

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**CARACTERIZACIÓN DE LA MEZCLA DE ARCILLAS PARA LA
FABRICACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL DE LA
CONCESIÓN SAN PEDRO 2000 DEL DISTRITO DE SALCEDO-
PUNO**
TESIS

PRESENTADO POR:

JOSÉ RONAL APAZA MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO QUÍMICO

PUNO – PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

CARACTERIZACIÓN DE LA MEZCLA DE ARCILLAS PARA LA
FABRICACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL DE LA CONCESIÓN
SAN PEDRO 2000 DEL DISTRITO DE SALCEDO-PUNO

PRESENTADA POR:

JOSÉ RONAL APAZA MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

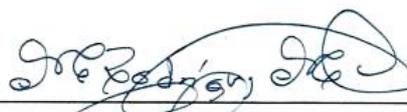
INGENIERO QUÍMICO



APROBADO POR:

PRESIDENTE

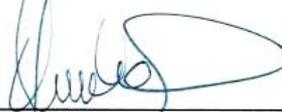
:



M.Sc. MARIA RODRIGUEZ MELO

PRIMER MIEMBRO

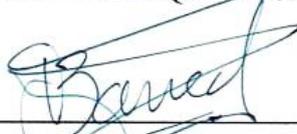
:



M.Sc. GERMAN QUILLE CALIZAYA

SEGUNDO MIEMBRO

:


M.Sc. VÍCTOR ATILIO BARREDA DEL
ARROYO

DIRECTOR / ASESOR

:



Dra. EDITH TELLO PALMA

ÁREA : Procesos industriales

TEMA : Caracterización de la mezcla de las Arcillas, Greda, arena

LÍNEA : Ingeniería de procesos

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 15 de Octubre de 2019

DEDICATORIA

A Dios; Por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Para mis queridos padres Jorge Apaza Apaza, Sabina Mamani Paucar, por su abnegado apoyo para el logro de mis metas, que siempre persistieron para ello; porque a lo largo de mi vida me han ayudado a ver siempre un buen mañana y un gran futuro.

Para mi cuñado Ever Medina y mi hermana Amelia Apaza quienes han sido fundamental en mi camino, por su dedicación y palabras de aliento nunca bajaron los brazos para que yo tampoco lo aga aun cuando todo se complica

Para mis hermanos Nelson, Jorge, Huber, Roger, Ana. Quienes me tuvieron mucha paciencia para lograr este anhelo y supieron apoyarme.

Para mí compañera de vida Elizabeth Quea, por ser la persona más importante, influyente y cumplir del logro de mis objetivos

José Ronal Apaza Mamani

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de tesis primeramente agradecer a ti Dios por bendecirnos para llegar hasta donde hemos llegado, porque hiciste realidad nuestro sueño anhelado.

A la UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO por darnos la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

A toda la plana docente y administrativa de la escuela profesional de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería Química, por habernos formado profesionalmente y permitido experiencias en las cuales nos sirven de mucho en nuestro ámbito laboral y profesional.

A mi director de tesis Ing. Dra. Edith Tello Palma, por sus enseñanzas, su colaboración, su paciencia, sus correcciones y por su incondicional apoyo a lo largo de todo el trabajo

A los miembros del jurado M.Sc. Maria Rodriguez Melo, M.Sc. German Quille Calizaya, M.Sc. Víctor Atilio Barreda Del Arroyo, nuestra inmensa gratitud por habernos apoyado y ayudado a enriquecer el presente trabajo con sus consejos y observaciones.

De Igual manera agradecer al Ing Rolando Rody Jara Huaranca por su apoyo incondicional

Eternamente agradecidos a todos ustedes.

Gracias

José Ronal Apaza Mamani

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURA	11
ÍNDICE DE TABLAS	13
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	15
RESÚMEN	17
ABSTRACT	18
I. INTRODUCCIÓN	19
II. REVISIÓN DE LITERATURA	21
2.1 ANTECEDENTES	21
2.2 OBJETIVOS	25
2.2.1 Objetivo general	25
2.2.2 Objetivos específicos	25
2.3 FUNDAMENTO TEÓRICO	25
2.3.1 Arcilla	25
2.3.1.2 Definición	25
2.3.2 Propiedades Físico –Químicas	25
2.3.2.1 Superficie Específica	25
2.3.2.2 Capacidad de Intercambio Catiónico	26
2.3.2.3 Capacidad de Absorción	27
2.3.2.4 Sistema Arcilla – Agua	27
2.3.4.5 Plasticidad	30
2.3.4.6 Tixotropía	31
2.3.5 Composición Química de la Arcilla.	31
2.3.6 Características Físicas de las Arcillas	31
2.3.7 Clasificación de las Arcillas.	33
2.3.7.1 Por su Origen:	33
2.3.7.4 Arcillas para la Fabricación de Ladrillos:	36

2.3.7.5 Impurezas Frecuentes y su Influencia Sobre las Unidades de Arcillas:	36
2.3.7.6 Efectos de la Calidad de la Materia Prima en la Calidad Final de las Unidades:	37
2.4 LADRILLO.	38
2.4.1 Partes de un Ladrillo.....	39
2.4.2 Clasificación de Ladrillos.....	39
2.5 PROCESO FABRICACIÓN DE LADRILLO.....	40
2.5.1 Proceso Fabricación Ladrillo Artesanal.....	40
2.5.2 Extracción del Material.....	40
2.5.3 Tratamiento de Material.....	41
2.5.4 Amasado	41
2.5.5 Reposo o Madurado.....	41
2.5.6 Moldeado	41
2.5.7 Secado	41
2.5.7 Cocción	42
2.6 PROPIEDADES DE LOS LADRILLOS Y SU NORMALIZACIÓN ..	42
2.6.1 Propiedades ingenieriles:	42
2.7 CLASIFICACIÓN DE LOS LADRILLOS	43
2.8 NORMATIVIDAD DE ALBAÑILERÍA	44
2.8.1 Unidad de Albañilería:	44
2.8.1 Clasificación para Fines Estructurales:.....	44
2.9 HORNOS	45
2.9.1 Tipos de Hornos	46
2.10 EXPERIMENTOS CON MEZCLAS.....	46
2.10.1 Algunos Diseños de Mezcla y sus Modelos Estadísticos.....	47
2.10.2 Aumento del Diseño.....	47
2.10.3 Diseño simplex centroide.....	48

III. MATERIALES Y MÉTODOS	49
3.1 MATERIALES E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	49
3.1.1 Materiales	49
3.1.2 Instrumento de medición	49
3.1.3 Equipos	50
3.2 DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES	50
3.2.1 Variables Independientes.....	50
3.2.2 Variables Dependientes:.....	50
3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL DE MEZCLAS	50
3.3.1 Pseudocomponentes para Ingredientes con Cotas Inferiores.....	50
3.3.2 Coordenadas de Pseudocomponentes	52
3.4 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	54
3.4.1 Secado y Limpieza	55
3.4.2 Trituración	55
3.5 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	55
3.5.1 Análisis Organoléptico	55
3.5.1.1 Color	55
3.5.1.2 Textura	55
3.5.1.3 Dureza.....	55
3.5.2 Humedad de la materia prima:	56
3.5.3 Peso específico, método picnómetro (Norma AASHTO TO 100)	57
3.5.4 Higroscopicidad.	59
3.5.5 Determinación de pH.....	61
3.5.6 Determinación de gravedad Específica Normas AASHTO T-100 Y ASTM D- 854.....	63
3.5.7 Análisis granulométrico de suelo. (Norma AASSHTO T 88-00).....	65
3.5.8 Ensayos de Límites de Atterberg (Límite líquido y Límite plástico), Norma ASTM D- 4318 (Zea 2005).....	66

3.5.8.1 Límite líquido	66
3.5.8.2 Límite plástico	68
3.5.8.3 Índice de Plasticidad:	69
3.5.9 Análisis de las Muestras (probetas) de ladrillos	69
3.5.9.1 Análisis de ensayo a la Contracción	69
3.5.9.2 Porcentaje de Contracción Lineal	70
3.5.9.3 Porcentaje de Contracción Masa	70
3.6 ANÁLISIS QUÍMICO:.....	70
3.7 ANÁLISIS MECÁNICO	71
3.8 ELABORACIÓN DE MUESTRAS DE LADRILLO	72
A) Molienda De la Arcilla, Greda, Arena.	72
B) Zarandeo de Arcilla, Greda y Arena	72
C) Mezclado	72
D) Moldeado.....	74
E) Secado.....	75
F) Cocción.....	76
3.9 PRUEBA DE RESISTENCIA MECÁNICA	77
3.10 PRUEBA DE ABSORCIÓN	78
3.10.11 Balance de Masa	79
3.10.11.1 Balance de Masa de Probetas	79
A) Balance en el Mezclado.....	80
B) Balance en el Moldeo	80
C) Balance en el Secado	81
D) Balance en el Horno.....	81
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	82
4.1. ANÁLISIS QUÍMICO	82
4.2 ANÁLISIS FÍSICOS.....	83

4.2.1 Análisis Organoléptico	83
4.2.2 Humedad de la Materia Prima	83
4.2.3 Peso Específico	84
4.2.4 Higroscopicidad	84
4.2.5 pH	85
4.2.6 Gravedad Específica	85
4.2.8 Granulometría	86
Mezcla 1: de la Proporción Arcilla, Greda, Arena	86
Mezcla 2: de la Proporción Arcilla, Greda, Arena	87
Mezcla 3: de la Proporción de Arcilla, Greda, Arena	88
Mezcla 4: de la Proporción de Arcilla, Greda, Arena	89
Mezcla 5: de la Proporción de Arcilla, Greda, Arena	90
Mezcla 6: de la Proporción de Arcilla, Greda, Arena	91
Mezcla 7: de la Proporción de Arcilla, Greda, Arena	92
Mezcla 8: de la Proporción de Arcilla, Greda, Arena	93
Mezcla 9: de la Proporción de Arcilla, Greda, Arena	94
Mezcla 10: de la Proporción de Arcilla, Greda, Arena	95
4.2.9 Límite Líquido ASTM D-4318	96
4.2.10 Límite Plástico ASTM D-4318	97
4.2.11 Índice de Plasticidad ASTM-D4318	97
4.2.12 Porcentaje de Contracción Lineal	98
4.2.13 Porcentaje en Contracción en Masa	99
4.3. LABRANZA DE PROBETAS	100
4.3.1 Mezclado y Moldeo	100
4.3.2 Secado	101
4.3.3 Cocción	102
4.3.3.1. Acondicionamiento	102

4.3.3.2 Calentamiento y Cocción	106
4.4 ANÁLISIS DE ABSORCIÓN DE AGUA DEL LADRILLO	
ARTESANAL	108
4.5. RESISTENCIA MECÁNICA DEL LADRILLO ARTESANAL	108
4.5.1 Resistencia mecánica de ladrillo artesanal de la Concesión San Pedro	
2000	109
4.6 ANÁLISIS DE ABSORCIÓN DE AGUA EN LAS MUESTRAS DE	
LADRILLO	109
4.7 RESISTENCIA MECÁNICA DE LAS PROBETAS	110
4.8 BALANCE DE MASA	111
4.8.1 Balance de masa de probetas.	111
A) Balance en el Mezclado	111
B) Balance en el Moldeo	112
C) Balance de Secado	112
D) Balance de Horno	112
V. CONCLUSIONES	115
VI. RECOMENDACIONES	116
VII. REFERENCIAS	117
ANEXOS	121

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1: Superficie Específica	26
Figura 2: Estructura de Dos Iones Hidrógeno	28
Figura 3: Campos de Atracción de Moléculas de Agua	28
Figura 4: Cristal de Caolinita luego de Fractura según C-C Mostrando la Formación de un Número Igual de Lugares Positivos o Negativos.	29
Figura 5: Diagrama de Trifásico de las Arcillas.	32
Figura 6: Distribución Esquemática de las Partículas en una Arcilla Residual o Primaria.	34
Figura 7: Distribución Esquemática de las Partículas en una Arcilla Sedimentaria o Secundaria	35
Figura 8: Partes del Ladrillo	39
Figura 9: Diseño Simplex Reticula	48
Figura 10: Diagrama de Flujo para la Realización de los Procedimientos Análisis de Fisicoquímica - Mecánica.	54
Figura 11: Codificado de matraces y pesado de las muestras para la determinación el porcentaje de humedad de la materia prima	57
Figura 12: Pesado del Picnómetro + Agua + Muestra	59
Figura 13: Remojado de las Muestras con Ácido Sulfúrico	61
Figura 14: Determinación de la Lectura de pH.....	63
Figura 15: Tamizado de la Mezcla de Arcilla, Greda, Arena	65
Figura 16: Reducción del Mineral	72
Figura 17: Peso de la materia prima: Arcilla, Greda, Arena, en la balanza digital	74
Figura 18: Mezclado de las Proporciones de las Arcilla, Greda, Arena	74
Figura 19: Adición de Agua a cada uno de los Proporciones de la Mezcla	74
Figura 20: Colocado de la Mezcla en molde y Esparcido dentro del Molde.....	75
Figura 21: Secado de las Muestras de Ladrillo a Temperatura Ambiente	75
Figura 22: Calentamiento de las probetas	77
Figura 23: Secado de las Probetas a Temperatura Ambiente	77
Figura 24: Diagrama de Bloques Cualitativo de la Elaboración de Probetas	79
Figura 25: Mezcla 1 Curva Granulométrica	86
Figura 26: Mezcla 2 Curva Granulométrica	87
Figura 27: Mezcla 3 Curva Granulométrica.	88

Figura 28: Mezcla 4 Curva Granulométrica	89
Figura 29: Mezcla 5 Curva Granulométrica	90
Figura 30: Mezcla 6 Curva Granulométrica	91
Figura 31: Mezcla 7 Curva Granulométrica	92
Figura 32: Mezcla 8 Curva Granulométrica	93
Figura 33: Mezcla 9 Curva Granulométrica	94
Figura 34: Mezcla 10 Curva Granulométrica	95
Figura 35: Gráfica de límite líquido	96
Figura 36: Temperatura curso Tiempo en el Acondicionamiento	105
Figura 37: Temperatura curso Tiempo de Calentamiento	107
Figura 38: Balance de Masa las Probetas del Ladrillo.....	114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clase de Unidad de Albañilería para Fines Estructurales cm ²	45
Tabla 2: Cotas Inferiores.....	51
Tabla 3: Diseño de Simplex centroide Ampliado de Psuedocomponentes	52
Tabla 4: Componentes Originales de un Diseño de Reticular Símplex Centroide Ampliado	53
Tabla 5: Componentes Originales y Proporciones a pesar para la Determinación de % de Humedad.....	57
Tabla 6: % de Componentes originales y Proporciones a pesar para la Determinación de Peso Específico.....	59
Tabla 7: % de Componentes originales, y Proporciones a pesar para Determinar de la Higroscopicidad.....	60
Tabla 8: Tabla Valores de pH.....	62
Tabla 9: % de Componentes originales y Proporciones a pesar para Determinación de Ph.....	63
Tabla 10: % de Componentes Originales y Proporciones a pesar para la Determinación de Gravedad Específica.	64
Tabla 11: % de Componentes Originales y Proporciones a pesar para la Distribución de masa Granulométrica.	66
Tabla 12: %De Componentes Originales y Proporciones a pesar para el Límite Líquido.	67
Tabla 13: Muestra Envía a Analizar a la Facultad de Ingeniería Civil-UNAP.....	68
Tabla 14: % Componentes Originales y Proporciones a pesar para la Determinación de Límite Plástico.....	69
Tabla 15: Muestra Enviada a Analizar a la Facultad de Ingeniería Civil-UNAP.....	69
Tabla 16: % de Componentes Originales y Proporciones a pesar la Determinación de Análisis Químico	71
Tabla 17: Muestra Enviada a Analizar en LABINVSERV UNSA-AREQUIPA (Ver anexo 2)	71
Tabla 18: Porcentaje de Masa Mezclado de las Muestras (Probetas) de Ladrillo	73
Tabla 19: Tiempos de Encendido y Apagado del horno y Número de Veces realizadas	76
Tabla 20: Porcentaje de Carbonatos y CO ₂ Presentes en el Ladrillo Crudo.....	80
Tabla 21: Composición Química de la Mezcla de Arcilla.....	82

Tabla 22: Determinación del Análisis Organoléptico.....	83
Tabla 23: Determinación Humedad de la Materia Prima	83
Tabla 24: Determinación de Peso Específico	84
Tabla 25: Determinación de Higroscopicidad	84
Tabla 26: Determinación de pH.....	85
Tabla 27: Determinación de Gravedad Específica	85
Tabla 28: Determinación de Análisis Granulométrico de la Mezcla 1	86
Tabla 29: Determinación de Análisis Granulométrico de la Mezcla 2.....	87
Tabla 30: Determinación de Análisis Granulométrico de la Mezcla 3.....	88
Tabla 31: Determinación de Análisis Granulométrico de la Mezcla 4.....	89
Tabla 32: Determinación de Análisis Granulométrico de la Mezcla 5.....	90
Tabla 33: Determinación de Análisis Granulométrico de la Mezcla 6.....	91
Tabla 34: Determinación de Análisis Granulométrico de la Mezcla 7.....	92
Tabla 35: Determinación de Análisis Granulométrico de la Mezcla 8.....	93
Tabla 36: Determinación de Análisis Granulométrico de la Mezcla 9.....	94
Tabla 37: Determinación de Análisis Granulométrico de la Mezcla 10.....	95
Tabla 38: Límite Líquido	96
Tabla 39: Límite Plástico	97
Tabla 40: Porcentaje de Contracción Lineal.....	98
Tabla 41: Porcentaje de Contracción en Masa.....	99
Tabla 42: Determinación Porcentaje de Mezcla de las Probetas	100
Tabla 43: Porcentaje de Humedad Promedio de las Probetas	101
Tabla 44: Porcentaje de Humedad antes de entrar al Horno.....	102
Tabla 45: Evolución de Temperatura y Tiempo en el Acondicionamiento	104
Tabla 46: Evolución de Temperatura y Tiempo en el Calentamiento y Cocción.....	106
Tabla 47: Absorción de Agua del Ladrillo Artesanal	108
Tabla 48: Resistencia Mecánica de Ladrillo Artesanal	109
Tabla 49: Análisis de Absorción de Agua	109
Tabla 50: Informe de Ensayo a la Compresión.....	110
Tabla 51: Composición Recalculada y Pesos Iniciales.....	111
Tabla 52: Resultado de la Masa de Probetas	113

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

%	: Porcentaje
Min	: Minuto
t	: Tiempo
h	: Hora
T	: Temperatura
°C	: Grados Celsius
G	: Gramo
kg	: Kilogramo
mL	: Mililitro
gs	: Gravedad Específica
mm	: Milímetro
cm	: Centímetro
N	: Número de Experimentos
Q	: Número de Variables Independientes
Pe	: Peso Específico
H	: Higroscopicidad
Lp	: Límite Plástico
LL	: Límite Líquido
Ip	: Índice de Plasticidad
% Hupm	: Porcentaje de Humedad Promedio
%Hu _{ps}	: Porcentaje de Humedad de las Probetas Secas
W _{ms}	: Peso de Mezcla en seco
W _{tH₂O}	: Peso Total de Agua
W _{MH}	: Peso Mezcla Húmeda
P _M	: Perdida por Moldeo
W _{pm}	: Peso de Probetas Moldeadas

W_{hu}	: Perdida de Humedad
W_{ps}	: Peso de Probetas Secas
W_{CO_2}	: Peso de CO_2 Eliminado
$WH_2O(e)$: Peso de Agua Agregada Eliminado
W_{pc}	: Peso de Probetas Cocidas
A	: Arcilla
G	: Greda
a	: arena
W_{hu}	: Peso de la Humedad Media
WH_2O	: Peso de Agua Agregada
Rmp	: Prueba de Resistencia Mecánica
Abs	: Absorción de Agua
$CaCO_3$: Carbonato de Calcio
CO_2	: dióxido de Carbono
NTE INEN	: Norma Técnica Ecuatoriana

RESÚMEN

La presente investigación tiene el propósito de evaluar las características físicas, mecánicas y químicas de la mezcla de las arcillas que se utilizan en la producción de ladrillos cocidos en las fábricas artesanales de la Concesión San Pedro 2000- del Distrito de Salcedo Provincia de Puno, para ello se caracterizó física, química y mecánicamente la mezcla de arcillas, así se determinó el análisis organoléptico cuyos resultados se establecen para la Arcilla: Rojizo- Amarillento, Greda: Negro, Arena: Rojizo; Así mismo se determinó el porcentaje de Humedad de la mezcla cuyo rango de variación está entre 17.6914% a 21.7002%, el Peso específico de la mezcla se encuentra dentro del rango de 2.3013g/cm³ a 3.3542 g/cm³, Higroscopicidad de la mezcla se encuentra dentro del rango de 0.5336% a 0.9883%, a pH de la mezcla varía de 7.2600 poco alcalina a 7.5100 poco alcalina, Gravedad específica de la mezcla varía dentro del rango de 2.2529 g/cm³ a 2.6007 g/cm³, Límite líquido de la mezcla 64.9300%, Límite plástico de la mezcla 32.0500%, Índice de plasticidad 32.8800%, la composición química de la mezcla de arcillas es, Cuarzo 58.6400%, Montmorillonita 16.8100%, CaFe₃O₁₂Tio₄ 3.5000%, K_{0.95}(AlSiO₈) 6.9000%, SiO₂ 6.9100%, Brium magnesium iorn oxi (1/2/16/27) 4.6400%, Se utiliza el diseño experimental para mezclas de tres componentes variables con tres réplicas centrales, donde se varió la composición porcentual de la Arcilla, Greda y arena para preparar formulaciones terciarias obteniendo un total de 10 mezclas, Para la fabricación de ladrillos, se preparó la materia prima según el análisis granulométrico, siguiendo los parámetros tipo mecanizado, se utilizó un molde 5x3x2cm para dar forma a las probetas. Una vez obtenidas las probetas de 10 días de secado se llevó a un horno a 900 °C para su cocción. Estas muestras fueron sometidas a pruebas de absorción de agua y ensayos de compresión, al finalizar el trabajo se pudo obtener una mejor formulación que permitió la producción de ladrillo con mayor resistencia mecánica, tal como lo indica en líneas de arriba.

Palabras Clave: Caracterización, Artesanal, Plasticidad, Compresión, Absorción.

ABSTRACT

This research has the purpose of evaluating the physical, mechanical and chemical features of clays mixture that are used in the production of cooked bricks in the artisan factories of the San Pedro Concession 2000- of the District of Salcedo, Province of Puno. To this end, the mixture of clays was characterized physically, chemically and mechanically, thus the organoleptic analysis was determined whose results are established for the Clay: Reddish-Yellowish, Greda: Black, Sand: Reddish; Likewise, the percentage of Humidity of the mixture was determined whose range of variation is between 17.6914% to 21.7002%, the specific weight of the mixture is within the range of 2.3013g / cm³ to 3.3542 g / cm³. Hygroscopicity of the mixture is within the range of 0.5336% to 0.9883%, pH of the mixture varies from 7.2600 slightly alkaline to 7.5100 little alkaline, Specific gravity of the mixture varies within the range of 2.2529 g / cm³ to 2.6007 g / cm³, Liquid limit of the 64.9300% mix, 32.0500% plastic mix limit, 32.8800% plasticity index, the chemical composition of the clay mix is, Quartz 58.6400%, Montmorillonite 16.8100%, CaFe₃O₁₂TiO₄ 3.5000%, K_{0.95} (AlSiO₈) 6.9000%, SiO₂ 6.9100%, Brium magnesium iorn oxi (1/2/16/27) 4.6400%, An experimental design is used for mixtures of three variable components with three central replicas, where the percentage composition of the Clay, Greda and sand was varied to prepare tertiary formulations having a total of 10 mixtures, For the manufacture of bricks, the raw material was prepared according to the granulometric analysis, following the mechanized type parameters, a 5x3x2cm mold was used to shape the specimens. Once the 10-day drying specimens were obtained, they were taken to an oven at 900 ° C for cooking. These samples were subjected to water absorption tests and compression tests, at the end of the work a better formulation was obtained that allowed the production of brick with greater mechanical resistance, as indicated before.

Keywords: Characterization, Craft, Plasticity, Compression, Absorption.

I. INTRODUCCIÓN

Existen aproximadamente 435 empresas que fabricación ladrillos en forma artesanal, distribuidos en los diferentes distritos del Departamento de Puno.

