	8.00	4.00	2.56	255.95	8523.71	8864.66	34.63
4	25.00	12.50	8.00	4.00	2.56	255.95	7526.32	7827.37	30.58
5	25.00	12.50	8.00	4.00	2.56	255.95	8236.56	8566.02	33.47

Factores de corrección altura/espesor para resistencia en compresión de prismas de albañilería

hp/tp ^A	1.3	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
Factor de corrección	0.75	0.86	1.0	1.04	1.07	1.15	1.22

^A hp/tp Relación de la altura del prisma y las medidas menores laterales del prisma


Ing. OSCAR STOBEDO ARIZACA
CIP. 90558
ESPECIALISTA EN SUELOS Y PAVIMENTOS
GEOTECNIA

INGEOPLESCA C&C E.I.R.L.
Victor Sánchez Pan Humpiri
CIP. 01310104
GERENTE GENERAL



ANEXO K: TABLAS ESTADÍSTICAS

TABLA I
(Continuación).

COLUMNAS			
(1) Puntuación "Z"	(2) Distancia de "Z" a la media	(3) Área de la parte mayor	(4) Área de la parte menor
1.30	.4032	.9032	.0968
1.31	.4049	.9049	.0951
1.32	.4066	.9066	.0934
1.33	.4082	.9082	.0918
1.34	.4099	.9099	.0901
1.35	.4115	.9115	.0885
1.36	.4131	.9131	.0869
1.37	.4147	.9147	.0853
1.38	.4162	.9162	.0838
1.39	.4177	.9177	.0823
1.40	.4192	.9192	.0808
1.41	.4207	.9207	.0793
1.42	.4222	.9222	.0778
1.43	.4236	.9236	.0764
1.44	.4251	.9251	.0749
1.45	.4265	.9265	.0735
1.46	.4279	.9279	.0721
1.47	.4292	.9292	.0708
1.48	.4306	.9306	.0694
1.49	.4319	.9319	.0681
1.50	.4332	.9332	.0668
1.51	.4345	.9345	.0655
1.52	.4357	.9357	.0643
1.53	.4370	.9370	.0630
1.54	.4382	.9382	.0618
1.55	.4394	.9394	.0606
1.56	.4406	.9406	.0594
1.57	.4418	.9418	.0582
1.58	.4429	.9429	.0571
1.59	.4441	.9441	.0559
1.60	.4452	.9452	.0548
1.61	.4463	.9463	.0537
1.62	.4474	.9474	.0526
1.63	.4484	.9484	.0516
1.64	.4495	.9495	.0505



TABLA I
(Continuación).

COLUMNAS			
(1) Puntuación "Z"	(2) Distancia de "Z" a la media	(3) Área de la parte mayor	(4) Área de la parte menor
1.65	.4505	.9505	.0495
1.66	.4515	.9515	.0485
1.67	.4525	.9525	.0475
1.68	.4535	.9535	.0465
1.69	.4545	.9545	.0455
1.70	.4554	.9554	.0446
1.71	.4564	.9564	.0436
1.72	.4573	.9573	.0427
1.73	.4582	.9582	.0418
1.74	.4591	.9591	.0409
1.75	.4599	.9599	.0401
1.76	.4608	.9608	.0392
1.77	.4616	.9616	.0384
1.78	.4625	.9625	.0375
1.79	.4633	.9633	.0367
1.80	.4641	.9641	.0359
1.81	.4649	.9649	.0351
1.82	.4656	.9656	.0344
1.83	.4664	.9664	.0336
1.84	.4671	.9671	.0329
1.85	.4678	.9678	.0322
1.86	.4686	.9686	.0314
1.87	.4693	.9693	.0307
1.88	.4699	.9699	.0301
1.89	.4706	.9706	.0294
1.90	.4713	.9713	.0287
1.91	.4719	.9719	.0281
1.92	.4726	.9726	.0274
1.93	.4732	.9732	.0268
1.94	.4738	.9738	.0262
1.95	.4744	.9744	.0256
1.96	.4750	.9750	.0250
1.97	.4756	.9756	.0244
1.98	.4761	.9761	.0239
1.99	.4767	.9767	.0233



ANEXO L: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° 1155-115-2020

Página 1 de 3

Arso Group
Laboratorio de Metrología

Fecha de emisión	2020/11/09
Solicitante	INGEOPLESCA CONSULTORA Y CONSTRUCTORA EMPRESA INDIVIDUAL DE RESPONSABILIDAD LIMITADA
Dirección	JR. VELA VELA NRO. 420 URB. VILLA ZUÑIGA (JR CANDELARIA CON VELA VELA 3RA CASA) PUNO - PUNO - PUNO
Instrumento de medición	PRENSA HIDRAULICA PARA CONCRETO
Identificación	1155-115-2020
Marca	UTEST
Modelo	UTC-4131
Serie	161002033
Capacidad	1500kN
Indicador	UTEST
Serie	NO INDICA
Bomba	ELÉCTRICA
Procedencia	TURQUÍA
Lugar de calibración	INGEOPLESCA CONSULTORA Y CONSTRUCTORA EIRL
Fecha de calibración	2020/11/09

Método/Procedimiento de calibración
El procedimiento toma como referencia a la norma ISO 7500-1 "Metallic materials - Verification of static uniaxial testing machines", Se aplicaron dos series de carga al Sistema Digital mediante la misma prensa. En cada serie se registraron las lecturas de las cargas.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes.

ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento.

Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.



ARSOU GROUP S.A.C
Ing. Hugo Luis Arévalo Carnica
METROLOGÍA

ARSOU GROUP S.A.C.
Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martin de Porres, Lima, Perú
Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
ventas@arsougroup.com
www.arsougroup.com



Arsou Group
Laboratorio de Metrología

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° 1155-115-2020

Página 2 de 3

Patrones e Instrumentos auxiliares

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
Patrones de referencia de PUCP	Celda de Carga de 100 TN	192-19 con trazabilidad INF-LE 250-18.

Condiciones ambientales durante la calibración

Temperatura Ambiental	Inicial: 18,3 °c	Final: 18,0 °C
Humedad Relativa	Inicial: 87 %hr	Final: 87 %hr
Presión Atmosférica	Inicial: 1015 mbar	Final: 1015 mbar

Resultados

TABLA N° 01
CALIBRACION DE PRENSA HIDRAULICA PARA CONCRETO

SISTEMA DIGITAL "A" Kg	SERIES DE VERIFICACIÓN PATRON (Kg)				PROMEDIO "B" Kg	ERROR Ep %	RPTBLD Rp %
	SERIE (1) Kg	SERIE (2) Kg	ERROR %	ERROR (2) %			
10000	10002	9999	0.02	-0.01	10000.5	0.005	0.02
20000	19990	19990	-0.05	-0.05	19990.0	-0.05	0.00
30000	29998	29980	-0.01	-0.07	29989.0	-0.04	0.04
40000	39930	39920	-0.18	-0.2	39925.0	-0.19	0.02
50000	50010	49995	0.02	-0.01	50002.5	0.01	0.02
60000	59950	59960	-0.08	-0.07	59955.0	-0.08	0.01
70000	69980	69990	-0.03	-0.01	69985.0	-0.02	0.01
80000	80041	80040	0.05	0.05	80040.5	0.05	0.00

NOTAS SOBRE CALIBRACION

- La Calibración se hizo según el Método C de la norma ISO 7500-1
- Ep y Rp son el Error Porcentual y la Repetibilidad definidos en la citada Norma:
 $Ep = ((A-B) / B) * 100$ $Rp = Error(2) - Error(1)$
- La norma exige que Ep y Rp no excedan el +/- 1.0 %



ARSOU GROUP S.A.C
Ing. Hugo Luis Arévalo Camica
METROLOGIA

ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú
Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
ventas@arsougroup.com
www.arsougroup.com



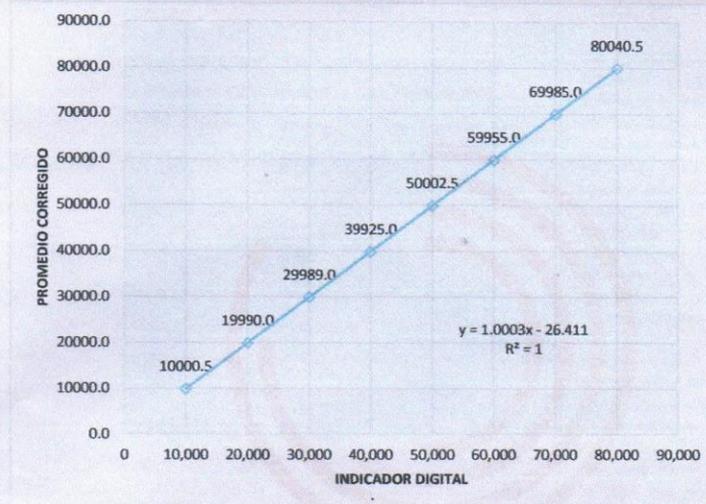
Arsou Group
Laboratorio de Metrología

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° 1155-115-2020

Página 3 de 3

Gráfica (Coeficiente de correlación y Ecuación de Ajuste)

GRAFICO N° 01



Ecuación de ajuste:

Donde: $y = 1,003x - 26,411$

Coefficiente Correlación $R^2 = 1$

X : Lectura de la pantalla (kg)

Y : fuerza promedio (kg)

Observaciones

1. Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
2. La incertidumbre de la medición ha sido calculada para un nivel de confianza de aproximadamente del 95 %
3. (*) Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento.
4. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO"



ARSOU GROUP S.A.C.
Ing. Hugo Luis Arávalo Carnica
METROLOGÍA

ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú

Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437

ventas@arsougroup.com

www.arsougroup.com