La mayoría de estas empresas ladrilleras están ubicadas en el Distrito de Juliaca, Provincia San Román son un total de 300 ladrilleras, seguidas por el Centro Poblado Salcedo, en la Provincia de Puno, existen 100 empresas, corresponde al 34% la Concesión Minera San Pedro 2000, el 24% la Concesión Minera Señor de Kullahua y el 34% en la Concesión Minera San Juan entre otras.

En la Concesión San Pedro 200 utilizan las arcillas como principal materia prima para la fabricación de ladrillos artesanales. Las formaciones rocosas que aparecen ya sean desde lo más reciente a las más antiguas, en formaciones ígneas y sedimentarias.

Para la caracterización química, físicas de las mezclas de arcillas varían ampliamente de acuerdo a la mineralogía, incluso entre las capas de un mismo depósito de la Arcilla, arena, por lo cual en la Concesión San Pedro 2000 debería tenerse un control de calidad de los productos de arcilla y arena.

Una de las características más importantes a evaluar en las arcillas es la composición química y mineralógica, dado que ella influye directamente en las propiedades de los cerámicos obtenidos. Por ejemplo, arcillas con alto contenido de caolinita van a permitir obtener productos cerámicos con carácter refractario, de coloración clara y buena resistencia mecánica, mientras que los que tengan altos contenidos de illita y montmorillonita confieren alta plasticidad a las pastas cerámicas, lo que se traduce en un fácil conformado de las piezas, pero también en una gran contracción de las mismas durante el secado y la sinterización, lo cual puede llevar a la formación de grietas.

Otro parámetro importante para controlar; entendiéndose ésta como la propiedad que tienen las arcillas de formar una masa plástica con el agua. Uno de los métodos más sencillos para determinar tal propiedad es el de los límites de Atterberg, que comprenden el límite líquido (porcentaje de humedad que posee un suelo cuando se halla en el límite entre el estado líquido y estado plástico), límite plástico (el cual corresponde a la menor humedad a la cual un suelo se puede moldear) e índice de plasticidad, que es la diferencia

de los dos límites anteriores e indica el intervalo de trabajabilidad de la arcilla (Santos, 2009).

La distribución granulométrica es otra variable de suma importancia, dado que de ella va a depender el grado de empaquetamiento de las partículas y, por tanto, las propiedades físico-mecánicas de los cerámicos (porosidad, absorción de agua, resistencia a la flexión, etc.). Por otro lado, la distribución granulométrica permite predecir el carácter plástico o desgrasante de la arcilla, teniendo en cuenta que el material arcilloso tiene tamaños de partículas pequeños, del orden de unas pocas micras, mientras que la fracción desgrasante o arenosa tiene un tamaño de partícula mucho mayor (Santos, 2009).

Los ladrillos artesanales en el Distrito de Salcedo no tienen un control de análisis físico-químico y mecánico a pesar de que existe la norma de albañilería E-70 que establece las definiciones, clasificaciones y requisitos que deben cumplir el ladrillo artesanal.

El contenido de esta investigación se ha desarrollado en dos fases fundamentales, se encuentra dentro de un marco teórico donde se exponen la importancia que tienen los procedimientos que deben ponerse en práctica para determinar las características físicas, químicas y mecánicas de las arcillas, considerando que la mayoría de los materiales empleadas en la fabricación del ladrillo cocido artesanalmente, no tienen un control de sus características.

Al Caracterizar la mezcla de las arcillas para fabricación de ladrillo Artesanal mejorara la producción. Por ello es importante evaluar las propiedades físico-químicas y mecánicas de la mezcla de Arcillas para finalmente determinar la mezcla adecuada de las Arcillas para obtención de ladrillos en la Concesión San Pedro 2000 Distrito de Salcedo Departamento de Puno

Así mismo en este trabajo se encuentran datos experimentales, conclusiones y recomendaciones obtenidas de todo este proceso, donde se puede conocer la falta de control de calidad de la producción artesanal de los ladrillos cocidos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

Mamani (2015) en su trabajo de investigación reporta una mezcla con un Valor óptimo de resistencia de 216.233 Kg/cm^2 , con factores de 32% Arcilla, 36% Tierra de chacra y 12% Arena y llevados a temperatura de 900°C que sería catalogado como ladrillo tipo V, cumpliendo con la norma de albañilería E-70, la composición química de la arcilla de Cusco contiene de: 63.21% de Sílice presente en la muestra del cual 33.93% presenta el estado amorfo, Un total de 9.29% suman los compuestos que contienen Fe, Los feldespatos suman 25,36%.

Pumacahua y Vargas (2009) Obtuvieron una formulación de una mezcla adecuada para producir ladrillo tamaño comercial es de 90% de arcilla, 7% de arena, 2% de chamota; 1% de greda, alcanzando Resistencia mecánica de 182.44 kg/cm^2 que según la norma E-70 de albañilería clasifica al ladrillo obtenido como del tipo V; para desarrollar la formulación adecuada, primeramente realizó la identificación de tipo de arcilla existente en el distrito de San Jerónimo; con la mejor formulación obtenida en el laboratorio precede a fabricar a nivel industrial, para ello utiliza los equipos de ladrillera Latesa ubicado en el distrito de San Jerónimo. La composición química de la arcilla de San Jerónimo contiene un contenido de: 62% de Sílice presente en la muestra del cual 33.93%, presenta el estado amorfo, y un total de 9.29% suman los compuestos que contienen Fe.

Llerena (2003) en su trabajo de investigación reporta los resultados de las tres zonas analizadas, de los análisis físicos efectuados da los siguientes resultados de INCHUYO, color: rojizo, textura: Semiterroso, dureza: dos, plasticidad: magra, peso específico 2.578, higroscopicidad: 0.5716, densidad: 1.466, viscosidad: 60.194, % retención de tamiz: 56.7; MATARRO GRANDE color: Amarillo, textura: terroso, dureza: dos, plasticidad 568,; semi- plástica, peso específico 2.672, higroscopicidad: 1.141, densidad: 1. viscosidad: 71.02, % retención de tamiz: 50.9; PLATERIA color: Marrón, textura: Pedregoso, dureza: dos, plasticidad: plástica, peso específico 3.072, higroscopicidad: 0.6288, densidad: 1.512, viscosidad: 96.86, % retención de tamiz: 53.80; la composición química de la arcilla de INCHUYO contiene un contenido de: SiO_2 (69.59 %), Al_2O_3 (11.51), Fe_2O_3 (4.795), CaO (1.163%), MgO (0.83%); MANTARRO GRANDE SiO_2 (58.4 %), Al_2O_3 (16.69), Fe_2O_3 (5.083), CaO (0.79%), MgO (0.903%); PLATERIA. SiO_2 (54.23 %), Al_2O_3 (15.49), Fe_2O_3 (6.709), CaO (4.32%), MgO (1.114%).

Pérez (2016) después de haber realizado su trabajo de investigación obtiene ladrillos artesanales mejorados con 2% de aserrín cuyo peso fue de 4808.80 g, con una desviación estándar de 154.60 g lo cual refleja que el peso entre los mampuestos con la misma dosificación varía en un 3.1%; densidad con un promedio de 1.61 g/cm³, de acuerdo a la norma Ecuatoriana no cumple los establecidos por la normas ITINTEC 331.018, normas peruana la cual determina un mínimo valor es de 1.50g/cm³ y un máximo de 1.70g/cm³, en caso de los ladrillos artesanales mejorados elaborados en el laboratorio de suelos y rocas de la Universidad Técnica de Loja, la densidad obtenida clasifica al ladrillo como tipo III, durabilidad media apto para construcciones de albañilería de uso general; en el promedio de ensayo de absorción a la humedad obtuvo un promedio de 15.6%, de acuerdo a la norma Ecuatoriana INEN 297-1997, Requisito de la relación y absorción a la humedad que deben de cumplir los ladrillos cerámicos determinar que el ladrillo es macizo del tipo A con una absorción máxima de 16%; y promedio de Resistencia a la compresión de promedio 14.9 MPa, lo cual clasifica como un ladrillo macizo tipo B, de acuerdo a la norma Ecuatoriana INEN 297-1997, requisito de la relación mecánica y absorción de humedad que deben de cumplir los ladrillos cerámicos para un promedio de 5 unidades establece un mínimo de 16MPa.

Álvaro (2016) mediante su trabajo de investigación instala una planta de ladrillos mecanizados de acuerdo con los estándares de calidad según Norma Técnica Peruana 331.017. Para lo cual utiliza la metodología descriptiva-proyectiva y la estadística basa en MS EXCEL: luego de haber realizado todas las investigaciones correspondientes concluye diciendo: que la composición química de la arcilla de Pucara tiene un contenido de: SiO₂ (57.7%), CaO (1.42%), MgO (1.27%), Al₂O₃ (14.24), Fe₂O₃ (5.52%), la humedad específica de un total del 100% el 25% contiene agua, la temperatura de la quema de ladrillo mecanizado es de 900°C y la Resistencia a la compresión es de 230 Kg /cm², resultado más resistente que un ladrillo artesanal que se presenta una Resistencia a la compresión de 30 Kg/cm².

Sánchez (2014) logra determinar las propiedades físicas (aptitud cerámica) y químicas (Fluorescencia de rayos X FRX) de cuatro materias primas (arcilla Peracos, arcilla La Alejandra, Caolín HS-801 A y mezcla Táchira), logrando obtener indicadores de medición a través de las temperaturas estudiadas entre (1150 y 1280 °C), para identificar su composición y el comportamiento individual; y de esta manera seleccionar las cantidades a ser empleadas en la formulación de las diferentes mezclas: MA, MB, MC, MD, ME y MF. Finalmente se emplearon las mezclas más apropiadas para la fabricación de un prototipo de ladrillo refractario a escala real, siendo la mezclas MA con un bajo porcentaje de contracción en cocido de 2,89 a la temperatura de 1280°C, con una densidad aparente constante de 1,60 g/cm³ y una resistencia a la rotura de 16.98 Kg/cm², MB con un bajo porcentaje de contracción en cocido de 5.69 a la temperatura de 1280°C, una densidad aparente 1.58 g/cm³ y una resistencia a la rotura de 49.01 Kg/cm², y ME con un bajo porcentaje de contracción en cocido de 5.88 a la temperatura de 1280°C, una densidad aparente 0.93 g/cm³ y una resistencia a la rotura de 7.68 Kg/cm²; las que cumplen con las condiciones requeridas por la NTC 623 para la fabricación de ladrillos refractarios.

García, García y Vaca (2013) Analizan las propiedades mecánicas de resistencia a la compresión y absorción de humedad de ladrillos fabricados con mezclas de arcilla y lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Se elaboraron mezclas en proporciones 100:0, 99:1, 95:5, 90:10, 80:20 y 60:40 de arcilla y lodo respectivamente. Los ladrillos fueron calcinados entre 35 °C y 1100 °C. Los lodos utilizados provienen de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de la empresa G.M. Colmotores.

Afanador (2013) después de realizar su trabajo de investigación obtiene que la mezcla utilizada (M5) para la fabricación de piezas de mampostería, aunque tiene mediana plasticidad, presentó altos contenidos de sílice (84.20%) y bajo contenido de aluminio (6.22 %), unido a pobres procesos de cocción (temperatura máxima alcanzada en el horno de 803.3°C) que generaron ladrillos crudos los cuales dan baja resistencia a la compresión y a la flexión. Considera que fue posible el mejoramiento de las propiedades mecánicas y física de los ladrillos producidos por el chircal mediante la variación de M4 (caolín) hasta en un 30 % del peso de la muestra, obteniéndose aumentos en la resistencia a la compresión y en flexión del 88.20 y 28.05 % respectivamente, además presentó buena trabajabilidad en el moldeo, con un 36.05 % en la humedad de la arcilla 23.2 % (Limite

Plástico) y un 40 % (Limite Liquido) alcanzando los condiciones de plasticidad adecuados para el conformado. Un análisis de los minerales presente en la mezcla en un 30 % de M4 indicó cuarzo como material desgrasante, la presencia de caolinita que le confiere la propiedad plástica y la montmorillonita es responsable principalmente de las contracciones, las cuales fueron del 7.94% en seco, en referencia a su longitud.

Santos, Malagón y Cordova (2009) Caracterizan la composición química, mineralógica, granulométricamente, plástica y térmicamente las tres arcillas, denominadas “Cascajo” (C), “Roja” (R) y “Amarilla” (A), procedentes de Barichara, Santander. Así como obtener pastas cerámicas aptas para la fabricación de ladrillos y tejas. Para lo cual se fabricaron probetas cerámicas por prensado, las cuales se sinterizaron a 1050°C y posteriormente se caracterizaron física y mecánicamente. Los resultados demostraron que la pasta de arcilla “Roja”, con contenido de agua entre 24 y 38%, es la más adecuada para la fabricación de tejas; ya que los cerámicos presentan baja absorción de agua (8.2%) y alto módulo de ruptura (9.3 MPa). Para la obtención de ladrillos se recomienda la pasta con mezcla de arcillas de 55% “Cascajo” y 45% “Amarilla”, con contenido de agua entre 23 y 32%, obteniéndose cerámicos con absorción de agua menor al 15%

Zea (2005) Trabaja con cuatro tipos de fabricantes de ladrillo Artesanales abatiéndose el primero ladrillera “Mázateca” con un porcentaje de absorción de 22.77% y una Resistencia primera de 39.16 kg/cm² y una máxima de 48.57 kg/cm² con un límite de líquido 25.05, limite plástico 18.68 y índice de plasticidad 6.37 que la misma es baja, segunda ladrillera “Marazón” con un porcentaje de absorción de 22.45% y una Resistencia primera de 43.15 kg/cm² y una máxima de 61.75 kg/cm² con un límite de líquido 25.43, limite plástico 19.75 y el índice de plasticidad de 5.68 que la misma es baja, tercera ladrillera “Zánchez” con un porcentaje de absorción 21.93 y una Resistencia primera de 36.83 kg/cm² y una máxima de 46.30 kg/cm² con un límite de líquido 25.62, limite plástico 18.06 y índice de plasticidad 7.55 que tiene medianamente plasticidad este ladrillera; la cuarta ladrillera “Tikal” con un porcentaje de absorción de 21% y una Resistencia primera de 38.80 kg/cm² y una máxima de 49.46 kg/cm² con un límite de líquido 27.15, limite plástico 20.47 y índice de plasticidad 6.68 que tiene baja plasticidad.

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 Objetivo general

- Caracterizar la mezcla de las arcillas para fabricación de ladrillo Artesanal de la Concesión San Pedro 2000 de Distrito de Salcedo – Departamento de Puno

2.2.2 Objetivos específicos

- Evaluar las propiedades físico-químicas de la mezcla de Arcillas para la elaboración de ladrillos de la Concesión San Pedro 2000 Distrito de Salcedo Departamento de Puno
- Evaluar las propiedades mecánicas de la mezcla de arcillas para la elaboración de ladrillo de la Concesión San Pedro 2000 Distrito de Salcedo Departamento de Puno
- Determinar la mezcla adecuada de las Arcillas para obtención de ladrillos en la Concesión San Pedro 2000 Distrito de Salcedo Departamento de Puno

2.3 FUNDAMENTO TEÓRICO

2.3.1 Arcilla

2.3.1.2 Definición

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 y que al secar se contraen y adquieren resistencia y que al ser cocido a alta temperatura adquieren dureza y durabilidad volviéndose indestructible. (Valdez, 1994)

Al decir que forman sistema arcilla-agua se está dando la clave del comportamiento de la arcilla, ya que sin agua no adquiere aquella sus propiedades que son únicas. El agua es un líquido que parece sencillo, pero en realidad es muy complejo y mucho de sus propiedades aún no están explicadas (Valdez, 1994)

2.3.2 Propiedades Físico –Químicas

2.3.2.1 Superficie Específica

La superficie específica o área superficial de una arcilla se define como el área de la superficie externa más el área de la superficie interna (en el caso de que esta exista) de las partículas constituyentes, por unidad de masa, expresada en m^2/g . (Deleg, 2010)

Las arcillas poseen una elevada superficie específica, muy importante para ciertos usos industriales en los que la interacción sólido-fluido depende directamente de esta propiedad (Deleg, 2010)

A continuación se muestran algunas superficies específicas de arcillas (Deleg, 2010).



Figura 1: Superficie Específica
Twenhofel (1972)

- Caolinita de elevada cristalinidad hasta 15m²/g
- Caolinita de baja cristalinidad hasta 50 m²/g
- Halloisita hasta 60 m²/g
- Illita hasta 50m²/g
- Montmorillonita: 80-300 m²/g
- Sepiolita 100-240 m²/g
- Paligorskita 100-200 m²/g

2.3.2.2 Capacidad de Intercambio Catiónico

Es una propiedad fundamental de las Esmectitas. Son capaces de cambiar fácilmente, los iones fijados en la superficie exterior de sus cristales en los espacios interlaminares, o en otros espacios interiores de la estructura, por otros existentes en las soluciones acuosas envolventes la capacidad de intercambio catiónico (CEC) se puede definir como la suma de todos los cationes de cambio que un mineral puede adsorber a un determinado pH. Es equivalente a la medida del total de cargas negativas del mineral. Estas cargas negativas pueden ser generadas de tres formas diferentes (Deleg, 2010).

- Sustituciones isomórficas dentro de la estructura.
- Enlaces insaturados en los bordes y superficies externas.
- Disociación de los grupos hidroxilos accesibles.

El primer tipo es conocido como carga permanente y supone un 80% de la carga neta de la partícula, además es independiente de las condiciones de pH y actividad iónica del medio. Los dos últimos tipos de origen varían en función de pH y de la actividad iónica,

corresponde a bordes cristalinos, químicamente activos y representa el 20% de la carga total de la lámina (Deleg, 2010).

A continuación, se muestran algunos ejemplos de capacidad de intercambio catiónico en miligramo equivalente por 100 gramos (meq/100 g) (Deleg, 2010).

- Caolinita: 3-5
- Halloisita: 10-40
- Illita: 10-50
- Clorita: 10-50
- Vermiculita: 100-200
- Montmorillonita: 80-200
- Sepiolita- paligorskita: 20-30

2.3.2.3 Capacidad de Absorción

Algunas arcillas encuentran su principal campo de aplicación en el sector de los absorbentes ya que pueden absorber agua u otras moléculas en el espacio interlaminar (Esmectitas) o en los canales estructurales (sepiolita y paligorshika) (Deleg, 2010).

La capacidad de absorción está directamente relacionada con las características texturales (superficie específica y porosidad) y se puede hablar de dos tipos de procesos que difícilmente se dan de forma aislada: absorción (cuando se trata fundamentalmente de procesos físicos como la retención por capilaridad) y adsorción (cuando existe una interacción de tipo químico entre el adsorbente, en este caso la arcilla, y el líquido o gas adsorbido, denominado adsorbato) (Deleg, 2010).

La capacidad de adsorción se expresa en porcentaje de adsorbato con respecto a la masa y depende, para una misma arcilla, de la sustancia de que se trate. La absorción de agua de arcillas absorbentes es mayor del 100% con respecto al peso (Deleg, 2010).

2.3.2.4 Sistema Arcilla – Agua.

Sabemos que el agua consiste en un ion O^{2-} y dos iones $2H^{+}$ los que forman una Molécula Neutra de agua; su estructura nos muestra que los dos iones hidrogeno no están situados directamente opuesto, sino que forman un ángulo de $104^{\circ} 40'$ por lo que el centro de

gravedad de la carga negativa del ion O^{2-} y el de la carga positiva de los dos iones H^+ están separados (Figura 2) (Valdez, 1994)

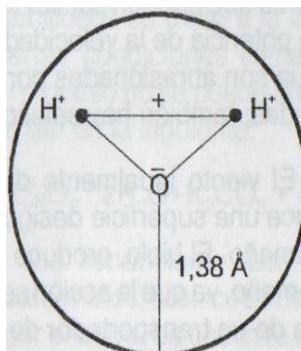


Figura 2: Estructura de Dos Iones Hidrógeno

Fuente: Valdez (1994)

La molécula de agua tendrá pues un lado que actúa como si estuviera cargado positivamente y el lado opuesto tendrá carga negativa; será por ello una molécula “bipolar”, por lo que habrá intersección con otras moléculas e iones que se asociarán entre sí. Sabemos que cada molécula de agua está rodeada de otras en un arreglo tetraédrico y que viaja con un cierto número de ellas, dependiendo este número del tamaño y de la carga de ion. Ahora bien, estos iones también tendrán acción sobre la estructura de agua; así se conoce que alrededor de un ion de 2 a 3 Å de radio, que este situado en un líquido como el agua, existe un campo eléctrico de 106 voltios por centímetro y que este campo ejerce una fuerte atracción que inmoviliza a las moléculas de agua vecinas, por la atracción ion- dipolo (Figura 3) (Valdez, 1994)

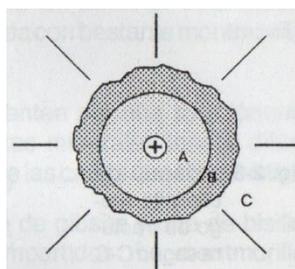


Figura 3: Campos de Atracción de Moléculas de Agua

Fuente: Valdez (1994)

- a) La región de inmovilización, b) región intermedia muy desordenada, c) región normal

Dependerá del tamaño y de la carga del ion. Si el ion es de tamaño pequeño y de carga alta, la región a será mayor, porque el ion por ser pequeño podrá ubicarse sin romper la estructura y más bien favorecerá su desarrollo. El radio crítico para los cationes monovalentes es de 1.36 Å (Valdez, 1994)

Esto explicaría la formación de una capa solvatada o corteza de agua que rodearía a la partícula de arcilla. Favorecen la formación de capa el Ca^{+2} , Mg^{+2} , y el Al^{+3} ; la romperán el K^+ , Rb^+ , Cs^+ , NH_4^+ y el Na^+ , siempre tratándose del sistema arcilla-agua (Valdez, 1994) Si el sistema contiene partículas de tamaño pequeño y gran área superficial y además alta concentración de sólidos, la distancia de separación entre las partículas podrá acercarse al espesor de la película de agua. Las propiedades de esta película ejercen una influencia muy marcada sobre las propiedades de corte y de flujo del sistema arcilla-agua (Valdez, 1994)

Si en la estructura de la caolinita ocurre una fractura, romperán los enlaces de la estructura y la superficie generada tendrá lugares positivos y negativos (Figura 4)

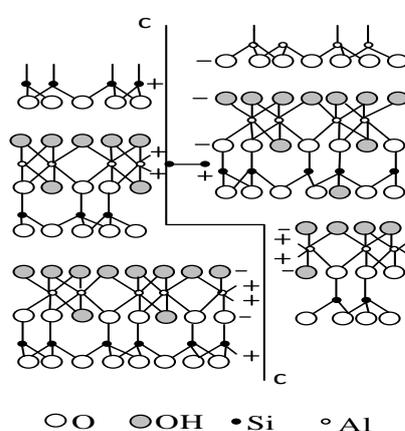


Figura 4: Cristal de Caolinita luego de Fractura según C-C Mostrando la Formación de un Número Igual de Lugares Positivos o Negativos.

Fuente: Fuente: Valdez (1994)

La figura 4 (pues quedarán expuesto los iones OH^- , Al^{+3} y Si^{+4} , los cuales tendrán mayor influencia aún que un ion en solución, ya que estarán ubicados sobre la superficie del conjunto reticular rígido del cristal de arcilla y tenderán a atraer a la molécula bipolar de agua o a algún ion positivo o negativo, para así poder satisfacer su deficiencia de carga eléctrica (Valdez, 1994)

La estructura del agua (anillo hexagonal: cada molécula rodeada por cuatro otras formando un tetraedro), posee las mismas dimensiones geométricas que los silicatos de tipo laminar y solamente hay un grado de desacomodo de -1,1% entre el cristal de caolinita y la estructura del agua (Valdez, 1994).

Ahora bien, las arcillas y demás componentes cerámicos poseen una unidad básica o “célula unitaria”, la cual se repite en el espacio, dando por resultado una estructura cristalina. El cristal pues consta de un arreglo repetitivo de átomos y moléculas (Valdez, 1994).

Sabemos que las arcillas están constituidas por los llamados minerales de arcilla. Siendo los principales los siguientes (Valdez, 1994).

- Caolinita $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- Montmorillonita $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot (\text{Mg}, \text{Ca}) \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
- Illita $\text{K}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ (todos en cantidades variables)

Cada uno de estos minerales imparte un carácter determinado o propiedad a la arcilla. Así una arcilla constituida con bastante montmorillonita será muy plástica, ej. La bentonita. (Valdez, 1994).

Aunque todas se representen por una sola fórmula, lo mismo que los caolines, cada uno de estos minerales tendrán diferente estructura interna y diferente combinación de las capas que los constituyen. (Valdez, 1994).

2.3.4.5 Plasticidad

La arcilla en polvo se torna plástica a medida que se le añade agua, pasando por un máximo, y luego disminuye su plasticidad. Al formarse una suspensión que separa demasiado las laminillas de su estructura cristalina. El que la arcilla sea más o menos plástica, depende de qué tipo de arcilla se trate (Mella, 2004).

Las arcillas son eminentemente plásticas. Esta propiedad se debe a que el agua forma una envuelta sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas (Mella, 2004).

La relación existente entre el límite líquido y el índice de plasticidad ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla. Existe una gran variación entre los límites de atterberg de diferentes minerales de la arcilla, e incluso para un mismo mineral arcilloso, e función del catión de cambio. En gran parte, esta variación se debe a la diferencia en el tamaño de partícula y

al grado de perfección del cristal. En general, cuantos más pequeñas con las partículas y más imperfecta su estructura, más plástico es el material (Mella, 2004).

2.3.4.6 Tixotropía

La tixotropía se define como el fenómeno consistente en la pérdida de resistencia de un coloide, al amasarlo, y su posterior recuperación con el tiempo. Las arcillas tixotrópicas cuando son amasadas se convierten en un verdadero líquido si, a continuación, se las deja en reposo recuperan la cohesión, así como el comportamiento sólido. Para que una arcilla tixotrópica muestre este especial comportamiento deberá poseer un contenido en agua próximo a su límite. Por el contrario, en tomo a su límite plástico no existe posibilidad de comportamiento tixotrópico (Melle, 2004)

2.3.5 Composición Química de la Arcilla.

El conocimiento de la composición química de las arcillas es vital es el uso específico que se le dará. Sin embargo, esta información debe ser usada conjuntamente con las propiedades físicas para una visión completa. (Zea, 2005)

Toda arcilla está compuesta, principalmente de arcilla pura que es el aglutinante de la mezcla que constituye el ladrillo. La arcilla pura está compuesta a su vez de un 47% de sílice un 39% de alúmina y un 14% de agua. Es conveniente que la arcilla pura represente como mínimo un 25% del total de la mezcla. (Zea, 2005)

2.3.6 Características Físicas de las Arcillas

De acuerdo con Besoain (1985) citado en Barranzuela (2014) “Es indudable que la caracterización de la arcilla depende de la complejidad y proporción de los componentes que la constituyen” (p.7).

De acuerdo con Rhodes (1990) citado en Barranzuela (2014) “La distribución granulométrica es una variable de suma importancia, dado que de ella va a depender el grado de empaquetamiento de la partícula y, por tanto, las propiedades físico- mecánicas de los elementos hechos con arcilla tales como porosidad, absorción de agua, resistencia de flexión, etc. Debido a que el tamaño de los granos de arcilla puede variar mucho

dependiendo el tipo de arcilla al que se esté refiriendo, las propiedades físicas de las arcillas también varían” (p.8).

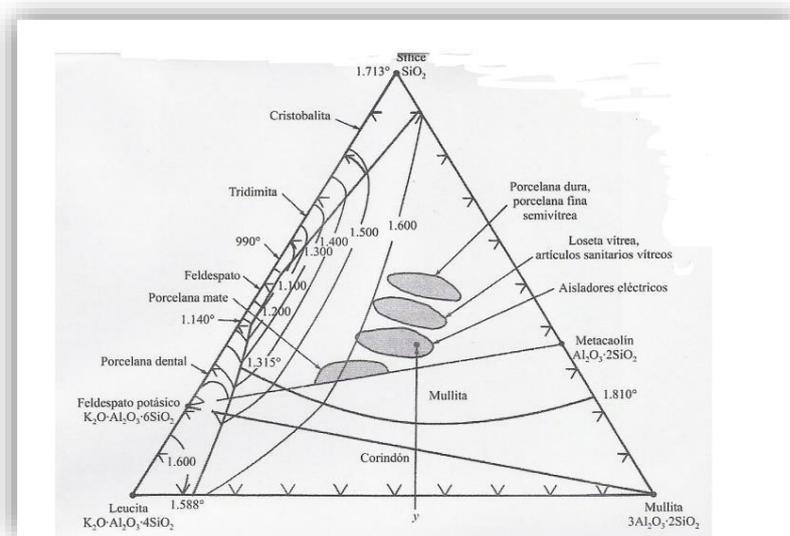


Figura 5: Diagrama de Trifásico de las Arcillas.
Fuente: (Barranzuela, 2014)

Existen grandes cantidades de arcillas que cuentan con un porcentaje elevado de partículas cuyo diámetro es inferior a un micrón (0.001mm). La forma de estas partículas es delgada, plana y alargada. La arcilla cuenta con un área superficial por unidad de volumen muy grande, producto de la combinación de tamaño de sus partículas y su forma. El tamaño extremadamente pequeño de las partículas de arcillas es producto de la desintegración de la roca por el choque entre las partículas de las rocas. Pero en combinación con los granos diminutos de algunas arcillas se encuentran mezclados fragmentos de mayor tamaño. Estos granos de mayor tamaño pueden ser feldespatos inalterados, cuarzo u algún otro mineral que se ha unido a la arcilla producto del transporte o durante la sedimentación (Barranzuela, 2014)

De acuerdo con SUCS (2001) citado en Barranzuela (2014) “El tamaño típico de es de 4.75mm a 0.075mm de diámetro para arenas y menores de 0.075 de diámetro para arcillas”

De acuerdo con Besoain (1985) citado en Barranzuela (2014) “La proporción de los minerales en una arcilla varía con el tamaño del gránulo, es decir, hay tendencia a que se concentren algunos minerales entre límites de determinado tamaño. Así, el cuarzo, y más

aún el feldespato, se acumula preferentemente en la fracción de la arcilla gruesa ($2-0.2\mu\phi$). Por el contrario, los minerales propios de la arcilla son los más abundantes en las fracciones más finas. Por lo general, en tamaños menores a $0.2\mu\phi$, existen sólo minerales de arcilla y algunos óxidos. La determinación completa de una arcilla sólo puede lograrse efectuando las segregaciones o fraccionamientos de tamaño adecuados. Una correcta identificación debe preservar las características que exhiben los minerales en su estado natural”

2.3.7 Clasificación de las Arcillas.

Diversos autores establecen la clasificación de las arcillas teniendo en cuenta ciertos aspectos. Como son su origen, su composición o su capacidad para absorber agua.

2.3.7.1 Por su Origen:

De acuerdo a Gallegos (2005) citado en Barranzuela (2014) Los depósitos primarios de arcilla se han formado en el mismo lugar que sus rocas madres. Las arcillas derivan directamente de la degradación natural de las rocas ígneas o de los feldespatos.

De acuerdo con del rio (1975) citado en Barranzuela (2014) Es por ello que la arcilla originaria de estos depósitos suministra los productos más puros, pero se encuentran raramente.

De acuerdo a Hamilton (1989) citado en Barranzuela (2014) Debido a que la arcilla no ha sido sometida al proceso de selección de granos mediante la suspensión en el agua, los granos grandes y pequeños se encuentran mezclados. Comúnmente los bancos de arcillas primarias tienden a tener granos gruesos y una plasticidad baja (Ver figura 6).

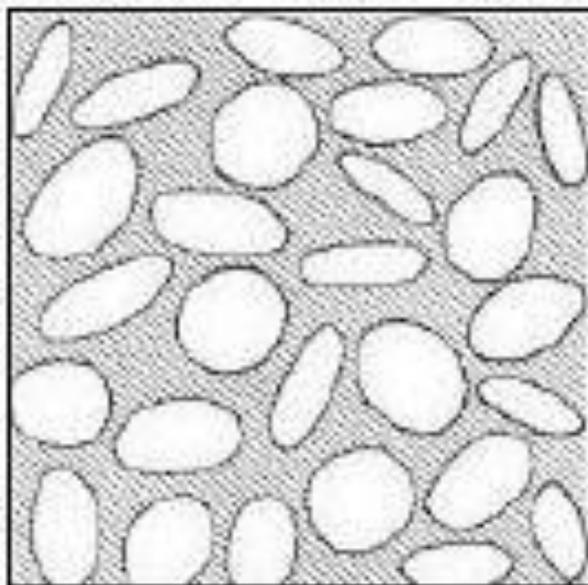


Figura 6: Distribución Esquemática de las Partículas en una Arcilla Residual o Primaria.

Fuente: (Hamilton, 1989).

A pesar de que las arcillas primarias generalmente tienden a estar libres de impurezas, no existen depósitos de arcilla en donde sea posible encontrar arcillas 100% puras. Esto se debe a que incluso las arcillas residuales contienen algunas impurezas, producto de la asociación de varios minerales de arcilla con otros minerales. (Barranzuela, 2014)

Las arcillas primarias se caracterizan por:

- Alto grado de refractariedad, ya que se funden a temperaturas apenas menores a los 1750° C.
- Relativa pureza, ya que tienen altos porcentajes de sílice y alúmina, y bajo contenido de óxido de hierro y otras impurezas; en su composición química.
- Color blanco adquirido después de la cocción, producto de su bajo contenido de impurezas.
- Poca plasticidad al ser moldeadas, ya que no conservan la forma que se les da después del moldeo.

b) Arcillas Secundarias o Sedimentarias:

De acuerdo con Del rio (1975) citado en Barranzuela (2014) Los depósitos secundarios resultan del transporte de la arcilla por la acción del agua, viento o del hielo. La arcilla procedente de estos depósitos es la que más abunda en la Tierra.

Las arcillas secundarias hacen referencia al tipo de arcilla que no se encuentra en el mismo lugar en donde se realizó la desintegración de su roca madre, y ha sido transportada a otro lugar. El medio más común en el que son transportadas las partículas de este tipo de arcillas es el agua, pero el viento y los glaciares también funcionan como medio de transporte para estas arcillas. Las arcillas transportadas por agua sufren dos procesos durante su transporte. Primero son disminuidas de tamaño debido al desgaste por rozamiento entre las partículas, y después, al llegar a aguas tranquilas pasan por un proceso de selección (Mamani, 2015)

Las principales características de las arcillas secundarias son:

- Alto grado de plasticidad, ya que tienen granos más pequeños (ver Figura 5).
- Pueden adquirir diferentes coloraciones después del proceso de cocción, desde blanco hasta marrón oscuro, la razón es porque cuentan con un alto contenido de impurezas.
- Su punto de fusión generalmente se encuentra entre los 1150°C y los 1500°C

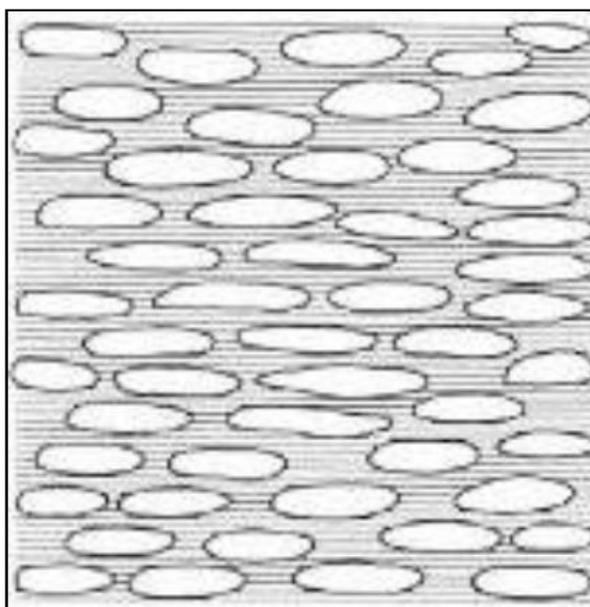


Figura 7: Distribución Esquemática de las Partículas en una Arcilla Sedimentaria o Secundaria

Fuente: (Hamilton, 1989).

2.3.7.4 Arcillas para la Fabricación de Ladrillos:

De acuerdo a Gallegos (2005) citado en Mamani (2015) Dependiendo de las condiciones y factores que influyeron en la formación de las arcillas, éstas presentarán diferentes características propias de cada tipo que determinarán las propiedades que va a tener la mezcla de la cual formen parte, en este caso para la elaboración de ladrillos.

- Los materiales utilizados en la fabricación de ladrillos son por lo general arcillas amarillas o rojas de composición heterogénea o relativamente impura (casi siempre secundarias).
- Las arcillas usadas en la mezcla deben ser plásticas al mezclarse con agua, de modo tal que puedan ser formadas en moldes o por el dado de las máquinas extrusoras que moldean y dan la forma definitiva a las unidades de arcilla.
- Sus partículas deben tener suficiente adhesión para mantener la estabilidad de la unidad después del moldeo y ser capaces de unirse fundiéndose cuando se calientan a temperaturas elevadas.

Mamani (2015) De acuerdo con estas características, son las arcillas superficiales las que satisfacen estas condiciones para ser adecuadas para la fabricación de ladrillos. Este tipo de arcillas son las más fáciles de explotar porque corresponden a una formación sedimentaria reciente y, por lo tanto, son las más empleadas. Sin embargo, al estar más expuestas a la contaminación con sales por razones naturales y por el empleo agrícola del suelo, ellas producen las unidades más vulnerables a la eflorescencia.

2.3.7.5 Impurezas Frecuentes y su Influencia Sobre las Unidades de Arcillas:

De acuerdo a Gallegos (2005) citado en Mamani (2015) No hay arcilla perfectamente pura, sino que siempre va acompañada por más o menos cantidad de materias extrañas a ella que constituyen las llamadas impurezas. Estas impurezas pueden encontrarse en ella a partir de su origen; pueden también hallarse accidentalmente o haber sido incorporadas mucho más tarde.

a) Impurezas de Origen:

Con frecuencia provienen de los residuos que han dejado las rocas cuando, en su desintegración, dan origen a la arcilla. El cuarzo y la mica son los que se encuentran más frecuentemente y en mayor cantidad. Por consiguiente, solamente deben considerarse

como impurezas principales el cuarzo y la mica. A veces se podrá encontrar algo más, pero es tan poco y tan raras veces, que no tiene importancia tenerlo o no en cuenta.

b) Impurezas Accidentales:

De acuerdo con Del Rio (1975) citado en Mamani (2015) Aparecen en las arcillas que han sido desplazadas y arrastradas a lugares lejanos de los de su formación a causa de perturbaciones geológicas; por lo tanto, no es sorprendente que en dichas arcillas se hayan depositado cuerpos extraños que han sido arrastrados en su desplazamiento. Tales son los carbonatos alcalinotérreos o terrosos (calcio, magnesio), los compuestos ferruginosos y el rutilo, que es el anhídrido titánico.

De acuerdo con Del Rio (1975) citado en Mamani (2015) Las pirritas de hierro no aparecen extremadamente puras en las arcillas; por el contrario, a veces están completamente oxidadas. La arcilla que posea pirritas es porosa bajo la influencia del calor. Sometida a la acción de una llama reductora, la pirrita se transforma en sulfuro de hierro fácilmente reducible a polvo, lo cual puede producir hendiduras. Bajo fuego oxidante aparece la producción de óxido de hierro y compuestos oxigenados de azufre.

De acuerdo con Del Rio (1975) citado en Mamani (2015) Combinaciones sulfurosas pueden originar graves inconvenientes en la cocción de los ladrillos, puesto que éstos son alterados fácilmente por esa causa.

De acuerdo con Del Rio (1975) citado en Mamani (2015) Las piezas elaboradas conteniendo sulfuro de hierro se mantienen húmedas durante un tiempo bastante largo y cada grano de sulfuro, al oxidarse, conduce indefectiblemente a una destrucción de la homogeneidad de la región arcillosa que lo envuelve, y esta falta de homogeneidad provoca una rotura.

2.3.7.6 Efectos de la Calidad de la Materia Prima en la Calidad Final de las Unidades:

Las características y propiedades de las unidades de arcilla son afectadas por diversos factores, pero determinante es la composición química de la materia prima. Aunque el proceso de moldeo y cocción también son relevantes, éstos se establecen en función de las características de la materia prima. (Mamani, 2015).

La presencia de carbono puede llegar a producir unidades ennegrecidas por dentro si no se ha tomado un adecuado control del proceso de cocción. (Mamani, 2015).

Asimismo, la presencia de pirritas de hierro en exceso puede ocasionar coloraciones indeseables. También puede llegar a alterar la textura de las unidades de albañilería por la aparición de cuarteaduras sobre el producto obtenido. (Mamani, 2015).

Existen algunos minerales tales como sílice, cal y feldespato que proporcionan compacidad a las unidades, de presentarse exceso de estos minerales, se perdería la cohesión y homogeneidad del material. Así, la sílice debe mantenerse en un rango de 50% a 60% y la cal debe encontrarse por debajo del 10%. Estos valores límite también evitan el agrietamiento en el producto final (Mamani, 2015).

Otros minerales como el cuarzo, disminuyen la retracción y contribuyen a la refractariedad. La alúmina en porcentajes mayores a cinco, proporciona el aumento de la refractariedad del material (Mamani, 2015).

Una característica importante en las unidades es que no debe presentar eflorescencia; para ello el porcentaje de álcalis y ácidos presentes en la materia prima debe permanecer por debajo del 0.2% (Mamani, 2015)

2.4 LADRILLO.

Según la (NTE INEN 293, 1978) la definición del ladrillo es la siguiente manera.

Es una pieza de arcilla moldeada y cocida, en forma paralelepípedo o prisma regular, que se emplea en albañilería.

El ladrillo es un material utilizado en la construcción, fabricado de arcilla o tierra arcillosa, a veces con adición de otros materiales, de suficiente plasticidad o consistencia para que puedan tomar forma permanente y secarse sin presentar grietas, nódulos o deformaciones.

Los ladrillos se fabrican por el procedimiento de cocción al rojo, a una temperatura mínima de 800°C. Una vez cocidos, deben tener una masa homogénea de resistencia uniforme. Deben tener un color rojizo y, cuando se golpean con un material duro, deben emitir un sonido metálico.

2.4.1 Partes de un Ladrillo.

Los ladrillos son piezas cerámicas suelen ser de forma rectangular pero también se fabrican una gran variedad de piezas en formas y tamaños (Deleg, 2010)

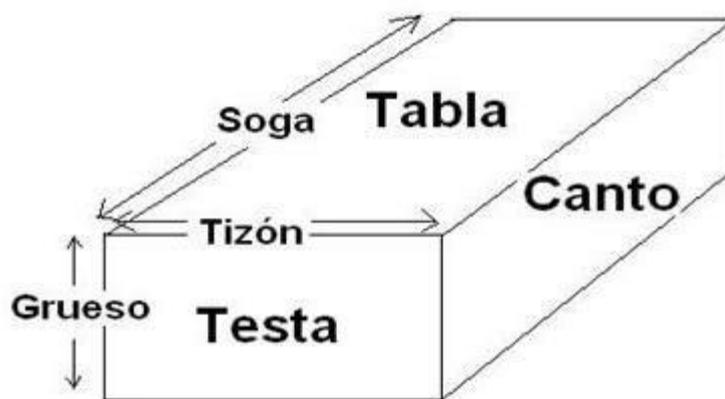


Figura 8: Partes del Ladrillo

Fuente: DELEG (2010)

Aristas

- Soga: arista mayor
- Tizón: arista media
- Grueso: arista menor

Caras

- Tabla: cara mayor
- Canto: cara media
- Testa: cara menor.

2.4.2 Clasificación de Ladrillos.

Según la (NTE INEN 293, 1978), ladrillos cerámicos, definiciones, clasificación y condiciones generales los clasifica de la siguiente manera:

- Ladrillo común (mambrón). Es el ladrillo moldeado a mano.

- Ladrillo de máquina. Es el ladrillo moldeado mecánicamente y en producción continua.
- Ladrillo reprensado. Es el ladrillo que se prensa entre el moldeo y la cochura.
- Ladrillo macizo. Es el ladrillo fabricado a mano o a máquina sin perforaciones en su interior, o con perforaciones celulares que pueden llegar hasta el 20% de su volumen.
- Ladrillo hueco. Es el ladrillo fabricado a máquina con perforaciones en su interior, que pasan del 20% de su volumen.

2.5 PROCESO FABRICACIÓN DE LADRILLO

La fabricación de ladrillo de buena calidad dependerá directamente del tipo de arcilla que se utilice, libre de impurezas (materia orgánica), mezcla homogénea y debe presentar propiedades plásticas para evitar que durante la etapa de secado el ladrillo se agriete. El proceso de fabricación de los ladrillos consta de varias fases fundamentales, según sea su proceso de fabricación, artesanal (Zea, 2005).

2.5.1 Proceso Fabricación Ladrillo Artesanal

Este es el proceso tradicional, empleado por años, trasladado y enseñado de generación en generación. Los métodos empleados en la fabricación del ladrillo son empíricos, basados en la experiencia de los artesanos. El proceso de fabricación está conformado por las siguientes fases (Zea, 2005).

2.5.2 Extracción del Material

La extracción de la arcilla es la primera fase del proceso de fabricación, es extraída de los bancos de los mismos materiales, por medio de piochas, azadón o pala; transportada en camino o pick up a las fábricas artesanales, donde el material es depositado por medio de carretillas en mano. Tanto la localización y ubicación de los campos de materiales como la calidad de arcilla. Incidente es el costo de ladrillo como producto final (Zea, 2005).

2.5.3 Tratamiento de Material

El material es tratado según el estado del tiempo. Se presentan distintas condiciones climatológicas (invierno y verano), se recolecta la arcilla y es almacenada en las fábricas artesanales a la intemperie (Zea, 2005).

2.5.4 Amasado

Se colocan diferentes cantidades, proporciones de materia prima (arcilla, greda, arena), humedecida sobre una superficie plana y espaciosa al aire libre, en la cual el artesano realiza un amasado continuo. El proceso puede durar varias horas, durante las cuales se eliminan aquellos cuerpos extraños; con el propósito de dar flexibilidad y homogeneidad a la mezcla (Zea, 2005).

2.5.5 Reposo o Madurado

Es el tiempo de reposo que se da a la mezcla, en un periodo aproximado de 10- 15 horas, con el propósito que pierda agua de manera natural y presente mejor trabajabilidad (Zea, 2005).

2.5.6 Moldeado

Los artesanos toman un volumen de la mezcla y la vierten en un molde paralelepípedo, luego se presiona con los puños para eliminar los vacíos, es recubierta con una fina capa de aserrín para evitar que se pegue. Se enrasa con la mano o con un trozo de madera la pasta sobrante y se levanta el molde intentando no deshacer el ladrillo (Zea, 2005).

2.5.7 Secado

De acuerdo con Robusté (1969) citado en Barranzuela (2014) El secado de los ladrillos es una de las partes más delicadas de la fabricación, pues un secado muy rápido puede rajarlos y un secado incompleto puede impedir el buen cocimiento.

Una vez moldeado los ladrillos son secados al aire libre, esto hace que esta actividad se vea limitada por las condiciones climáticas. Esta etapa de secado se realiza en dos fases:

1. Los ladrillos recién formados se dejan bajo techo para que se sequen al medio ambiente, hasta cuando hayan perdido una humedad que les permita manipular, entonces se procede a una etapa intermedia que es el raspado, lo cual consiste en eliminar los excesos de masa o ciertas deformaciones.

2. Luego del raspado se dejan secar totalmente los ladrillos apilándolos de tal manera que permita una buena circulación de aire entre ellos, favoreciendo de esta manera el secado.

2.5.7 Cocción

Durante el proceso de cocción del producto a temperaturas mayores de 850°C, los componentes granulares que se habían añadido a la masa arcillosa desaparecen sin dejar residuo y se logra una porosidad controlada y homogénea repartida en toda la masa del bloque. Para lograr la optimización del proceso de cocción y evitar la aparición de efectos que durante el mismo pudieran producirse, es necesario conocer perfectamente las reacciones que tienen lugar en la pieza durante el mismo (absorción y desprendimiento de calor, desprendimiento de gases, dilatación y contracciones, etc.) Barranzuela (2014)

Para efectuar una buena cocción hay que tener en cuenta que existen determinados intervalos de temperatura en los que se originan fuertes contracciones o dilataciones del material. Estas son las zonas críticas donde se producen las fisuras de precalentamiento, cocción y enfriamiento. Por lo tanto, en estos intervalos de temperatura de deberá tener en cuenta la velocidad de cocción, control de temperaturas, volumen de carga y disposición y separación de las piezas, establecimiento una curva de temperatura considerada como la curva ideal de cocción. Barranzuela (2014).

2.6 PROPIEDADES DE LOS LADRILLOS Y SU NORMALIZACIÓN

2.6.1 Propiedades ingenieriles:

Algunas propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos de arcillas son las siguientes (Gallegos, 2005) citado en Barranzuela (2014)

Relacionadas con la resistencia estructural:

- Resistencia a la compresión: Propiedad mecánica que le permite al ladrillo soportar a compresión.

- Variabilidad dimensional con relación a la unidad nominal, o mejor con relación a la unidad promedio y, principalmente, la variabilidad de la altura de la unidad.
- Alabeos, medidos como concavidades o convexidades en las superficies de asiento.
- Succión o velocidad inicial de absorción en la cara de asiento.

Relacionadas con la Durabilidad:

(Gallegos, 2005) citado en Barranzuela (2014)

- Absorción: Propiedad física que hace referencia a la capacidad de retener una sustancia (agua) en estado líquido.
- Resistencia a la congelación: Capacidad de los ladrillos de soportar bajas temperaturas sin perder sus propiedades ni sufrir fracturas.
- Resistencia al fuego: Propiedad física de los ladrillos que consiste en soportar altas temperaturas sin sufrir daños.
- Aislamiento térmico: Propiedad física que no permite la transferencia de calor, ya que tiene una baja conductividad térmica.

2.7 CLASIFICACIÓN DE LOS LADRILLOS

De acuerdo con sus propiedades, el Reglamento Nacional de Edificaciones, clasifica al ladrillo en cinco tipos:

- Tipo I: Resistencia y durabilidad muy bajas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio con exigencias mínimas.
- Tipo II: Resistencia y durabilidad bajas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicios moderadas.
- Tipo III: Resistencia y durabilidad media. Apto para construcciones de albañilería de uso general.
- Tipo IV: Resistencia y durabilidad altas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio rigurosas.
- Tipo V: Resistencia y durabilidad muy altas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio particularmente rigurosas.

- La Norma Técnica Peruana 331.017 (2003), clasifica a los ladrillos de arcilla, en cuatro tipos, tal como sigue:
- Tipo 21: Para uso donde se requiera alta resistencia a la compresión y resistencia a la penetración de la humedad y a la acción severa del frío.
- Tipo 17: Para uso general donde se requiere moderada resistencia a la compresión y resistencia a la acción del frío y a la penetración de la humedad.
- Tipo 14: Para uso general donde se requiere moderada resistencia a la compresión.
- Tipo 10: Para uso general donde se requiere moderada resistencia a la compresión.

2.8 NORMATIVIDAD DE ALBAÑILERÍA

La Norma de Albañilería E-070 Establece los requisitos y las exigencias mínimas para el análisis, el diseño, los materiales, la construcción, el control de calidad y la inspección de las edificaciones de albañilería estructuradas principalmente para muros confinados y muros armados.

2.8.1 Unidad de Albañilería:

Se denomina ladrillo a aquella unidad cuya dimensión y peso permite que sea manipulada con una sola mano. Las unidades de albañilería a las que se refiere esta norma son ladrillos en cuya elaboración se utiliza arcilla, como materia prima.

Estas unidades pueden ser sólidas, huecas, alveolares o tubulares y podrán ser fabricadas de manera artesanal o industrial (La Norma de Albañilería E-070)

2.8.1 Clasificación para Fines Estructurales:

Para efectos del diseño estructural, las unidades de albañilería tendrán las características indicadas en la tabla 1.

Resistencia a la Compresión. - Para la determinación de la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería, se efectuará los ensayos de laboratorio correspondientes, de acuerdo a lo indicado en las Normas NTP 399.613 y 339.604. La resistencia característica a compresión axial de la unidad de albañilería se obtendrá restando una desviación estándar al valor promedio de la muestra.

Tabla 1: Clase de Unidad de Albañilería para Fines Estructurales cm²

CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSIÓN (máxima en porcentaje)			ALABEO (máximo en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A LA COMPRESIÓN
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Hasta 150 mm		f mínimo en Mpa (kg)cm ² sobre área bruta
	Ladrillo I	± 8	± 6		± 4
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) Bloque	± 4	± 3	± 2	± 4	4.9 (50)
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: Norma técnica E.070 albañilería

2.9 HORNOS

Es un dispositivo en el que se libera calor y se transmite directa o indirecta a una masa sólida o fluida con el fin de producir en ella una transformación física o química

Las partes constitutivas de un horno son:

- Elemento generador
- Sistema de alimentación de material
- Cámara principal
- Aislantes térmicos
- Sistemas de medición y control
- Redes de suministro de combustible o cableado de potencia (según el Tipo de combustible).
- Redes eléctricas
- Recubrimiento externo.

2.9.1 Tipos de Hornos

Hay muchos tipos de horno, que se pueden clasificar según su aplicación y la fuente de energía que utilizan. Una primera clasificación se podría hacer de la siguiente manera (Pumacahua, 2009)

a. Hornos Domésticos.

b. Hornos Industriales

- Hornos en la industria metalúrgica
- Hornos en la industria cerámica

Hornos en la Industria Cerámica

En la industria cerámica se utilizan para cocer ladrillos, azulejos, tejas, porcelana y otros productos, y en la elaboración de cemento. Los hornos utilizados en esta industria son de dos tipos: hornos intermitentes, donde el fuego se apaga cuando no está cargado y se enciende cuando se introduce una hornada, y hornos continuos, en los que la carga y descarga se realiza con el horno encendido. En la actualidad se utilizan ambos tipos, aunque los diferentes modelos de horno continuo son más aducado para la producción a gran escala (Pumacahua, 2009)

Horno Vertical de Producción Continúa de Ladrillos

El funcionamiento de este horno consta de dos principales actividades, que son: carga y descarga. Después de carga una seria por la parte superior del horno, se realiza una descarga en la parte inferior. Una serie este compuesto por cuatro capas con una disposición especial de tal manera que brinde estabilidad y resistencia a las demás series: entre capa y capa se esparce cisco de carbón mineral (Pumacahua, 2009)

2.10 EXPERIMENTOS CON MEZCLAS

El diseño experimental se plantea en función del problema y del objetivo, en este trabajo de investigación, se aplica una metodología de planeación y análisis que asegure obtener conocimiento y soluciones (Gutiérrez, 2008).

En general, en un problema de experimentos con mezcla se tendrán (q) componentes o ingredientes y cada tratamiento en el experimento consiste en una combinación particular o mezcla de dichos ingredientes. Si se denotan por x_1, x_2, \dots, x_q , las proporciones en las que participan los componentes de la mezcla deben satisfacer dos restricciones (Gutiérrez, 2008).

$$0 \leq x_i \leq 1, \text{ Para cada componente } i$$

$$\sum_{i=1}^q x_i = x_1 + x_2 + \dots + x_q = 1$$

La primera indica que las proporciones tienen que ser cantidades entre cero y uno, y la segunda condición a que las (q) proporciones sumen siempre la unidad, lo cual causa que los niveles de los componentes x_i no sean independientes entre sí. De aquí que los diseños de experimentos factoriales y de las superficies de respuesta usuales (Gutiérrez, 2008).

2.10.1 Algunos Diseños de Mezcla y sus Modelos Estadísticos

Los dos tipos básicos de diseños para estudiar el efecto de los componentes de la mezcla sobre la respuesta son el simplex- reticular (simplex –lattice) y el simplex con centroide (simplex – centroide). El diseño simplex reticular (q, m) considera (q) componentes y permite ajustar un modelo estadístico de orden m . los puntos del diseño consiste en todas las posibles combinaciones de componentes o mezcla que se forman al considerar que las proporciones pueden tomar los $m+1$ valores entre cero y uno dados por (Gutiérrez, 2008).

2.10.2 Aumento del Diseño

El diseño simple reticular incluye básicamente puntos en la frontera. Pero si el experimentador desea predicciones en el interior es recomendable agregar corridas que estén en el interior. En particular se recomienda agregar el centroide global y las mezclas localizadas entre el centroide y el vértice. Por ejemplo, en la figura se muestra un diseño simplex reticular (3,2) aumentado (Gutiérrez, 2008).

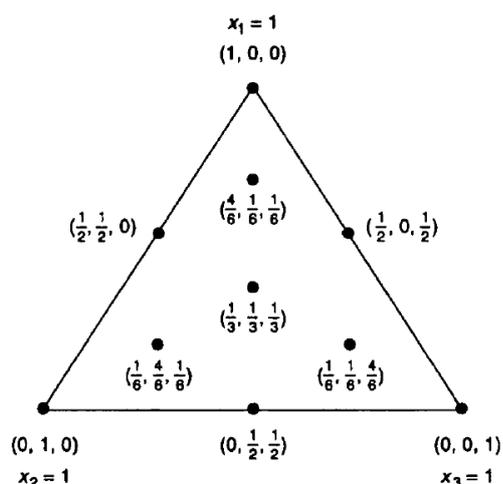


Figura 9: Diseño Simplex Reticula

Fuente: Gutiérrez (2008)

2.10.3 Diseño simplex centroide

El diseño simplex centroide que se aplica con pocos componentes y consiste en 2^{q-1} puntos definidos de la siguiente forma: las (q) mezclas puras, todos los puntos medios de las aristas definidos por cada dos vértices del simplex $(1/2, 1/2, 0, \dots, 0, 0, \dots, 1/2, 1/2)$; los centroides de las caras definidas por cada tres vértice del simplex: $(1/3, 1/3, 1/3, 0, \dots, 0)$ $(0, \dots, 0, 1/3, 1/3, 1/3)$; y así poder obtener el centroide global $(1/q, \dots, 1/q)$ (Gutiérrez, 2008).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

3.1.1 Materiales

- Arcilla
- Greda
- arena
- Luna de reloj
- Moldes de madera
- Envases de plásticos
- Plancha de media 23*12 cm
- Vidrio simple 23*12 cm
- 10 lavadores
- Baldes
- Juego de tamices ASTM
- Espátula
- Platos petric

3.1.2 Instrumento de medición

- Balanza analítica CAMRY
- balanza analítica AB204 METTLER TOLEDO
- Vaso precipitado 250 ml (VWR)
- Picnómetro de 25 ml (Germany)
- Fiola de 100ml (LBL Germany, Witeg, Pyrex, Normax, Brand)
- Cronometro
- Potenciómetro
- Matraz de 10 ml
- Cámara digital
- Regla de 20 cm

3.1.3 Equipos

- Secador (VWR)
- Horno eléctrico de altas temperaturas para cerámicos (UNSSAC)
- Agitador (RZR 2051)
- Horno eléctrico

3.2 DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES

3.2.1 Variables Independientes

Las características de calidad de la mezcla dependen de las proporciones con las que participan los ingredientes y no de la cantidad absoluta de ellos. (Gutiérrez, 2008)

Arcilla. Variación del porcentaje de arcilla

Greda. Variación del porcentaje de greda

Arena. Variación del porcentaje de arena

3.2.2 Variables Dependientes:

Resistencia a la compresión. - es la resistencia más importante de albañilería.

3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL DE MEZCLAS

El diseño utilizado de acuerdo al tipo de investigación se usará el diseño de mezcla (simplex - centroide). El número total de experimentos estará definido por:

$$N = 2^{q-1}$$

Donde:

N= Número de experimentos

q= Número de variables independientes

3.3.1 Pseudocomponentes para Ingredientes con Cotas Inferiores

(Kuehl, 2000) Muchas mezclas requieren que todos los componentes estén presentes al menos en una proporción mínima

Las cotas mínimas, L_i , para las proporciones de las componentes imponen la siguiente restricción:

$$0 \leq L_i \leq x_i \leq 1$$

Sobre las proporciones. Supongamos que las cotas inferiores para Arcilla (x_1), Greda (x_2), arena (x_3)

Tabla 2: Cotas Inferiores

cotas inferiores
$65.0000 \leq x_1$
$12.0000 \leq x_2$
$5.0000 \leq x_3$

Para simplificar la construcción de las coordenadas del diseño, se construye un conjunto de pseudocomponentes codificando los variables de las componentes originales en un sistema de coordenadas simplex centroide ampliado para las variables de las pseudocomponentes \tilde{x}_i , con restricción $0 \leq \tilde{x}_i \leq 92.0000$ Si la cota inferior de la componente i es L_i y $L = \sum L_i$ entonces la pseudocomponente se calcula como:

$$\tilde{x}_i = \frac{X_i - L_i}{92.0000 - L}$$

Es posible construir un diseño con los componentes originales basado en la coordenadas de las pseudocomponentes que se establece en un simplex normal con $\sum \tilde{x}_i = 92.0000$ Las proporciones de los componentes originales necesario para las mezclas en el experimento se pueden derivar median las transformaciones inversa:

$$x = L_i + \tilde{x}_i(92.0000 - L)$$

Para la mezcla de arcillas, las cotas inferiores son $L_1 = 65.0000$, $L_2 = 12.0000$, $L_3 = 5.0000$, suman $L = 65.0000 + 12.0000 + 5.0000 = 82.0000$

Medida Lineal del Diseño Simplex "RL"

$$R_L = \sum_{i=1}^q x_i - \sum_{i=1}^q L_i$$

$$RL = 92.0000 - 82.0000 = 10.0000$$

Y las pseudocomponentes son:

Para arcilla

$$\bar{x}_1 = \frac{x_1 - 65.0000}{10.0000}$$

$$x_1 = 65.0000 + (10.0000) \bar{x}_1$$

Para greda

$$\bar{x}_2 = \frac{x_2 - 12.0000}{10.0000}$$

$$x_2 = 12.0000 + (10.0000) \bar{x}_2$$

Para arena

$$\bar{x}_3 = \frac{x_3 - 5.0000}{10.0000}$$

$$x_3 = 5.0000 + (10.0000) \bar{x}_3$$

3.3.2 Coordenadas de Pseudocomponentes

Tabla 3 Diseño de Simplex centroide Ampliado de Psuedocomponentes

Número De Prueba	Diseño de simplex centroide aumentado		
	\bar{x}_1	\bar{x}_2	\bar{x}_3
1.0000	1.0000	0.0000	0.0000
2.0000	0.0000	1.0000	0.0000
3.0000	0.0000	0.0000	1.0000
4.0000	1/2.0000	1/2.0000	0.0000
5.0000	1/2.0000	0.0000	1/2.0000
6.0000	0.0000	1/2.0000	1/2.0000
7.0000	1/3.0000	1/3.0000	1/3.0000
8.0000	4/6.0000	1/6.0000	1/6.0000
9.0000	1/6.0000	4/6.0000	1/6.0000
10.0000	1/6.0000	1/6.0000	4/6.0000

Y las transformaciones para regresar a las proporciones de los componentes originales a partir de las pseudocomponentes para el primer experimento son:

Para arcilla

$$x_1 = 65.0000 + (10.0000) \bar{x}_1$$

$$x_1 = 65.0000 + (10.0000)(1.0000)$$

$$x_1 = 75.0000$$

Para greda

$$x_2 = 12.0000 + (10.0000) \bar{x}_2$$

$$x_2 = 12.0000 + (10.0000)(0)$$

$$x_2 = 12.0000$$

Para arena

$$x_3 = 5.0000 + (10.0000) \bar{x}_3$$

$$x_3 = 5.0000 + (10.0000)(0.0000)$$

$$x_3 = 5.0000$$

El diseño completo para el experimento de la mezcla de arcilla, greda, arena se muestra en la tabla 4

Tabla 4: Componentes Originales de un Diseño de Reticular Símplex Centroide Ampliado

Número De Prueba	% de Arcilla	% de Greda	% de arena
1.0000	75.0000	12.0000	5.0000
2.0000	65.0000	22.0000	5.0000
3.0000	65.0000	12.0000	15.0000
4.0000	70.0000	17.0000	5.0000
5.0000	70.0000	12.0000	10.0000
6.0000	65.0000	17.0000	10.0000
7.0000	68.3333	15.3333	8.3333
8.0000	71.6667	13.6667	6.6667
9.0000	66.6667	18.6667	6.6667
10.0000	66.6667	13.6667	11.6667

3.4 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

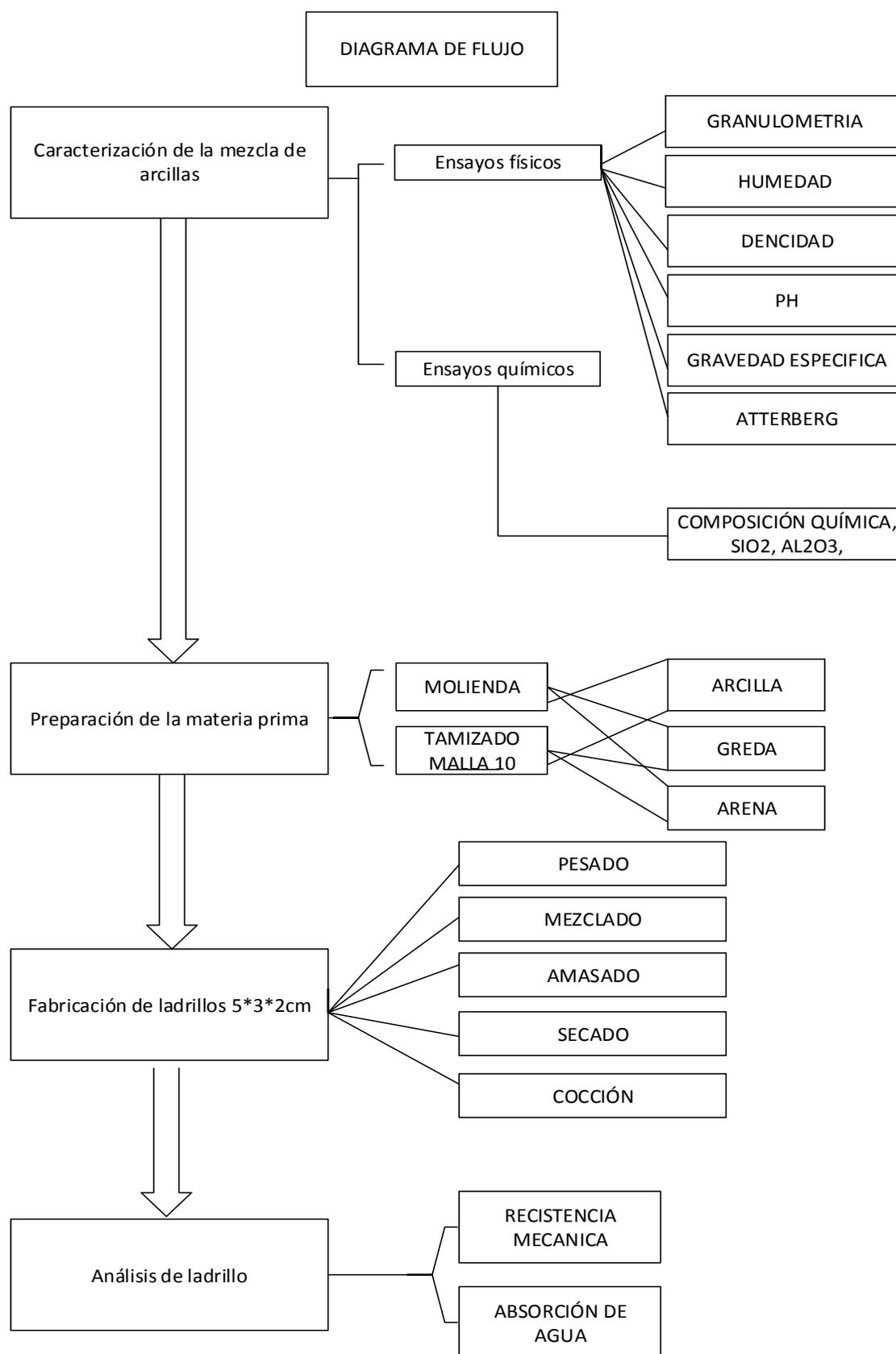


Figura 10: Diagrama de Flujo para la Realización de los Procedimientos de Análisis de Fisicoquímica - Mecánica.

3.4.1 Secado y Limpieza

Después de muestreo se elimina el agua contenida en las arcillas, pues las arcillas al ser extraída del yacimiento contienen entre un 15 a 40 % de agua en volumen.

La arcilla seca es fácilmente desmenuzada. Luego es sometida a limpieza para eliminar su contenido de materias extrañas tales como piedras, raíces, etc.

En caso de tener arcilla disgregante se puede efectuar la separación del material extraño.

3.4.2 Trituración

Las materias primas, antes de ser utilizadas, se requiere de una reducción del tamaño de sus trozos, agregados, granos, partículas, etc. Los diferentes procesos de trituración persiguen esta finalidad.

3.5 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

3.5.1 Análisis Organoléptico

3.5.1.1 Color

Con este ensayo se tiene una apreciación primaria del mineral tal como se extrae de la cantera. Cuyos resultados se expresan de acuerdo con la carta de colores. Si bien el material en crudo no siempre el de la cochura, nos ayuda a predecir sus posibles contenidos de óxidos en la muestra, tal es el caso de las arcillas que contienen hierro que presentan una coloración rojiza antes y después de la cochura (Llerena, 2003).

3.5.1.2 Textura

Este ensayo se realiza con material seco y húmedo; Coger el material, desmenuzarlo con los dedos friccionando, y su textura. Empleando el tacto podrá determinar la finura de las partículas del material (Llerena, 2003).

3.5.1.3 Dureza

La dureza es la resistencia que oponen los minerales a ser rayados, por la acción de un cuerpo más resistentes. La dureza es el indicio diagnóstico más importante para el reconocimiento de minerales. De manera práctica para medir la dureza, se emplea una

escala que lleva el nombre de Mohs- Anexo N° 1 compuesta por 10 minerales que tienen la raya de color blanco, que se toman como término de comparación (Llerena, 2003).

3.5.2 Humedad de la materia prima:

Se procede a pesar la mezcla de muestra en estudio y luego se somete a la temperatura de 80°C en una estufa, durante un tiempo de 72 h; luego se llevaron a un desecador hasta que alcance a una temperatura ambiente; una vez enfriadas se vuelve a pesar.

La humedad se determinará a través de la siguiente ecuación.

$$\% \text{ de humedad} = \frac{\text{Peso Inicial} - \text{Peso Final}}{\text{Peso Inicial}} \dots\dots\dots \text{Ecuación 1}$$

De la tabla 4: teniendo los componentes originales, en un diseño simple centrado ampliado (3,2), se calcula los componentes que se desean pesar por ejemplo.

Para el primer experimento dé % de humedad

$$\text{Arcilla} = \frac{\text{Peso total de muestra} * \text{Componente original de arcilla}}{\text{Mezcla total}}$$

$$\text{Arcilla} = \frac{25.0000\text{g} * 75.0000}{92.0000}$$

$$\text{Arcilla} = 20.3804\text{g.}$$

$$\text{Greda} = \frac{\text{Peso total de muestra} * \text{Componente original de greda}}{\text{Mezcla total}}$$

$$\text{Greda} = \frac{25.0000\text{g} * 12.0000}{92.0000}$$

$$\text{Greda} = 3.2609\text{g.}$$

$$\text{arena} = \frac{\text{Peso total de muestra} * \text{Componente original de arena}}{\text{Mezcla total}}$$

$$\text{arena} = \frac{25.0000\text{g} * 5.0000}{92.0000}$$

$$\text{arena} = 1.3587\text{g.}$$

Y así sucesivamente estos resultados se reportan en la tabla 5.

Tabla 5: Componentes Originales y Proporciones a pesar para la Determinación de % de Humedad

Número De Prueba	Componentes originales			Mezcla Total	Peso Total de muestra	Proporciones a pesar		
	% de Arcilla	% de Greda	% de Arena			g. de arcilla	g. de greda	g. de Arena
1.0000	75.0000	12.0000	5.0000	92.0000	25.0000	20.3804	3.2609	1.3587
2.0000	65.0000	22.0000	5.0000	92.0000	25.0000	17.6630	5.9783	1.3587
3.0000	65.0000	12.0000	15.0000	92.0000	25.0000	17.6630	3.2609	4.0761
4.0000	70.0000	17.0000	5.0000	92.0000	25.0000	19.0217	4.6196	1.3587
5.0000	70.0000	12.0000	10.0000	92.0000	25.0000	19.0217	3.2609	2.7174
6.0000	65.0000	17.0000	10.0000	92.0000	25.0000	17.6630	4.6196	2.7174
7.0000	68.3333	15.3333	8.3333	91.9999	25.0000	18.5688	4.1667	2.2645
8.0000	71.6667	13.6667	6.6667	92.0001	25.0000	19.4746	3.7138	1.8116
9.0000	66.6667	18.6667	6.6667	92.0001	25.0000	18.1159	5.0725	1.8116
10.0000	66.6667	13.6667	11.6667	92.0001	25.0000	18.1159	3.7138	3.1703

En la tabla 5 en la parte izquierdo se muestran los % de componentes originales de Arcilla, Greda, arena y en la parte derecha se muestran las proporciones a pesar para la determinación de % de Humedad.



Figura 11: Codificado de matraces y pesado de las muestras para la determinación el porcentaje de humedad de la materia prima

3.5.3 Peso específico, método picnómetro (Norma AASHTO TO 100)

Para la determinación del peso específico se sigue el siguiente procedimiento:

- Pesar el picnómetro vacío, incluido su tapón (P₁)
- Pesar aproximadamente 6g de la muestra a ser analizada y vaciar dentro del picnómetro (P₂)
- Anotar la masa del picnómetro más muestra al menos 3 veces hasta obtener un valor constante.

- Se agrega agua destilada al picnómetro que incluye la muestra y se pesa con el tapón (P₄)
- Finalmente se pesa el picnómetro con agua destilada, incluido el tapón (P₃)

Cálculos: se aplica la siguiente ecuación matemática:

$$P_e = \frac{P_2 - P_1}{(P_3 - P_1) - (P_4 - P_2)} \dots\dots\dots \text{Ecuación 2}$$

- P₁ = peso del picnómetro vacío.
- P₂ = Peso del picnómetro más muestra.
- P₃ = Peso del picnómetro más agua destilada.
- P₄ = peso del picnómetro más agua destilada y más muestra.

De la tabla 4: teniendo los componentes originales, se calcula los componentes que se desean pesar por ejemplo.

Para el primer experimento de peso específico.

$$\text{Arcilla} = \frac{\text{Peso total de muestra} * \text{Componente original de arcilla}}{\text{Mezcla total}}$$

$$\text{Arcilla} = \frac{6.0000g * 75.0000}{92.0000}$$

$$\text{Arcilla} = 4.8913g.$$

$$\text{Greda} = \frac{\text{Peso total de muestra} * \text{Componente original de greda}}{\text{Mezcla total}}$$

$$\text{Arcilla} = \frac{6.0000g * 12.0000}{92.0000}$$

$$\text{Arcilla} = 0.7826g.$$

$$\text{Arena} = \frac{\text{Peso total de muestra} * \text{Componente original de arena}}{\text{Mezcla total}}$$

$$\text{Arcilla} = \frac{6.0000g * 5.0000}{92.0000}$$

$$\text{Arcilla} = 0.3261g.$$

Y así sucesivamente hasta completar la tabla 6.

Tabla 6: % de Componentes originales y Proporciones a pesar para la Determinación de Peso Específico.

Número De Prueba	componentes originales			Peso Total de muestra	Proporciones a pesar		
	% de Arcilla	% de Greda	% de Arena		g. de arcilla	g. de greda	g. de Arena
1.0000	75.0000	12.0000	5.0000	6.0000	4.8913	0.7826	0.3261
2.0000	65.0000	22.0000	5.0000	6.0000	4.2391	1.4348	0.3261
3.0000	65.0000	12.0000	15.0000	6.0000	4.2391	0.7826	0.9783
4.0000	70.0000	17.0000	5.0000	6.0000	4.5652	1.1087	0.3261
5.0000	70.0000	12.0000	10.0000	6.0000	4.5652	0.7826	0.6522
6.0000	65.0000	17.0000	10.0000	6.0000	4.2391	1.1087	0.6522
7.0000	68.3333	15.3333	8.3333	6.0000	4.4565	1.0000	0.5435
8.0000	71.6667	13.6667	6.6667	6.0000	4.6739	0.8913	0.4348
9.0000	66.6667	18.6667	6.6667	6.0000	4.3478	1.2174	0.4348
10.0000	66.6667	13.6667	11.6667	6.0000	4.3478	0.8913	0.7609

En la tabla 6 en la parte izquierdo se muestran los % de componentes originales de Arcilla, Greda, arena y en la parte derecha se muestran las proporciones a pesar para la determinación de peso específico.



Figura 12: Pesado del Picnómetro + Agua + Muestra

3.5.4 Higroscopicidad.

(Llerena, 2003)

Para determinar la Higroscopicidad se sigue el siguiente procedimiento.

- Pesar luna de reloj
- Poner 5.0000 gramos de arcilla a luna de reloj y echar una solución de ácido sulfúrico al 10% luego llevar a un desecador por un tiempo de 24 horas.
- Retirar las muestras y pesar

Para el cálculo se aplica la siguiente ecuación matemática:

$$H = \frac{p-a}{a} \times 100 \dots\dots\dots \text{Ecuación 3}$$

Donde:

H= higroscopicidad

p= Peso inicial

a= Peso final

Para el primer experimento de Higroscopicidad.

$$\text{Arcilla} = \frac{\text{Peso total de muestra} * \text{Componente original de arcilla}}{\text{Mezcla total}}$$

$$\text{Arcilla} = \frac{5.0000\text{g} * 75.0000}{92.0000}$$

$$\text{Arcilla} = 4.0761\text{g.}$$

$$\text{Greda} = \frac{\text{Peso total de muestra} * \text{Componente original de greda}}{\text{Mezcla total}}$$

$$\text{Arcilla} = \frac{5.0000\text{g} * 12.0000}{92.0000}$$

$$\text{Arcilla} = 0.6522\text{g.}$$

$$\text{Arena} = \frac{\text{Peso total de muestra} * \text{Componente original de arena}}{\text{Mezcla total}}$$

$$\text{Arcilla} = \frac{5.0000\text{g} * 5.0000}{92.0000}$$

$$\text{Arcilla} = 0.2717\text{g.}$$

Y así sucesivamente hasta completar la tabla 7.

Tabla 7: % de Componentes originales, y Proporciones a pesar para Determinar de la Higroscopicidad

Número De Prueba	componentes originales			Peso Total de muestra	Proporciones a pesar		
	% de Arcilla	% de Greda	% de Arena		g. de arcilla	g. de greda	g. de Arena
1.0000	75.0000	12.0000	5.0000	5.0000	4.0761	0.6522	0.2717
2.0000	65.0000	22.0000	5.0000	5.0000	3.5326	1.1957	0.2717
3.0000	65.0000	12.0000	15.0000	5.0000	3.5326	0.6522	0.8152
4.0000	70.0000	17.0000	5.0000	5.0000	3.8043	0.9239	0.2717
5.0000	70.0000	12.0000	10.0000	5.0000	3.8043	0.6522	0.5435
6.0000	65.0000	17.0000	10.0000	5.0000	3.5326	0.9239	0.5435
7.0000	68.3333	15.3333	8.3333	5.0000	3.7138	0.8333	0.4529
8.0000	71.6667	13.6667	6.6667	5.0000	3.8949	0.7428	0.3623
9.0000	66.6667	18.6667	6.6667	5.0000	3.6232	1.0145	0.3623
10.0000	66.6667	13.6667	11.6667	5.0000	3.6232	0.7428	0.6341

En la tabla 7 en la parte izquierdo se muestran los % de componentes originales de Arcilla, Greda, arena y en la parte derecha se muestran las proporciones a pesar para la determinación de Higroscopicidad.



Figura 13: Remojado de las Muestras con Ácido Sulfúrico

3.5.5 Determinación de pH

Para determinar el pH Se añadirá 20 g de mezcla arcilla, pasado por un tamiz malla 200 ASTM, a 50 ml de agua en un vaso de precipitados; luego se agitará la mezcla ligeramente con un agitador eléctrico con hélice durante 15 minutos y finalmente se medirá el pH con el potenciómetro. (Pérez, 2016)

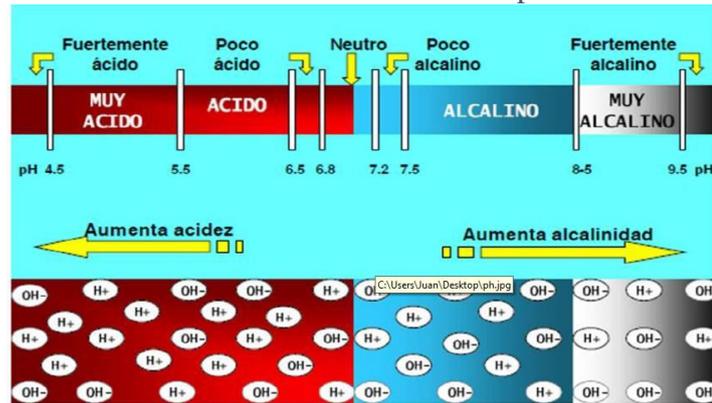
Procedimiento.

- Calibrar del equipo de pH, como indique el manual.
- Muestras preparadas para ser analizadas.
- Limpiar la superficie del electrodo con agua destilada.
- Sumerja el electrodo con el agua que esta que esta disuelta en la muestra.
- Mantener fijo el electrodo por lo menos 15 min o hasta que el equipo lectura de pH.
- Registrar el valor de pH y temperatura.
- Retirar el electrodo y limpiar con agua destilada.
- Realizar al menos 2 veces el procedimiento por cada muestra a ser

Calculo:

El valor registrado se referencia en la siguiente figura.

Tabla 8: Tabla Valores de pH



Fuente: <http://cruochapingohuatusco.blogspot.com/2010/10/07-ph-o-reacción-del-suelo.html>

Para el primer experimento de Determinación de pH.

$$\text{Arcilla} = \frac{\text{Peso total de la muestra} * \text{Componente original de arcilla}}{\text{Mezcla total}}$$

$$\text{Arcilla} = \frac{20.0000\text{g} * 75.0000}{920000}$$

$$\text{Arcilla} = 16.3042\text{g.}$$

$$\text{Greda} = \frac{\text{Peso total de la muestra} * \text{Componente original de greda}}{\text{Mezcla total}}$$

$$\text{Arcilla} = \frac{20.0000\text{g} * 12.0000}{92}$$

$$\text{Arcilla} = 2.6087\text{g.}$$

$$\text{Arena} = \frac{\text{Peso total de la muestra} * \text{Componente original de arena}}{\text{Mezcla total}}$$

$$\text{Arcilla} = \frac{20.0000\text{g} * 5.0000}{92.0000}$$

$$\text{Arcilla} = 1.0870\text{g.}$$

Y así sucesivamente hasta completar la tabla 9.

Tabla 9: % de Componentes originales y Proporciones a pesar para Determinación de Ph.

Número De Prueba	Componentes originales			Peso Total de muestra	Proporciones a pesar		
	% de Arcilla	% de Greda	% de Arena		g. de arcilla	g. de greda	g. de Arena
1.0000	75.0000	12.0000	5.0000	20.0000	16.3043	2.6087	1.0870
2.0000	65.0000	22.0000	5.0000	20.0000	14.1304	4.7826	1.0870
3.0000	65.0000	12.0000	15.0000	20.0000	14.1304	2.6087	3.2609
4.0000	70.0000	17.0000	5.0000	20.0000	15.2174	3.6957	1.0870
5.0000	70.0000	12.0000	10.0000	20.0000	15.2174	2.6087	2.1739
6.0000	65.0000	17.0000	10.0000	20.0000	14.1304	3.6957	2.1739
7.0000	68.3333	15.3333	8.3333	20.0000	14.8551	3.3333	1.8116
8.0000	71.6667	13.6667	6.6667	20.0000	15.5797	2.9710	1.4493
9.0000	66.6667	18.6667	6.6667	20.0000	14.4927	4.0580	1.4493
10.0000	66.6667	13.6667	11.6667	20.0000	14.4927	2.9710	2.5362

En la tabla 9 en la parte izquierdo se muestran los % de componentes originales de Arcilla, Greda, arena y en la parte derecha se muestran las proporciones a pesar para la determinación de pH.



Figura 14: Determinación de la Lectura de pH

3.5.6 Determinación de gravedad Específica Normas AASHTO T-100 Y ASTM D-854

Para calcular gravedad específica se aplicará la siguiente ecuación matemática:

$$G_s = \frac{W_s}{(W_{mw} + W_s - W_{msw})} \dots \dots \dots \text{Ecuación 4}$$

W_s = peso suelo seco

W_{mw} = peso matraz limpio y seco

W_{msw} = peso matraz + suelo + agua

Para el primer experimento de Gravedad específica.

$$\text{Arcilla} = \frac{\text{Peso total de muestra} * \text{Componente original de arcilla}}{\text{Mezcla total}}$$

$$\text{Arcilla} = \frac{15.0000\text{g} * 75.0000}{92.0000}$$

$$\text{Arcilla} = 12.2283\text{g.}$$

$$\text{Greda} = \frac{\text{Peso total de muestra} * \text{Componente original de greda}}{\text{Mezcla total}}$$

$$\text{Arcilla} = \frac{15.0000\text{g} * 12.0000}{92.0000}$$

$$\text{Arcilla} = 1.9565\text{g.}$$

$$\text{Arena} = \frac{\text{Peso total de muestra} * \text{Componente original de arena}}{\text{Mezcla total}}$$

$$\text{Arcilla} = \frac{15.0000\text{g} * 5.0000}{92.0000}$$

$$\text{Arcilla} = 0.8152\text{g.}$$

Y así sucesivamente hasta completar la tabla 21.

Tabla 10: % de Componentes Originales y Proporciones a pesar para la Determinación de Gravedad Específica.

Número De Prueba	Componentes originales			Peso Total de muestra	Proporciones a pesar		
	% de Arcilla	% de Greda	% de Arena		g. de arcilla	g. de greda	g. de Arena
1.0000	75.0000	12.0000	5.0000	15.0000	12.2283	1.9565	0.8152
2.0000	65.0000	22.0000	5.0000	15.0000	10.5978	3.5870	0.8152
3.0000	65.0000	12.0000	15.0000	15.0000	10.5978	1.9565	2.4457
4.0000	70.0000	17.0000	5.0000	15.0000	11.4130	2.7717	0.8152
5.0000	70.0000	12.0000	10.0000	15.0000	11.4130	1.9565	1.6304
6.0000	65.0000	17.0000	10.0000	15.0000	10.5978	2.7717	1.6304
7.0000	68.3333	15.3333	8.3333	15.0000	11.1413	2.5000	1.3587
8.0000	71.6667	13.6667	6.6667	15.0000	11.6848	2.2283	1.0870
9.0000	66.6667	18.6667	6.6667	15.0000	10.8696	3.0435	1.0870
10.0000	66.6667	13.6667	11.6667	15.0000	10.8696	2.2283	1.9022

En la tabla 10 en la parte izquierdo se muestran los % de componentes originales de Arcilla, Greda, arena y en la parte derecha se muestran las proporciones a pesar para la determinación de Gravedad específica.

3.5.7 Análisis granulométrico de suelo. (Norma AASSHTO T 88-00)

Análisis granulométrico de la fracción fina

- Pesar 250 g de la mezcla de Arcilla, Greda, Arena.
- Ordenar los tamices del de mayor diámetro de sobre el de menor diámetro inmediato.
- Colocar la mezcla la mezcla de Arcilla, Greda, Arena al juego de tamices.
- Encendido del equipo (ELE internacional), por un tiempo de 20 minutos
- Apago del equipo

Cálculos

- Calcular los pesos retenidos o parciales en cada tamiz.
- Calcule los pesos acumulados.
- Para determinar el porcentaje retenido que pasa por cada tamiz, se divide el peso retenido acumulado de cada tamiz entre el peso total de la muestra y se multiplica el resultado por 100

$$\% \text{Retenido} = \frac{\text{Peso acumulado en cada tamiz}}{\text{Peso total}} \times 100 \dots \dots \dots \text{Ecuación 5}$$

- Se calcula el porcentaje que pasa.
- $\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retenido acumulado}$



Figura 15: Tamizado de la Mezcla de Arcilla, Greda, Arena

Para el primer experimento de Análisis granulométrico.

$$\text{Arcilla} = \frac{\text{Peso total de muestra} * \text{Componente original de arcilla}}{\text{Mezcla total}}$$

$$\text{Arcilla} = \frac{250.0000\text{g} * 75.0000}{92.0000}$$

$$\text{Arcilla} = 203.8043\text{g.}$$

$$\text{Greda} = \frac{\text{Peso total de muestra} * \text{Componente original de greda}}{\text{Mezcla total}}$$

$$\text{Arcilla} = \frac{250.0000\text{g} * 12.0000}{92}$$

$$\text{Arcilla} = 32.6087\text{g.}$$

$$\text{Arena} = \frac{\text{Peso total de muestra} * \text{Componente original de arena}}{\text{Mezcla total}}$$

$$\text{Arcilla} = \frac{250.0000\text{g} * 5.0000}{92.0000}$$

$$\text{Arcilla} = 13.5870\text{g.}$$

Y así sucesivamente hasta completar la tabla 11.

Tabla 11: % de Componentes Originales y Proporciones a pesar para la Distribución de masa Granulométrica.

Número De Prueba	componentes originales			Peso Total de muestra	Componentes a pesar		
	% de Arcilla	% de Greda	% de Arena		g. de arcilla	g. de greda	g. de Arena
1.0000	75.0000	12.0000	5.0000	250.0000	203.8043	32.6087	13.5870
2.0000	65.0000	22.0000	5.0000	250.0000	176.6304	59.7826	13.5870
3.0000	65.0000	12.0000	15.0000	250.0000	176.6304	32.6087	40.7609
4.0000	70.0000	17.0000	5.0000	250.0000	190.2174	46.1957	13.5870
5.0000	70.0000	12.0000	10.0000	250.0000	190.2174	32.6087	27.1739
6.0000	65.0000	17.0000	10.0000	250.0000	176.6304	46.1957	27.1739
7.0000	68.3333	15.3333	8.3333	250.0000	185.6885	41.6666	22.6449
8.0000	71.6667	13.6667	6.6667	250.0000	194.7463	37.1377	18.1159
9.0000	66.6667	18.6667	6.6667	250.0000	181.1594	50.7247	18.1159
10.0000	66.6667	13.6667	11.6667	250.0000	181.1593	37.1377	31.7030

En la tabla 11 en la parte izquierdo se muestran los % de componentes originales de Arcilla, Greda, arena y en la parte derecha se muestran las proporciones a pesar para la determinación de distribución de peso granulométrico.

3.5.8 Ensayos de Límites de Atterberg (Límite líquido y Límite plástico), Norma ASTM D- 4318 (Zea 2005)

3.5.8.1 Límite líquido

CÁLCULOS:

La humedad porcentual de cada punto se calcula con la fórmula:

$$H = \frac{p_1 - p_2}{p_2 - p_f} \dots \dots \dots \text{Ecuación 6}$$

Donde:

P₁ = peso de la capsula más la porción de pasta de suelo húmedo

P₂ = peso de la capsula más la porción de pasta de suelo seco

P_f = peso de la capsula

Nota: a partir de la gráfica de límite líquido también se puede calcula

Para el primer experimento de Límite líquido.

Cálculo para el primer experimento de límite líquido

$$\text{Arcilla} = \frac{\text{Peso total de muestra} * \text{Componente original de arcilla}}{\text{Mezcla total}}$$

$$\text{Arcilla} = \frac{2000.0000\text{g} * 75.0000}{92.0000}$$

$$\text{Arcilla} = 1630.4348\text{g.}$$

$$\text{Greda} = \frac{\text{Peso total de muestra} * \text{Componente original de greda}}{\text{Mezcla total}}$$

$$\text{Arcilla} = \frac{2000.0000\text{g} * 12.0000}{92.0000}$$

$$\text{Arcilla} = 260.8696\text{g.}$$

$$\text{Arena} = \frac{\text{Peso total de muestra} * \text{Componente original de arena}}{\text{Mezcla total}}$$

$$\text{Arcilla} = \frac{2000.0000\text{g} * 5.0000}{92.0000}$$

$$\text{Arcilla} = 108.6957\text{g.}$$

Y así sucesivamente hasta completar la tabla 12.

Tabla 12: %De Componentes Originales y Proporciones a pesar para el Límite Líquido.

Número De Prueba	Componentes originales			Peso Total de muestra	Proporciones a pesar		
	% de Arcilla	% de Greda	% de Arena		g. de arcilla	g. de greda	g. de Arena
1.0000	75.0000	12.0000	5.0000	2000.0000	1630.4348	260.8696	108.6957
2.0000	65.0000	22.0000	5.0000	2000.0000	1413.0435	478.2609	108.6957
3.0000	65.0000	12.0000	15.0000	2000.0000	1413.0435	260.8696	326.0870
4.0000	70.0000	17.0000	5.0000	2000.0000	1521.7391	369.5652	108.6957
5.0000	70.0000	12.0000	10.0000	2000.0000	1521.7391	260.8696	217.3913
6.0000	65.0000	17.0000	10.0000	2000.0000	1413.0435	329.5652	217.3913
7.0000	68.3333	15.3333	8.3333	2000.0000	1485.5077	333.3329	181.1595
8.0000	71.6667	13.6667	6.6667	2000.0000	1557.9706	297.1019	144.9275
9.0000	66.6667	18.6667	6.6667	2000.0000	1449.2750	405.7975	144.9275
10.0000	66.6667	13.6667	11.6667	2000.0000	1449.2745	297.1219	254.6236

En la tabla 12 en la parte izquierdo se muestran los % de componentes originales de Arcilla, Greda, arena y en la parte derecha se muestran las proporciones a pesar para la determinación del límite líquido.

Tabla 13: Muestra envía a analizar a la facultad de Ingeniería Civil-UNAP

Número De Prueba	Componentes originales			Peso Total de muestra	Proporciones a pesar		
	% de Arcilla	% de Greda	% de Arena		g. de arcilla	g. de greda	g. de Arena
9.0000	66.6667	18.6667	6.6667	2000.0000	1449.2750	405.7975	144.9275

En la tabla 13 se muestra las Proporción de la Muestra Enviado a la Facultad de Ingeniería Civil UNA-PUNO para la Determinación de Límite Líquido.

3.5.8.2 Límite plástico

Se determina a través de la determinación de la humedad porcentual correspondiente al límite plástico de un suelo se calcula con la fórmula:

$$LP = \frac{P_1 - P_2}{P_2 - P_f} \dots \dots \dots \text{Ecuación 7}$$

Donde:

P₁ = peso de la capsula más la porción de pasta de suelo húmedo

P₂ = peso de la capsula más la porción de pasta de suelo seco

P₃ = peso de la capsula

Para el primer experimento de límite plástico

$$\text{Arcilla} = \frac{\text{Peso total de muestra} * \text{Componente original de arcilla}}{\text{Mezcla total}}$$

$$\text{Arcilla} = \frac{2000.0000\text{g} * 75.0000}{92.0000}$$

$$\text{Arcilla} = 1630.4348\text{g.}$$

$$\text{Greda} = \frac{\text{Peso total de muestra} * \text{Componente original de greda}}{\text{Mezcla total}}$$

$$\text{Arcilla} = \frac{2000.0000\text{g} * 12.0000}{92.0000}$$

$$\text{Arcilla} = 260.8696\text{g.}$$

$$\text{Arena} = \frac{\text{Peso total de muestra} * \text{Componente original de arena}}{\text{Mezcla total}}$$

$$\text{Arcilla} = \frac{2000.0000\text{g} * 5.0000}{92.0000}$$

$$\text{Arcilla} = 108.6957\text{g.}$$

Y así sucesivamente hasta completar la tabla 14.

Tabla 14: % Componentes Originales y Proporciones a pesar para la Determinación de Límite Plástico.

Número De Prueba	componentes originales			Peso Total de muestra	Proporciones a pesar		
	% de Arcilla	% de Greda	% de Arena		g. de arcilla	g. de greda	g. de Arena
1.0000	75.0000	12.0000	5.0000	2000.0000	1630.4348	260.8696	108.6957
2.0000	65.0000	22.0000	5.0000	2000.0000	1413.0435	478.2609	108.6957
3.0000	65.0000	12.0000	15.0000	2000.0000	1413.0435	260.8696	326.0870
4.0000	70.0000	17.0000	5.0000	2000.0000	1521.7391	369.5652	108.6957
5.0000	70.0000	12.0000	10.0000	2000.0000	1521.7391	260.8696	217.3913
6.0000	65.0000	17.0000	10.0000	2000.0000	1413.0435	329.5652	217.3913
7.0000	68.3333	15.3333	8.3333	2000.0000	1485.5077	333.3329	181.1595
8.0000	71.6667	13.6667	6.6667	2000.0000	1557.9706	297.1019	144.9275
9.0000	66.6667	18.6667	6.6667	2000.0000	1449.2750	405.7975	144.9275
10.0000	66.6667	13.6667	11.6667	2000.0000	1449.2745	297.1219	254.6236

En la tabla 14 en la parte izquierdo se muestran los % de componentes originales de Arcilla, Greda, arena y en la parte derecha se muestran las proporciones a pesar para la determinación del límite plástico.

Tabla 15: Muestra Enviada a Analizar a la Facultad de Ingeniería Civil-UNAP

Número De Prueba	componentes originales			Peso Total de muestra	Componentes a pesar		
	% de Arcilla	% de Greda	% de Arena		g. de arcilla	g. de greda	g. de Arena
9.0000	66.6667	18.6667	6.6667	2000.0000	1449.2750	405.7975	144.9275

En la tabla 15 se muestra las proporción de la muestra enviado a la facultad de ingeniería civil de UNA-PUNO para la determinación de límite plástico.

3.5.8.3 Índice de Plasticidad:

El índice de plasticidad de un suelo es la diferencia numérica entre los valores del límite líquido y el límite plástico del mismo. Para ello se utiliza la siguiente expresión matemática:

$$IP = LL - LP \dots\dots\dots \text{Ecuación 8}$$

3.5.9 Análisis de las Muestras (probetas) de ladrillos

3.5.9.1 Análisis de ensayo a la Contracción

Se determinará cuanto se contrae las muestras (probetas) cubicas y se debe analizar el porqué de esta contracción y su posible relación con la variación de los componentes, a todas las muestras (probetas), para lo cual se procede la medir sus tres magnitudes esto con apoyo de cinta métrica o se puede utilizar con un vernier, la medición se realiza en

sus 3 magnitudes para cada fase: al inicio antes de la cocción de la muestra (húmedo seco), y después de haber cocido la muestra (seco a cocido) (Llerena, 2003).

3.5.9.2 Porcentaje de Contracción Lineal

(Llerena 2003)

Se utiliza la siguiente formula:

$$\% \text{ Contracción} = \frac{L_i - L_f}{L_i} \times 100 \dots\dots\dots \text{Ecuación 9}$$

Donde:

L_i : Longitud Inicial

L_f : Longitud Final

3.5.9.3 Porcentaje de Contracción Masa

(Llerena 2003) Para lo cual se utiliza la siguiente ecuación matemática:

$$\% \text{ Contracción} = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100 \dots\dots\dots \text{Ecuación 10}$$

Donde:

M_i : Masa Inicial

M_f : Masa Final

3.6 ANÁLISIS QUÍMICO:

Se empleó el equipo de difracción de rayos X, para identificar la composición química de la mezcla de arcillas, para determinar la calidad de la mezcla del ladrillo Artesanal de la Concesión San Pedro 2000.

$$\text{Arcilla} = \frac{\text{Peso total de muestra} * \text{Componente original de arcilla}}{\text{Mezcla total}}$$

$$\text{Arcilla} = \frac{200.0000\text{g} * 75.0000}{92.0000}$$

$$\text{Arcilla} = 163.0435\text{g.}$$

$$\text{Greda} = \frac{\text{Peso total de muestra} * \text{Componente original de greda}}{\text{Mezcla total}}$$

$$\text{Arcilla} = \frac{2000.0000\text{g} * 12.0000}{92.0000}$$

$$\text{Arcilla} = 26.0870\text{g.}$$

$$\text{Arena} = \frac{\text{Peso total de muestra} * \text{Componente original de arena}}{\text{Mezcla total}}$$

$$\text{Arcilla} = \frac{2000.0000\text{g} * 5.0000}{92.0000}$$

$$\text{Arcilla} = 10.8696\text{g.}$$

Y así sucesivamente hasta completar la tabla 16 de los resultados.

Tabla 16: % de Componentes Originales y Proporciones a pesar la Determinación de Análisis Químico

Numero De Prueba	componentes originales			Peso Total de muestra	Componentes a pesar		
	% de Arcilla	% de Greda	% de Arena		g. de arcilla	g. de greda	g. de Arena
1.0000	75.0000	12.0000	5.0000	200.0000	163.0435	26.0870	10.8696
2.0000	65.0000	22.0000	5.0000	200.0000	141.3043	47.8261	10.8696
3.0000	65.0000	12.0000	15.0000	200.0000	141.3043	26.0870	32.6087
4.0000	70.0000	17.0000	5.0000	200.0000	152.1739	36.9565	10.8696
5.0000	70.0000	12.0000	10.0000	200.0000	152.1739	26.0870	21.7391
6.0000	65.0000	17.0000	10.0000	200.0000	141.3043	36.9565	21.7391
7.0000	68.3333	15.3333	8.3333	200.0000	148.5508	33.3333	18.1159
8.0000	71.6667	13.6667	6.6667	200.0000	155.7971	29.7102	14.4927
9.0000	66.6667	18.6667	6.6667	200.0000	144.9275	40.5798	14.4927
10.0000	66.6667	13.6667	11.6667	200.0000	144.9275	29.7102	25.3624

En la tabla 16 en la parte izquierdo se muestran los % de componentes originales de Arcilla, Greda, arena y en la parte derecha se muestran las proporciones a pesar para el analisis químico.

Tabla 17: Muestra Enviada a Analizar en LABINVSERV UNSA-AREQUIPA (Ver anexo 2)

Numero de Experimentos	componentes originales			Peso Total de muestra	Componentes a pesar		
	% de Arcilla	% de Greda	% de Arena		g. de arcilla	g. de greda	g. de Arena
9.0000	66.6667	18.6667	6.6667	200.0000	144.9275	40.5798	14.4927

En la tabla 17 se muestra las proporción de la muestra enviado a LABINVSERV de UNAS-AREQUIPA para el analisis químico.

3.7 ANÁLISIS MECÁNICO

La determinación de las propiedades mecánicas el porcentaje de absorción y resistencia a la compresión, de los ladrillos fabricados artesanalmente, los resultados obtenidos indican la calidad de la pieza como producto final, esto permite analizar el proceso de fabricación de ladrillo con el objetivo de poder mejorar la calidad y de esta manera ofrecer al consumidor un producto competitivo dentro del campo de la construcción.

Para obtener un resultado más representativo de cada una de las ladrilleras se tomaron piezas tanto de la parte baja media y alta del horno para realizarles los ensayos de compresión y porcentaje de absorción.

3.8 ELABORACIÓN DE MUESTRAS DE LADRILLO

A) Molienda De la Arcilla, Greda, Arena.

La arcilla extraída en las canteras de la Concesión San Pedro 2000 tiene un tamaño de 12cm. Aproximadamente, y necesitó de una reducción de tamaño hasta pasar la malla N°80, esto con el fin de facilitar la dilución en agua y lograr una mezcla homogénea. Para esto se utilizó un mortero para obtener una muestra de arcilla que pase por la malla N°80.

Para facilitar la reducción de tamaño, se tuvo que secar la arcilla procedente de las canteras la Concesión San Pedro 2000, debido a contenido de humedad que está tiene.



Figura 16: Reducción del Mineral

B) Zarandeo de Arcilla, Greda y Arena

Se ha tamizado en malla 80 para poder separar las impurezas que contienen tales como piedras, partículas de arcilla, partículas de tierra y materia orgánica.

C) Mezclado

Para iniciar el mezclado, se aplicó el DISEÑO DE MEZCLA SIMPLEX CENTROIDE de 3 componentes, el sistema consiste en variar las pequeñas cantidades de materia prima (Arcilla, Greda, Arena) humedecida sobre los lavadores y espaciosa al aire libre.

Para el primer experimento de porcentaje de masa mezclado de las muestras (probetas)

$$\text{Arcilla} = \frac{\text{Peso total de muestra} * \text{Componente original de arcilla}}{\text{Mezcla total}}$$

$$\text{Arcilla} = \frac{150.0000\text{g} * 75.0000}{92.0000}$$

$$\text{Arcilla} = 122.2826\text{g.}$$

$$\text{Greda} = \frac{\text{Peso total de muestra} * \text{Componente original de greda}}{\text{Mezcla total}}$$

$$\text{Arcilla} = \frac{150.0000\text{g} * 12.0000}{92.0000}$$

$$\text{Arcilla} = 20.5652\text{g.}$$

$$\text{Arena} = \frac{\text{Peso total de muestra} * \text{Componente original de arena}}{\text{Mezcla total}}$$

$$\text{Arcilla} = \frac{150.0000\text{g} * 5.0000}{92.0000}$$

$$\text{Arcilla} = 8.1522\text{g.}$$

Y así sucesivamente hasta completar la tabla 18.

Tabla 18: Porcentaje de Masa Mezclado de las Muestras (Probetas) de Ladrillo

Número De Prueba	Componentes originales			Peso Total de muestra	Proporciones a pesar		
	% de Arcilla	% de Greda	% de Arena		g. de arcilla	g. de greda	g. de Arena
1.0000	75.0000	12.0000	5.0000	150.0000	122.2826	19.5652	8.1522
2.0000	65.0000	22.0000	5.0000	150.0000	105.9783	35.8696	8.1522
3.0000	65.0000	12.0000	15.0000	150.0000	105.9783	19.5652	24.4565
4.0000	70.0000	17.0000	5.0000	150.0000	114.1304	27.7174	8.1522
5.0000	70.0000	12.0000	10.0000	150.0000	114.1304	19.5652	16.3043
6.0000	65.0000	17.0000	10.0000	150.0000	105.9783	27.7174	16.3043
7.0000	68.3333	15.3333	8.3333	150.0000	111.4131	25.0000	13.5870
8.0000	71.6667	13.6667	6.6667	150.0000	116.8478	22.2826	10.8696
9.0000	66.6667	18.6667	6.6667	150.0000	108.6956	30.4348	10.8696
10.0000	66.6667	13.6667	11.6667	150.0000	108.6956	22.2826	19.0218

En este caso la arcilla se mezcló en 10 diferentes proporciones hasta obtener una muestra total de 150 g, cada uno a las composiciones establecidas en la tabla 18.

En esta etapa de mezclado se preparó diferentes proporciones de la materia prima y variando su peso de los insumos (arcilla, greda, arena), hasta una variación correspondiente de 10 experimentos.



Figura 17: Peso de la materia prima: Arcilla, Greda, Arena, en la balanza digital

Se preparó cada componente para ello previamente se secaron las diferentes muestras y se agregó a un recipiente, luego se le añadió 92 ml., de agua, se mezcló hasta lograr dilución completa y se dejó macerar por un tiempo de 24 horas. Luego paso a la etapa de amasado hasta que la mezcla adquiriera plasticidad uniforme, esto se logra en un tiempo de 15 min. Tal como se puede apreciar en el trabajo citado por (Pumacahua, 2009)



Figura 18: Mezclado de las Proporciones de las Arcilla, Greda, Arena



Figura 19: Adición de Agua a cada uno de los Proporciones de la Mezcla

D) Moldeado

El moldeado de las muestras (probetas) de ladrillo se realizó en unos moldes de madera de 5*3*2 de cm. Para esta operación fue necesario utilizar espátulas para poder prensar bien la mezcla.

La operación de prensado fue necesario utilizar espátulas porque si las probetas no son bien prensadas, estas adquieren mal formaciones en la parte superior y en el interior de estas (espacios vacíos)



Figura 20: Colocado de la Mezcla en molde y Esparcido dentro del Molde
Luego de mezclado y moldeado las muestras probetas de ladrillo fueron codificadas como A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, para poder diferenciar entre ellas.

Para determinar el porcentaje de humedad promedio de las probetas moldeadas es la siguiente ecuación. A una Temperatura de 80°C por 24 Horas.

$$\% Hu_{pm} = \frac{\text{Peso Inicial} - \text{Peso Final}}{\text{Peso Inicial}} \dots\dots\dots \text{Ecuación 11}$$

E) Secado

El secado empieza desde el momento que término el moldeo, a temperatura ambiente durante 10 días, sin exposición al sol para evitar fisuras. Durante el secado fue necesario cambiar de posición a las probetas (ponerlo de costado) para disminuir el tiempo de secado Tal como se puede apreciar en el trabajo citado por (Pumacahua, 2009).



Figura 21: Secado de las Muestras de Ladrillo a Temperatura Ambiente

Para determinar el porcentaje de humedad de las probetas secas antes de ser cocida se calcula con la siguiente ecuación. A una Temperatura de 80°C por 24 Horas.

$$\%Hu_{ps} = \frac{\text{Peso Inicial} - \text{Peso Final}}{\text{Peso Inicial}} * 100 \dots\dots\dots \text{Ecuación 12}$$

F) Cocción.

Para el quemado se utilizó un horno eléctrico existente en el laboratorio de materiales de la carrera de Ingeniería Química, de la Universidad Nacional San Antonio Abad de Cusco. Las muestras de probetas de ladrillo fueron ubicadas dentro del horno con espaciamiento de $\frac{1}{2}$ cm, entre ellas, este espacio fue necesario para que el calor pueda fluir desde las paredes del horno hacia el centro de este mediante convección forzada.

Encendido y acondicionamiento. - En esta etapa, con el fin de evitar cambios bruscos de temperatura fue necesario establecer tiempo de encendido y apagado del horno, como también controlar las temperaturas de acuerdo a la siguiente tabla 19, Tal como se puede apreciar en el trabajo citado por (Pumacahua, 2009)

Tabla 19: Tiempos de Encendido y Apagado del horno y Número de Veces realizadas

Tiempo de Encendido (min)	Tiempo de apagado (min)	N° de veces
1	1	10
3	1	5
6	1	2
10	1	1
30	Tapado del Horno y llegar a 900°C	

Fuente: Pumacahua, 2009

En esta etapa se mantuvo abierta la tapa del horno, este acondicionamiento se hizo para poder homogenizar la temperatura de las probetas, y poder eliminar lentamente la humedad que contenían las probetas, caso contrario se hubiese tenido problemas debido a que con un incremento de brusco de temperatura, las probetas se hubiesen rajado. Culminado esta etapa se procedió al cierre de la tapa del horno Tal como se puede apreciar en el trabajo citado por (Pumacahua, 2009)

Calentamiento.- El calentamiento se llevó acabo con el horno tapado elevando a la temperatura hasta los 900°C, como se ilustra en la figura 22.



Figura 22: Calentamiento de las probetas

En este proceso se controló la temperatura por intervalos de 20 minutos hasta alcanzar la temperatura de 900°C.

Cocción. - la cocción de las probetas se llevó a cabo a la temperatura de 900°C. Manteniendo a esta temperatura durante 30 minutos, pasado ese tiempo se apagó el horno y paso a la etapa de enfriamiento durante 1 día (24 horas) similar al tesis citado Tal como se puede apreciar en el trabajo citado por (Pumacahua, 2009)

Transcurrido este tiempo se descargó del horno y se deja las muestras de probetas de ladrillos coaccionadas a temperatura ambiente para que culmine la etapa de enfriamiento.



Figura 23: Secado de las Probetas a Temperatura Ambiente

3.9 PRUEBA DE RESISTENCIA MECÁNICA

Para la prueba de Resistencia mecánica es necesario acondicionar las probetas para lo cual se toma en cuenta la siguiente formula:

$$R_{mp} = \frac{F_c}{A_p} \dots \dots \dots \text{Ecuación 13}$$

Donde

Rmp = Resistencia mecánica de las muestras probetas de ladrillo

Fc = Fuerza de compresión de la prensa (kgf)

A_p = Área superficial de la probeta (cm^2)

3.10 PRUEBA DE ABSORCIÓN

El ensayo consistirá básicamente en medir los pesos de las placas secas (P_1) y posteriormente después de sumergirlas en agua manteniéndolas dentro, durante un período de 24 horas para pesarlas nuevamente y poder determinar el peso húmedo (P_2). El peso seco se obtendrá tras haberse colocado las muestras (probetas) de ladrillo en un horno a una temperatura de $\geq 110^\circ\text{C}$, hasta que su peso fuera constante.

En seguida las placas son sumergidas en un recipiente con agua potable durante un período de 24 horas.

A continuación, se sacan del recipiente, se dejará secar durante 5 min. Aproximadamente y luego se les quita el agua superficial visible con un paño húmedo e inmediatamente se pesan, P_2 .

Luego la absorción se calcula con la siguiente fórmula:

$$|\text{abs}| \frac{(P_2 - P_1)}{2} \times 100 \dots \dots \dots \text{Ecuación 14}$$

Donde:

Abs: Absorción de agua, en %.

P_1 : Masa de la muestra seca, en kg.

P_2 : Masa de la muestra saturada, en kg.

3.10.11 Balance de Masa

3.10.11.1 Balance de Masa de Probetas

El balance de masa se realiza a partir de la mejor formulación obtenida.

El balance se realizó de acuerdo al siguiente diagrama de bloques.

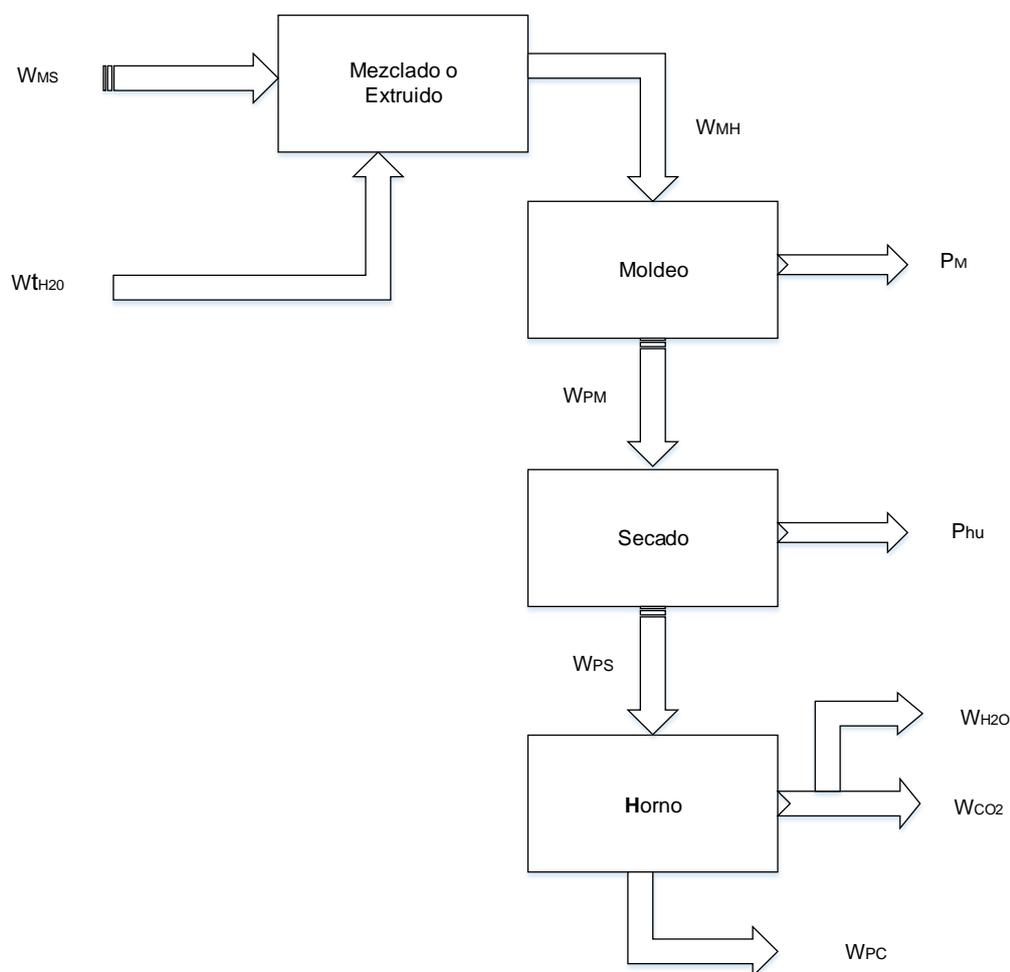


Figura 24: Diagrama de Bloques Cualitativo de la Elaboración de Probetas

Donde:

W_{ms} = Peso de mezcla en seco (g)

W_{tH_2O} = Peso total de agua (g)

W_{MH} = Peso Mezcla Húmeda (g)

P_M = Perdida por Moldeo (g)

W_{pm} = Peso de Probetas Moldeadas (g)

- W_{hu} = Perdida de humedad (g)
- W_{ps} = Peso de Probetas secas (g)
- W_{CO_2} = Peso de CO_2 eliminado (g)
- W_{pc} = Peso de Probetas cocidas (g)

Tabla 20: Porcentaje de Carbonatos y CO_2 Presentes en el Ladrillo Crudo

Compuesto	Cantidad %
$CaCO_3$	7.48
CO_2 en $CaCO_3$	44.01

Fuente: (Luque y Hanco, 2006)

A) Balance en el Mezclado

El balance de masa se inició con una base de cálculo de 150 g de mezcla, cantidad aproximada para 2 probetas, esta se describe con las siguientes ecuaciones:

$$W_{MS} + W_{t_{H_2O}} = W_{MH} \dots \dots \dots \text{Ecuación 15}$$

$$W_{MS} = A + G + a \dots \dots \dots \text{Ecuación 16}$$

$$W_{t_{H_2O}} = W_{hu} + W_{H_2O} \dots \dots \dots \text{Ecuación 17}$$

Donde:

- A = Arcilla (g)
- G = Greda (g)
- a = arena (g)
- W_{hu} = Peso de la Humedad media (g)
- W_{H_2O} = Peso de agua agregada (g)

B) Balance en el Moldeo

Esta operación está representada con la siguiente ecuación:

$$W_{MH} = W_{PM} + P_M \dots \dots \dots \text{Ecuación 18}$$

De la ecuación 16 se despeja el peso de probetas moldeadas y se tiene:

$$W_{PM} = W_{MH} - P_M \dots \dots \dots \text{Ecuación 19}$$

C) Balance en el Secado

La ecuación representativa para esta operación es la siguiente:

$$W_{PM} = W_{PS} - P_{hu} \dots\dots\dots\text{Ecuación 20}$$

Para hallar el peso de las probetas secas (W_{PS}), se tiene como dato el porcentaje de humedad promedio de la probeta moldeada y se calcula el peso de la parte solida (S) presente en la mezcla Húmeda.

$$S = W_{PM} = W_{PS} * (1 - Hu_{(PM)}) \dots\dots\dots\text{Ecuación 21}$$

Se sabe que las muestras de ladrillo expuestas al medio ambiente secarán hasta alcanzar una humedad promedio, entonces S_p representa la diferencia ó el peso del solido seco y de esta manera se obtiene el peso de las probetas secadas al medio ambiente.

S_p -----> Solido seco %

W_{PS} ----> 100 %

De la ecuación 20, la pérdida en peso de humedad por secado está representada por:

$$P_{hu} = W_{PM} - W_{PS} \dots\dots\dots\text{Ecuación 22}$$

D) Balance en el Horno

La ecuación representativa para este proceso es la siguiente:

$$W_{PS} = W_{PC} + W_{H_2O(E)} + W_{CO_2} \dots\dots\dots\text{Ecuación 23}$$

Para determinar el peso de Agua eliminada, se tiene la siguiente ecuación:

$$W_{H_2O(E)} = W_{PS} * H_{u(PS)} \dots\dots\dots\text{Ecuación 24}$$

Donde:

$H_{u(PS)}$ = Humedad promedio de probeta seca.

Teniendo en cuenta los valores de la tabla 21, se puede determinar la cantidad de CO_2 desprendida del Carbonato de calcio Presente en las Probetas Crudas secas.

$$W_{CO_3Ca} = \%CO_3Ca * W_{PS} \dots\dots\dots\text{Ecuación 25}$$

$$W_{CO_2} = W_{CO_3Ca} * \%CO_2 \dots\dots\dots Ecuación 26$$

Obtenida la cantidad de gas expulsado se procedió a determinar el peso de las probetas cocidas, utilizando la ecuación 23; El balance tiene similitud Tal como se puede apreciar en el trabajo citado por (Pumacahua, 2009)

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS QUÍMICO

Tabla 21: Composición Química de la Mezcla de Arcilla

NUMERO	COMPUESTO	(%)
1	Quartz (SiO ₂)	58.6400
2	Montmorillonite	16.8100
3	Ca Fe ₃ O ₁₂ TiO ₄	3.4000
4	K _{0.95} (Al Si O ₈)	6.9000
5	Si O ₂	9.6100
	Brium magnesium iorn oxi	
6	(1/2/16/27)	4.6400

En la tabla 21 se muestra La Composición Química de la mezcla de arcillas, Greda, Arena de la Concesión San Pedro 2000 contiene.

- Un total de 9.6100 % de sílice presenta en la muestra lo, que significa la sílice es más reactiva resultante más resistente el ladrillo después de la cocción
- Un total de 8.0400% que contiene fierro por ser bajo la cantidad por eso que difícil adquiere la coloración roja a bajas temperaturas
- Los feldespatos es 6.9000 % esto favorece a menor temperatura de cocción.

Los análisis que presentan en el cuadro anterior tienen bastante similitud con el trabajo de (Mamani, 2015), el presente en sílice 6.3700 %, en contenido de hierro 1.0400y en feldespatos 6,3800%, porque lo que se valida los resultados.

4.2 ANÁLISIS FÍSICOS

Estos ensayos se realizaron en el laboratorio de Control de Calidad de la facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional Del Altiplano –Puno

4.2.1 Análisis Organoléptico

Tabla 22: Determinación del Análisis Organoléptico

Muestra	Color	Textura	Dureza
Arcilla	Rojizo- Amarillento	Semi- terroso	2.0000
Greda	Negro	terroso	2.0000
Arena	Rojizo	pedregoso	2.0000

Los resultados mostrados en la tabla anterior nos demuestran que el color en crudo de la arcilla no siempre demuestra el color que tendrá la arcilla cocida, al mezclar y cocer las tres muestras da un color rojizo lo que implica la presencia de óxido de hierro dentro de su composición química de la muestra. Tal como se puede apreciar en el trabajo citado por (Llerena 2003)

La textura de cada una de las muestras es necesario analizar para saber el tipo de molinos que se necesitaría para su procesamiento industrial al igual que la dureza de la arcilla, ya que muchas veces estas son más duras por su formación geológica.

4.2.2 Humedad de la Materia Prima

Tabla 23: Determinación Humedad de la Materia Prima

Muestra	Peso de muestra inicial	Peso de muestra final	Humedad %
1.0000	25.2123	19.8978	21.0790
2.0000	23.9647	19.725	17.6914
3.0000	25.3614	20.5684	18.8988
4.0000	25.7698	20.1777	21.7002
5.0000	24.937	19.8499	20.3998
6.0000	24.9989	19.5076	21.9662
7.0000	23.4619	18.4968	21.1624
8.0000	25.0753	20.5724	17.9575
9.0000	25.0986	19.6581	21.6765
10.0000	25.9064	20.3798	21.3330

La humedad de las arcillas varían de acuerdo a su ubicación y la estación climatológica de la región, la humedad promedio es de 20.3865% valor que presenta la arcilla, determinado en el mes de mayo 2019 donde aún no es época de lluvias, (Deleg 2010)

determina un porcentaje de humedad de 18.49%, que tiene bastante similitud con el porcentaje de humedad obtenido en el tabla 24.

4.2.3 Peso Específico

Tabla 24: Determinación de Peso Específico

Muestra	Peso de picnómetro vacío (p ₁)	Peso picnómetro + muestra (p ₂)	Peso del picnómetro + agua destilada (p ₃)	Peso picnómetro + muestra + agua (p ₄)	Pe g/cm ³
1.0000	17.5066	23.3698	42.3004	45.6359	2.3196
2.0000	17.5066	23.2784	42.3004	45.5671	2.3040
3.0000	17.5066	23.5392	42.3004	45.7379	2.3246
4.0000	17.5066	23.5283	42.3004	45.7224	2.3163
5.0000	17.5066	23.5893	42.3004	45.7822	2.3387
6.0000	17.5066	23.7283	42.3004	45.8185	2.3013
7.0000	17.5066	23.7398	42.3004	45.8689	2.3392
8.0000	17.5066	23.6429	42.3004	45.7948	2.3227
9.0000	17.5066	23.3897	42.3004	45.6845	2.3542
10.0000	17.5066	23.3628	42.3004	45.6498	2.3361

En la tabla 24 se muestran los resultados del peso específico de la mezcla de Arcilla, Greda, Arena, los que fluctúan en un rango de 2.3013 a 3.3542, encontrando para la arcilla de la Concesión San Pedro 2000, los valores determinados son semejantes al de (Llerena 2003) en sus muestras de arcilla obtiene valores entre 2.2800 a 3.1300.

4.2.4 Higroscopicidad

Tabla 25: Determinación de Higroscopicidad

Muestra	Peso luna de reloj (g)	Peso de muestra (g)	Peso p (g)	Peso a (g)	% de Higroscopicidad
1.0000	46.7697	5.0000	51.7697	51.4949	0.5336
2.0000	43.698	5.0000	48.6980	48.3081	0.8071
3.0000	29.7109	5.0000	34.7109	34.3712	0.9883
4.0000	93.2983	5.0000	98.2983	97.4873	0.8319
5.0000	29.7122	5.0000	34.7122	34.4623	0.7251
6.0000	43.6975	5.0000	48.6975	48.3284	0.7637
7.0000	46.7637	5.0000	51.7011	51.2942	0.7933
8.0000	51.428	5.0000	56.4404	56.0893	0.6260
9.0000	29.7109	5.0000	34.6354	34.3875	0.7209
10.0000	29.7122	5.0000	34.6847	34.3739	0.9042

En la tabla 25 se muestran los resultados de Higroscopicidad de la mezcla de Arcilla, Arena, Greda cuyo valores se encuentran dentro del rango de 0.5336 a 0.9883, comparando estos resultados con las muestras de Arcillas cuyo valor está dentro de 0.357

a 1.025 en lo referente a su higroscopicidad según, (Llerena 2003), por lo que se concluye que el análisis está bien realizado.

4.2.5 pH

Tabla 26: Determinación de pH

Muestra	pH	Tipo de pH
1.0000	7.2600	Poco alcalina
2.0000	7.4200	Poco alcalina
3.0000	7.3200	Poco alcalina
4.0000	7.4600	Poco alcalina
5.0000	7.3500	Poco alcalina
6.0000	7.5100	Poco alcalina
7.0000	7.4500	Poco alcalina
8.0000	7.4800	Poco alcalina
9.0000	7.4100	Poco alcalina
10.0000	7.3400	Poco alcalina

En la tabla 26 se muestran los resultados de la mezcla de Arcilla, Greda, Arena. Los mismos que se encuentran dentro del rango de 7.2600 a 7.5100 de pH, estos valores se pueden comparar con la Tabla 8 del pH de las mezcla de arcilla según, Pérez (2016) quien obtiene un pH de Mina A =7.32 y Mina B= 7.69 que es alcalina el cual valida los resultados obtenidos.

4.2.6 Gravedad Específica

Tabla 27: Determinación de Gravedad Específica

Identificación del Matraz	capacidad de Matraz (Nominal) ml	Peso Matraz Limpio seco Wm	Peso Matraz + Suelo seco Wms	Peso Suelo Seco Ws	Peso Matraz + Suelo + agua Wmsw	Peso Matraz + Agua Wmw	Gravedad específica g/cm ³
1.0000	100.0000	48.7860	63.7816	14.9956	157.8335	148.3592	2.7160
2.0000	100.0000	61.2779	76.2812	15.0033	169.8219	160.5837	2.6024
3.0000	100.0000	48.6041	63.6584	15.0543	156.0970	148.2627	2.0851
4.0000	100.0000	49.6041	64.6014	14.9973	156.8201	148.7468	2.1660
5.0000	100.0000	62.4425	77.4357	14.9932	170.7544	162.4952	2.2265
6.0000	100.0000	53.8376	68.8388	15.0012	164.7459	156.2308	2.3128
7.0000	100.0000	56.8376	71.8399	15.0023	161.9744	153.6902	2.2331
8.0000	100.0000	48.7860	63.7206	14.9346	157.5207	148.3592	2.5869
9.0000	100.0000	48.6041	63.6139	15.0098	157.0135	148.2627	2.3981
10.0000	100.0000	49.6041	64.6099	15.0058	157.5124	148.7468	2.4047

En la tabla 27 se muestran los resultados de gravedad específica de la mezcla de Arcilla, Greda, Arena cuyos valores se encuentra dentro del siguiente rango de 2.2529 a 2. 2.7160, valores que pueden ser validados con el trabajo realizado por (Zea 2005), quien obtiene una gravedad específica de la arcilla de 2.37 a 2.59

4.2.8 Granulometría

Mezcla 1: de Proporción Arcilla, Greda, Arena

Muestra: Arcilla 208.8043g, Greda 32.6087g, arena 13.5870g, Total de peso de la muestra 250.0000g

Tabla 28: Determinación de Análisis Granulométrico de la Mezcla 1

Tamiz #	Tamiz (mm)	Peso retenido g.	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
8.0000	2.2600	6.2300	2.4993	2.4993	97.5007
10.0000	2.0000	12.4200	4.9825	7.4818	92.5182
40.0000	0.4250	32.9300	13.2106	20.6924	79.3076
60.0000	0.2500	35.3200	14.1694	34.8618	65.1382
70.0000	0.2100	20.6500	8.2842	43.1460	56.8540
80.0000	0.1800	73.4600	29.4701	72.6160	27.3840
200.0000	0.0750	60.5000	24.2709	96.8869	3.1131
	Fondo	7.7600	3.1131	100.0000	0.0000
Peso Total		249.2700	100.0000		

En la tabla 28 se muestra que la mayor cantidad de retención de arcilla en el tamiz es el de 0.18 mm con un 29.4701 %, comparado con el trabajo de (Pérez 2016) quien trabaja con un tamiz de 0.15 mm con una retención de 21.0000%, lo cual le da validez a este análisis.

ANÁLISIS POR TAMICES

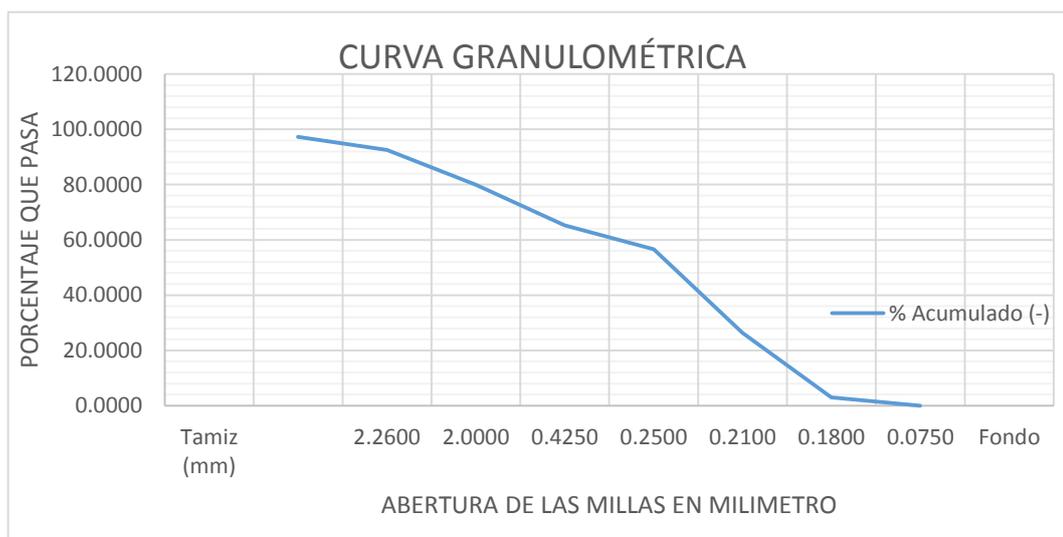


Figura 25: Mezcla 1 Curva Granulométrica

Mezcla 2: de la Proporción Arcilla, Greda, Arena

Muestra: Arcilla= 176.6304g, Greda= 5.7826g, arena= 13.5870g, TOTAL= 250g

Tabla 29: Determinación de Análisis Granulométrico de la Mezcla 2

Tamiz #	Tamiz (mm)	Peso retenido g.	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
8.0000	2.2600	6.8700	2.7525	2.7525	97.2475
10.0000	2.0000	11.6500	4.6677	7.4202	92.5798
40.0000	0.4250	31.5600	12.6447	20.0649	79.9351
60.0000	0.2500	36.5400	14.6400	34.7049	65.2951
70.0000	0.2100	21.6300	8.6662	43.3711	56.6289
80.0000	0.1800	75.5600	30.2736	73.6448	26.3552
200.0000	0.0750	58.3400	23.3743	97.0191	2.9809
	Fondo	7.4400	2.9809	100.0000	0.0000
Peso Total		249.5900	100.0000		

En la tabla 29 se muestra que la mayor cantidad de retención de arcilla es en el tamiz 0.18 mm con un 30.2736%, tal como también presenta (Pérez 2016) quien trabaja con un tamiz de 0.15 mm con un retención de 21.0000%

ANÁLISIS POR TAMICES

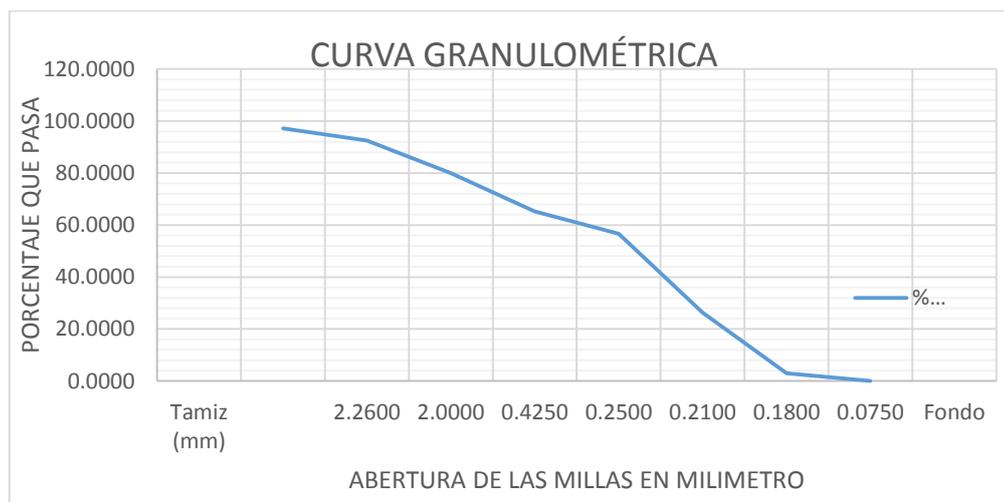


Figura 26: Mezcla 2 Curva Granulométrica

Mezcla 3: de la Proporción de Arcilla, Greda, Arena

Muestra: Arcilla= 176.6304g, Greda = 32.6087g, arena= 40.7609g, TOTAL= 250g

Tabla 30: Determinación de Análisis Granulométrico de la Mezcla 3

Tamiz #	Tamiz (mm)	Peso retenido g.	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
8.0000	2.2600	6.9400	2.7857	2.7857	97.2143
10.0000	2.0000	12.4900	5.0134	7.7991	92.2009
40.0000	0.4250	30.5400	12.2587	20.0578	79.9422
60.0000	0.2500	32.6300	13.0976	33.1554	66.8446
70.0000	0.2100	17.4500	7.0044	40.1598	59.8402
80.0000	0.1800	87.4800	35.1142	75.2740	24.7260
200.0000	0.0750	54.8700	22.0246	97.2986	2.7014
	Fondo	6.7300	2.7014	100.0000	0.0000
Peso Total		249.1300	100.0000		

En la tabla 30 se muestra que la mayor cantidad de retención de arcilla es en el tamiz 0.18 mm con un 35.1142%, valor corroborado con el trabajo de (Pérez 2016) quien también trabaja con un tamiz de 0.15 mm con una retención de 21.0000%

ANÁLISIS POR TAMICES

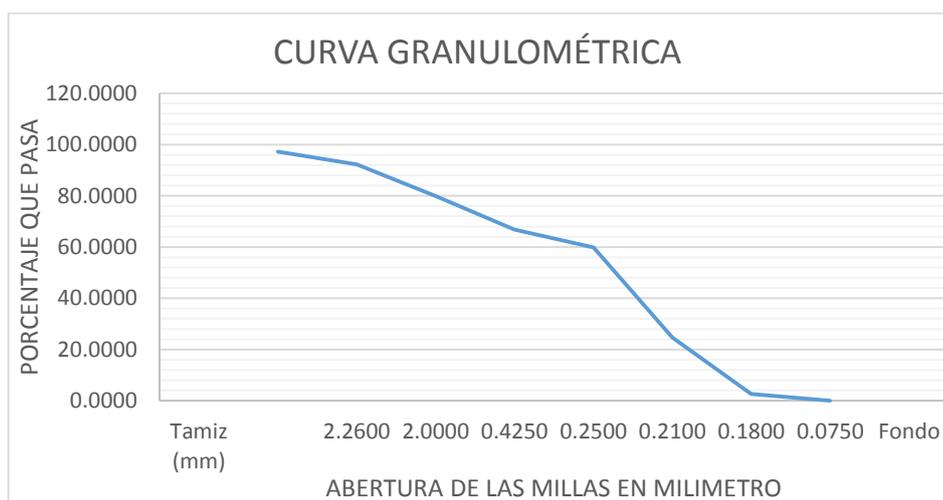


Figura 27: Mezcla 3 Curva Granulométrica.

Mezcla 4: de la Proporción de Arcilla, Greda, Arena

Muestra: Arcilla= 190.2174g, Greda= 46.1957g, arena= 13.5870g, TOTAL = 250g

Tabla 31: Determinación de Análisis Granulométrico de la Mezcla 4

Tamiz #	Tamiz (mm)	Peso retenido g.	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
8.0000	2.2600	7.1200	2.8549	2.8549	97.1451
10.0000	2.0000	11.8600	4.7554	7.6103	92.3897
40.0000	0.4250	21.6700	8.6889	16.2991	83.7009
60.0000	0.2500	34.7600	13.9374	30.2366	69.7634
70.0000	0.2100	22.0300	8.8332	39.0698	60.9302
80.0000	0.1800	78.5600	31.4996	70.5694	29.4306
200.0000	0.0750	63.7500	25.5613	96.1307	3.8693
	Fondo	9.6500	3.8693	100.0000	0.0000
Peso Total		249.4000	100.0000		

En la tabla 31 se muestra que la mayor cantidad de retención de arcilla es en el tamiz 0.18 mm con un 31.5996%, valor similar al que presenta (Pérez 2016) quien trabaja con un tamiz de 0.15 mm con una retención de 21.0000%.

ANÁLISIS POR TAMICES

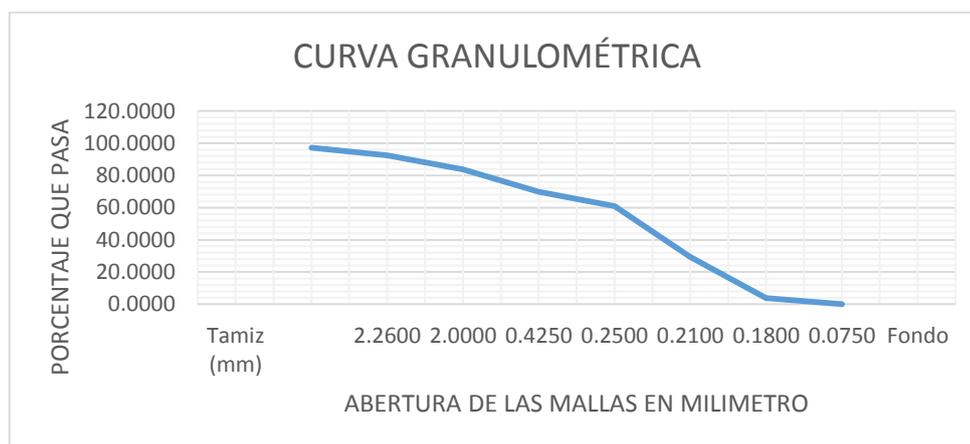


Figura 28: Mezcla 4 Curva Granulométrica

Mezcla 5: de la Proporción de Arcilla, Greda, Arena

Muestra: Arcilla= 190.2170g, Greda= 32.6087g, arena= 27.1739g, TOTAL = 250g

Tabla 32: Determinación de Análisis Granulométrico de la Mezcla 5

Tamiz #	Tamiz (mm)	Peso retenido g.	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
8.0000	2.2600	6.9300	2.7773	2.7773	97.2227
10.0000	2.0000	12.2100	4.8934	7.6707	92.3293
40.0000	0.4250	32.4200	12.9929	20.6637	79.3363
60.0000	0.2500	34.6500	13.8867	34.5503	65.4497
70.0000	0.2100	21.4300	8.5885	43.1388	56.8612
80.0000	0.1800	72.4300	29.0277	72.1666	27.8334
200.0000	0.0750	61.3200	24.5752	96.7417	3.2583
	Fondo	8.1300	3.2583	100.0000	0.0000
Peso Total		249.5200	100.0000		

En la tabla 32 se muestra que la mayor cantidad de retención de arcilla es en el tamiz 0.18 mm con un 29.0277%, valor similar al presentado por (Pérez 2016) quien trabaja con un tamiz de 0.15 mm con una retención de 21.0000%.

ANÁLISIS POR TAMICES

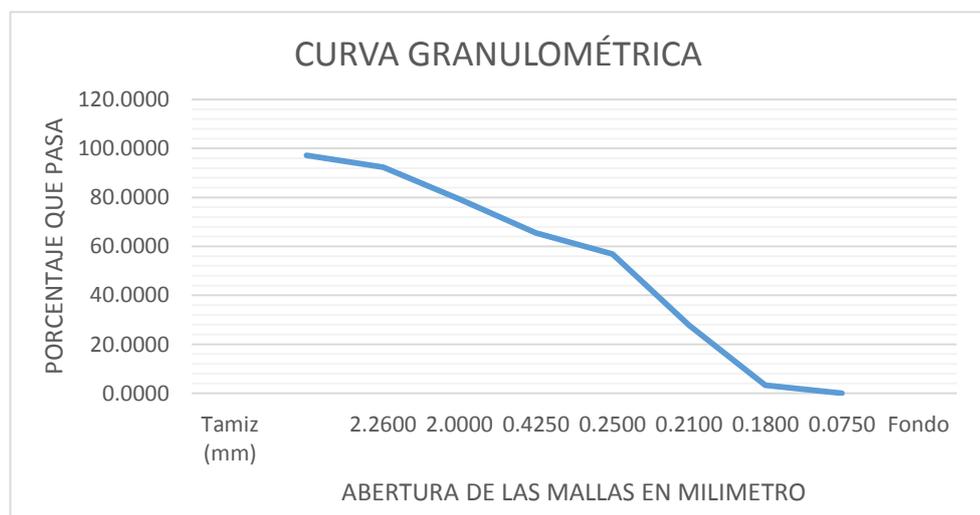


Figura 29: Mezcla 5 Curva Granulométrica

Mezcla 6: de la Proporción de Arcilla, Greda, Arena

Muestra: Arcilla= 176.6304g, Greda= 46.1957g, arena= 27.1739g, TOTAL = 250g

Tabla 33: Determinación de Análisis Granulométrico de la Mezcla 6

Tamiz #	Tamiz (mm)	Peso retenido g.	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
8.0000	2.2600	6.3800	2.5561	2.5561	97.4439
10.0000	2.0000	13.5400	5.4247	7.9808	92.0192
40.0000	0.4250	33.8700	13.5697	21.5505	78.4495
60.0000	0.2500	33.2900	13.3373	34.8878	65.1122
70.0000	0.2100	19.7300	7.9046	42.7925	57.2075
80.0000	0.1800	72.4300	29.0184	71.8109	28.1891
200.0000	0.0750	62.5400	25.0561	96.8670	3.1330
	Fondo	7.8200	3.1330	100.0000	0.0000
Peso Total		249.6000	100.0000		

En la tabla 33 se muestra que la mayor cantidad de retención de arcilla es en el tamiz 0.18 mm con un 29.0184%, valor que se puede comparar con lo presentado por (Pérez 2016) en su trabajo realizado, quien trabaja con un tamiz de 0.15 mm con un retención de 21.0000%.

ANÁLISIS POR TAMICES

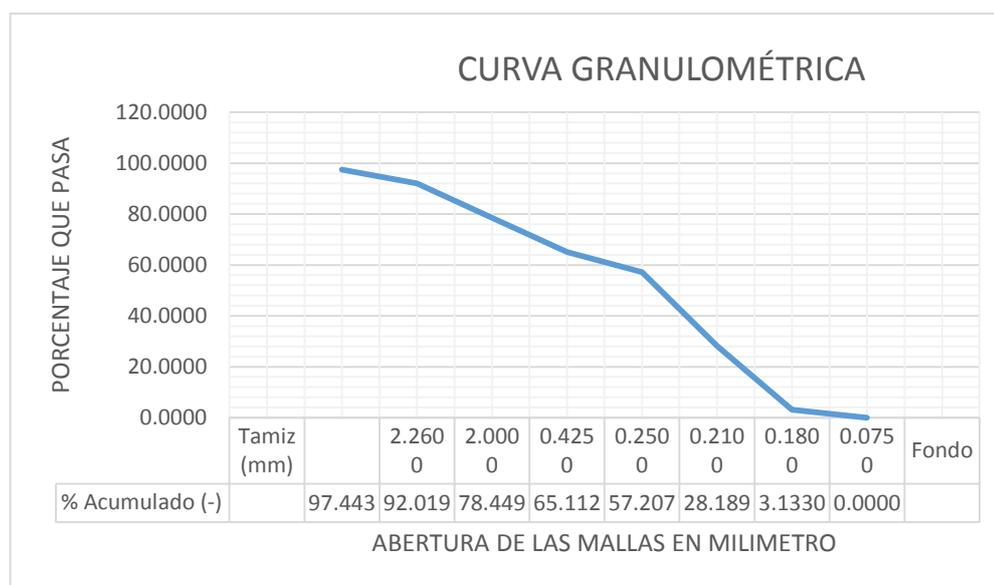


Figura 30: Mezcla 6 Curva Granulométrica

Mezcla 7: de la Proporción de Arcilla, Greda, Arena

Muestra: Arcilla= 185.6885g, Greda= 41.6666g, arena= 22.6449g, TOTAL = 250g

Tabla 34: Determinación de Análisis Granulométrico de la Mezcla 7

Tamiz #	Tamiz (mm)	Peso retenido g.	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
8.0000	2.2600	6.7400	2.7025	2.7025	97.2975
10.0000	2.0000	11.6700	4.6792	7.3817	92.6183
40.0000	0.4250	33.7400	13.5285	20.9102	79.0898
60.0000	0.2500	34.0100	13.6367	34.5469	65.4531
70.0000	0.2100	21.3400	8.5565	43.1034	56.8966
80.0000	0.1800	71.4300	28.6407	71.7442	28.2558
200.0000	0.0750	63.2600	25.3649	97.1091	2.8909
	Fondo	7.2100	2.8909	100.0000	0.0000
Peso Total		249.4000	100.0000		

En la tabla 34 se muestra que la mayor cantidad de retención de arcilla es en el tamiz 0.18 mm con un 28.6407%, valor similar al presentado por (Pérez 2016) quien trabaja con un tamiz de 0.15 mm con una retención de 21.0000%.

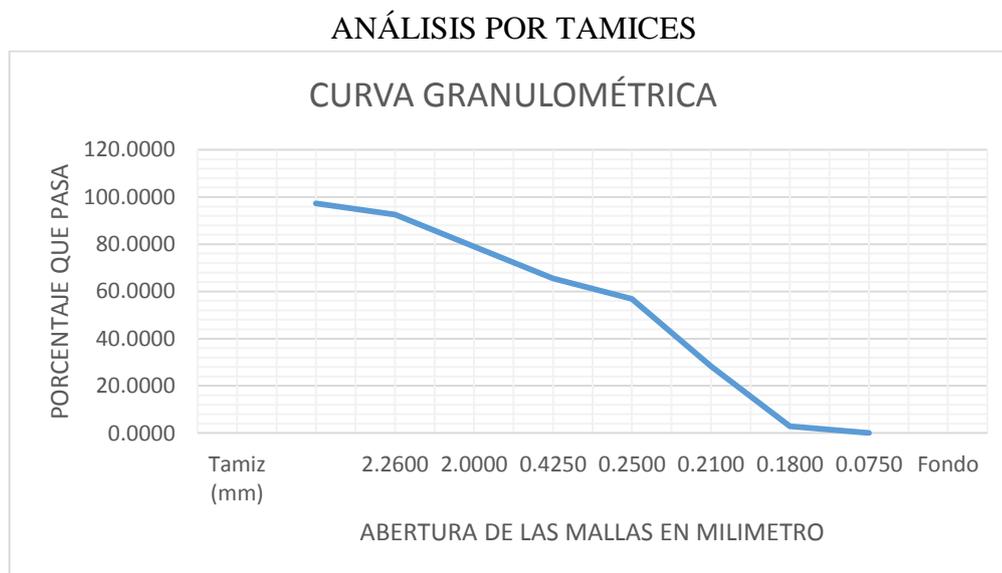


Figura 31: Mezcla 7 Curva Granulométrica

Mezcla 8: de la Proporción de Arcilla, Greda, Arena

Muestra: Arcilla= 194.7463g, Greda= 37.1377g, arena= 18.1157g, TOTAL = 250g

Tabla 35: Determinación de Análisis Granulométrico de la Mezcla 8

Tamiz #	Tamiz (mm)	Peso retenido g.	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
8.0000	2.2600	6.4200	2.5751	2.5751	97.4249
10.0000	2.0000	12.0700	4.8414	7.4165	92.5835
40.0000	0.4250	33.4700	13.4251	20.8415	79.1585
60.0000	0.2500	34.9800	14.0307	34.8722	65.1278
70.0000	0.2100	19.9800	8.0141	42.8864	57.1136
80.0000	0.1800	72.0300	28.8917	71.7781	28.2219
200.0000	0.0750	61.9300	24.8406	96.6187	3.3813
	Fondo	8.4300	3.3813	100.0000	0.0000
Peso Total		249.3100	100.0000		

En la tabla 35 se muestra que la mayor cantidad de retención de arcilla es en el tamiz 0.18 mm con un 28.8917%, valor similar al presentado por (Pérez 2016) quien trabaja con un tamiz de 0.15 mm con un retención de 21.0000%

ANÁLISIS POR TAMICES

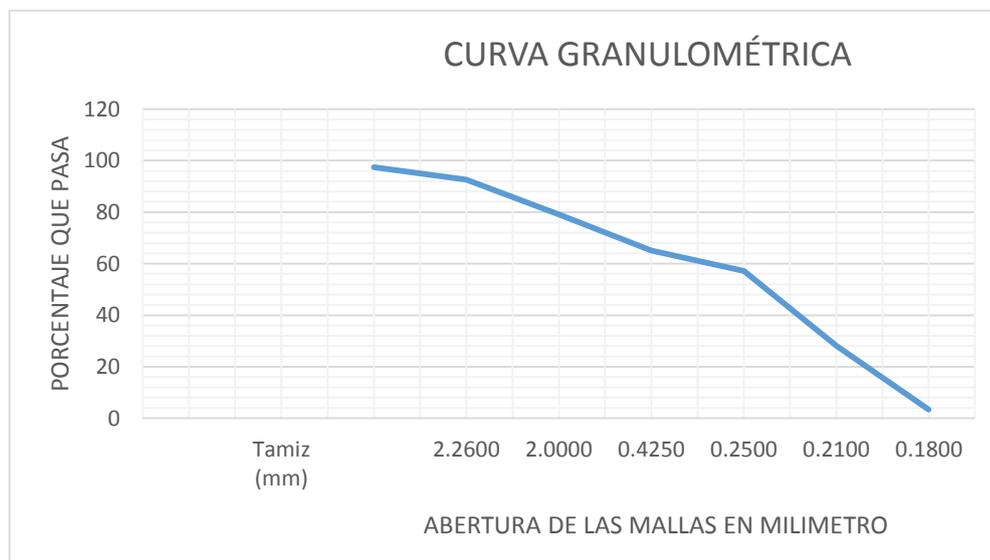


Figura 32: Mezcla 8 Curva Granulométrica

Mezcla 9: de la Proporción de Arcilla, Greda, Arena

Muestra: Arcilla= 181.1594g, Greda= 50.7247g, arena= 18.1159g, TOTAL = 250g

Tabla 36: Determinación de Análisis Granulométrico de la Mezcla 9

Tamiz #	Tamiz (mm)	Peso retenido g.	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
8.0000	2.2600	7.7400	3.1038	3.1038	96.8962
10.0000	2.0000	13.4300	5.3856	8.4894	91.5106
40.0000	0.4250	33.7700	13.5421	22.0315	77.9685
60.0000	0.2500	34.6400	13.8910	35.9225	64.0775
70.0000	0.2100	21.6700	8.6899	44.6124	55.3876
80.0000	0.1800	75.3500	30.2161	74.8286	25.1714
200.0000	0.0750	57.3400	22.9939	97.8225	2.1775
	Fondo	5.4300	2.1775	100.0000	0.0000
Peso Total		249.3700	100.0000		

En la tabla 36 se muestra que la mayor cantidad de retención de arcilla es en el tamiz 0.18 mm con un 30.2161%, valor semejante al presentado por (Pérez 2016) quien trabaja con un tamiz de 0.15 mm con una retención de 21.0000%

ANÁLISIS POR TAMICES

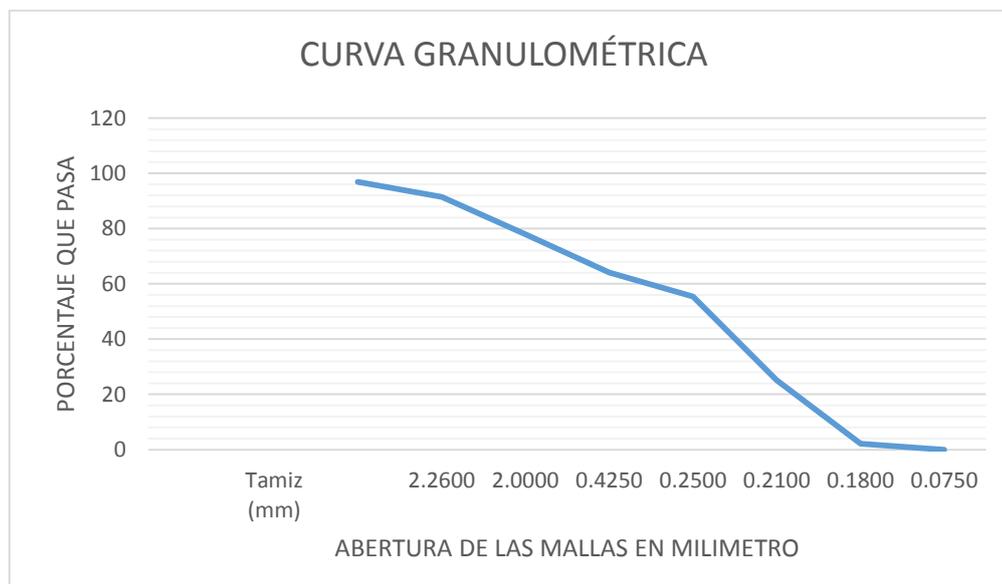


Figura 33: Mezcla 9 Curva Granulométrica

Mezcla 10: de la Proporción de Arcilla, Greda, Arena

Muestra: Arcilla= 181.1593g, Greda= 37.1377g, arena= 31.7030g, TOTAL = 250g

Tabla 37: Determinación de Análisis Granulométrico de la Mezcla 10

Tamiz #	Tamiz (mm)	Peso retenido g.	% Retenido	% Acumulado (+)	% Acumulado (-)
8.0000	2.2600	6.3400	2.5408	2.5408	97.4592
10.0000	2.0000	11.6500	4.6688	7.2096	92.7904
40.0000	0.4250	32.9300	13.1968	20.4064	79.5936
60.0000	0.2500	32.6300	13.0766	33.4829	66.5171
70.0000	0.2100	23.5400	9.4337	42.9167	57.0833
80.0000	0.1800	75.6300	30.3090	73.2257	26.7743
200.0000	0.0750	58.7600	23.5483	96.7739	3.2261
	Fondo	8.0500	3.2261	100.0000	0.0000
Peso Total		249.5300	100.0000		

En la tabla 37 se muestra que la mayor cantidad de retención de arcilla es en el tamiz 0.18 mm con un 30.3090%, valor semejante presentado por (Pérez 2016) quien trabaja con un tamiz de 0.15 mm con una retención de 21.0000%

ANÁLISIS POR TAMICES

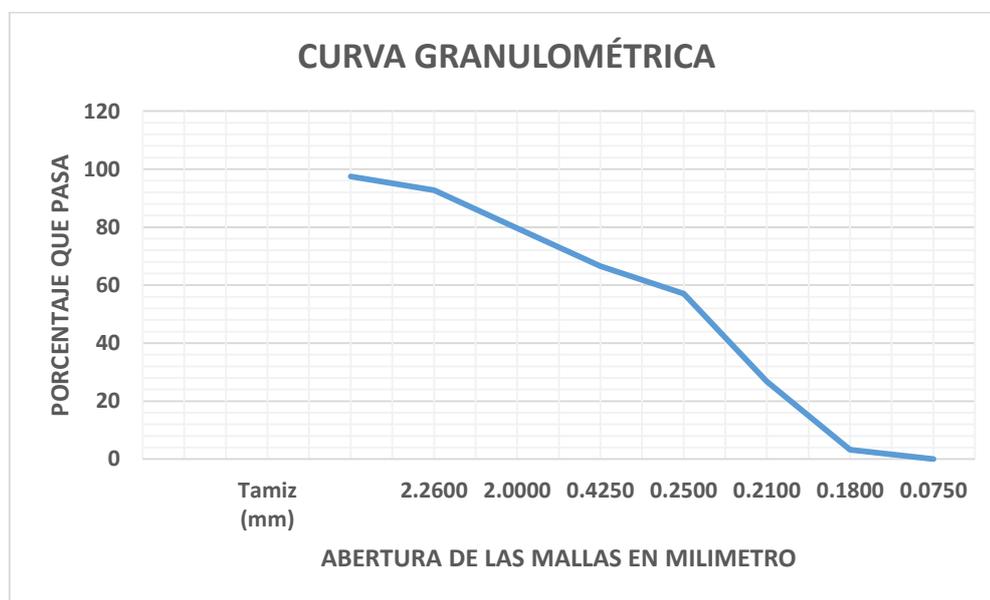


Figura 34: Mezcla 10 Curva Granulométrica

Todas las curvas de granulometría se encuentran dentro del rango establecido.

4.2.9 Límite Líquido ASTM D-4318

Tabla 38: Límite Líquido

# Tara	LÍMITE LÍQUIDO		
	M-36	M-28	S-5B
Peso de Tara PT g.	16.8200	20.0400	17.6100
T + Suelo Húmedo TSH g.	36.0500	37.3000	32.6500
T + Suelo Seco TSS g.	28.7000	30.5400	26.4800
Peso del agua PA g.	7.3500	6.7600	6.1700
Suelo Seco SS g.	11.8800	10.5000	8.8700
% de Humedad	61.8700	64.3800	69.5600
Nro. de Golpes	34.0000	27.0000	15.0000

Fuente: FICA- Unap- 2019

En la tabla 38 se muestra los resultados de límite líquido con Nro. De golpes promedio de 25. (Pérez 2016 aplica igual 25 golpes) y obtiene un límite líquido de 29

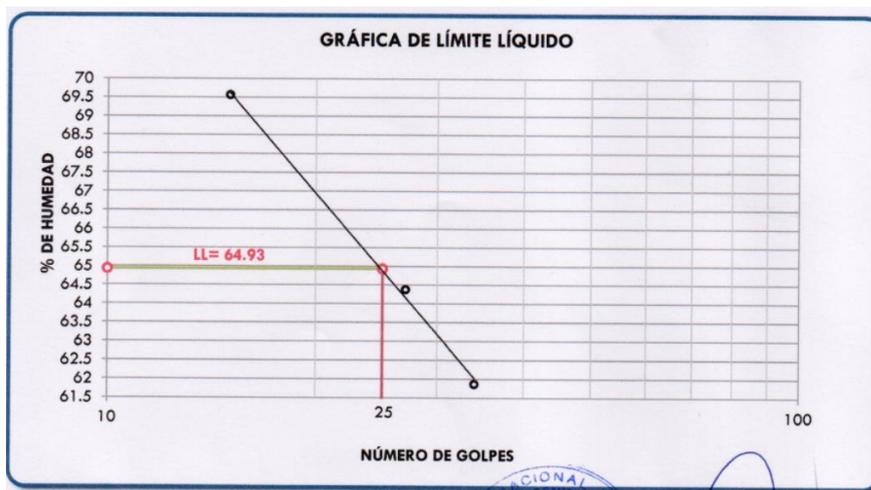


Figura 35: Gráfica de límite líquido

Fuente: FICA-UNAP-2019

La figura 35 nos da de la tabla 36 con un porcentaje de humedad promedio de 65 y Número de golpes promedio 25, que forma una pendiente de límite líquido de 64.93.

4.2.10 Límite Plástico ASTM D-4318

Tabla 39: Límite Plástico

# Tara	LÍMITE PLÁSTICO		
	D-21	M-72	A-3
Peso de Tara PT g.	13.8100	10.5700	13.4300
T + Suelo Húmedo TSH g.	17.7900	13.9900	16.4200
T + Suelo Seco TSS g.	16.8300	13.1600	15.6900
Peso del agua PA g.	0.9600	0.8300	0.7300
Suelo Seco SS g.	3.0200	2.5900	2.2600
% de Humedad	31.8000	32.0000	32.3000
Límite plástico		32.00	

Fuente: FICA –Unap-2019

En la tabla 39 nos muestra el límite plástico con un promedio de 32 (Pérez 2016) obtiene el límite plástico de 21

4.2.11 Índice de Plasticidad ASTM-D4318

Índice de plasticidad = $64.9300 - 32.0000 = 32.9300$

4.2.12 Porcentaje de Contracción Lineal

Aplicando la ecuación 9

Tabla 40: Porcentaje de Contracción Lineal

Muestra de Probetas de ladrillo	Li (cm)	Lf (cm)	Lf (cm) 900°C	% CL Seco	% CL 900°C
A	5.8000	4.6000	4.4000	20.6897	4.3478
	6.1000	4.9000	4.6000	19.6721	6.1224
B	5.9000	4.6000	4.5000	22.0339	2.1739
	6.1000	4.7000	4.6000	22.9508	2.1277
C	5.5000	4.5000	4.4000	18.1818	2.2222
	6.0000	4.6000	4.5000	23.3333	2.1739
D	5.9000	4.7000	4.5000	20.3390	4.2553
	5.8000	4.6000	4.4000	20.6897	4.3478
E	6.3000	5.2000	4.9000	17.4603	5.7692
	6.0000	4.8000	4.6000	20.0000	4.1667
F	5.5000	4.5000	4.2000	18.1818	6.6667
	6.2000	5.0000	4.7000	19.3548	6.0000
G	5.7000	4.6000	4.3000	19.2982	6.5217
	5.9000	4.9000	4.6000	16.9492	6.1224
H	5.9000	4.8000	4.5000	18.6441	6.2500
	5.9000	4.8000	4.6000	18.6441	4.1667
I	5.9000	4.8000	4.5000	18.6441	6.2500
	5.9000	4.8000	4.5000	18.6441	6.2500
J	5.7000	4.7000	4.4000	17.5439	6.3830
	6.5000	5.3000	5.1000	18.4615	3.7736

En la tabla 40 se muestra los datos medidos al moldear, después del moldeo la muestra seca se contrae seca CS, la contracción después de cocer a CL 900°C presenta ciertas características.

4.2.13 Porcentaje en Contracción en Masa

Aplicando la ecuación 10

Tabla 41: Porcentaje de Contracción en Masa

Muestra de Probetas de ladrillo	Mi (gr.)	Mf (g)	Mf (g) 900°C	% CM Seco	% CM 900 °C
A	49.0000	37.0000	32.6260	24.4898	11.8216
	52.0000	39.0000	34.7667	25.0000	10.8546
B	50.0000	38.0000	34.2090	24.0000	9.9763
	52.0000	39.0000	34.3886	25.0000	11.8241
C	48.0000	36.0000	31.8405	25.0000	11.5542
	49.0000	37.0000	33.2997	24.4898	10.0008
D	49.0000	37.0000	33.0155	24.4898	10.7689
	48.0000	36.0000	31.7144	25.0000	11.9044
E	54.0000	41.0000	36.6091	24.0741	10.7095
	52.0000	39.0000	35.2901	25.0000	9.5126
F	45.0000	34.0000	29.9685	24.4444	11.8574
	48.0000	36.0000	31.8860	25.0000	11.4278
G	48.0000	36.0000	32.7729	25.0000	8.9642
	47.0000	35.0000	31.4363	25.5319	10.1820
H	49.0000	37.0000	32.8173	24.4898	11.3046
	50.0000	38.0000	33.5374	24.0000	11.7437
I	49.0000	37.0000	33.0862	24.4898	10.5778
	49.0000	37.0000	33.1676	24.4898	10.3578
J	48.0000	36.0000	32.8763	25.0000	8.6769
	56.0000	42.0000	37.4402	25.0000	10.8567

En la tabla 41 se muestra los Contracción de las masas de las 10 combinaciones por duplicado de las proporciones de Arcilla, Greda, arena, donde se aprecia la igualdad de contracción en las mayorías de las muestras con un 25 % masa en seco, a 900°C se aprecia la más alta en contracción en la muestra 8 con 11.90%

4.3. LABRANZA DE PROBETAS

4.3.1 Mezclado y Moldeo

Aplicando un diseño de simplex centroide, se tiene como resultados las siguientes

composiciones: variando la arcilla (65 – 75) %, Greda (12 – 22) %, Arena (5 – 15) % tal como se muestra en la siguiente tabla 42.

Tabla 42: Determinación Porcentaje de Mezcla de las Probetas

Número de prueba	% de Arcilla	% de Greda	% de Arena
1.0000	75.0000	12.0000	5.0000
2.0000	65.0000	22.0000	5.0000
3.0000	65.0000	12.0000	15.0000
4.0000	70.0000	17.0000	5.0000
5.0000	70.0000	12.0000	10.0000
6.0000	65.0000	17.0000	10.0000
7.0000	68.3333	15.3333	8.3333
8.0000	71.6667	13.6667	6.6667
9.0000	66.6667	18.6667	6.6667
10.0000	66.6667	13.6667	11.6667

En la tabla 42 se realiza la mezcla de las tres arcillas, diez mezclas aplicando el diseño de simplex centroide ampliado.

Teóricamente se dice que la arcilla adquiere plasticidad al mezclarse con el agua. Pues cuando me toco hacer el moldeo de las probetas de ladrillo efectivamente pude comprobado que las arcillas adquieren plasticidad, previo a una etapa de maceración durante 30 minutos y posterior amasado.

Tabla 43: Porcentaje de Humedad Promedio de las Probetas

muestra de (probetas) de ladrillo	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Humedad (%)
A	49.0000	37.0000	24.4898
	52.0000	39.0000	25.0000
B	50.0000	38.0000	24.0000
	52.0000	39.0000	25.0000
C	48.0000	36.0000	25.0000
	49.0000	37.0000	24.4898
D	49.0000	37.0000	24.4898
	48.0000	36.0000	25.0000
E	54.0000	41.0000	24.0741
	52.0000	39.0000	25.0000
F	45.0000	34.0000	24.4444
	48.0000	36.0000	25.0000
G	48.0000	36.0000	25.0000
	47.0000	35.0000	25.5319
H	49.0000	37.0000	24.4898
	50.0000	38.0000	24.0000
I	49.0000	37.0000	24.4898
	49.0000	37.0000	24.4898
J	48.0000	36.0000	25.0000
	56.0000	42.0000	25.0000
			24.6995

El resultado de la humedad promedio de las Muestras de ladrillo moldeadas fue de 24.6995% lo que resulta siendo apropiada, de acuerdo a la información bibliográfica.

4.3.2 Secado

La etapa del secado duro 10 días (168 horas), evitando la exposición al sol.

Los resultados del cálculo de humedad promedio de probetas después de la etapa del secado se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 44: Porcentaje de Humedad antes de entrar al Horno

Muestra de arcilla	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Humedad (%)
A	34.0000	32.6260	4.0412
	37.0000	34.7667	6.0359
B	36.0000	34.2090	4.9750
	36.0000	34.3886	4.4761
C	34.0000	31.8405	6.3515
	35.0000	33.2997	4.8580
D	35.0000	33.0155	5.6700
	34.0000	31.7144	6.7224
E	39.0000	36.6091	6.1305
	37.0000	35.2901	4.6214
F	32.0000	29.9685	6.3484
	34.0000	31.8860	6.2176
G	35.0000	32.7729	6.3631
	33.0000	31.4363	4.7385
H	35.0000	32.8173	6.2363
	35.0000	33.5374	4.1789
I	35.0000	33.0862	5.4680
	35.0000	33.1676	5.2354
J	35.0000	32.8763	6.0677
	39.0000	37.4402	3.9995
		Humedad promedio	5.4368

El secado del trabajo experimental se encuentra en el rango de humedad de 3.9995 – a 6.7224 % y efectivamente se redujo la cantidad de probetas agrietadas en la etapa de cocción y de esa forma se reduce las pérdidas por ruptura.

El resultado de la humedad promedio de las probetas secas fue de 5.4368%, lo que resulta sientto apropiado porque según estudios realizados por (Pumacahua 2009) obtiene un promedio de humedad de 5.32%, entonces la humedad obtenida es adecuada.

4.3.3 Cocción

4.3.3.1. Acondicionamiento

El acondicionamiento se realizó durante 1 hora con 33 minutos alcanzando en este tiempo a temperatura de 136°C

Cuando se alcanza la temperatura de 214 °C, las probetas se toman color oscuro y con el transcurrir de tiempo e incremento de temperatura se recupera el color inicial.

La coloración oscura se debió a que, la temperatura de 200°C empezó a quemarse la materia orgánica, porque todo material orgánico adquiere coloración oscura al momento de la combustión, además la arcilla contiene material orgánico en su estructura y también proveniente de las raíces de las plantas que crecen sobre ella (Doval, 1991) citado en (Pumacahua, 2009)

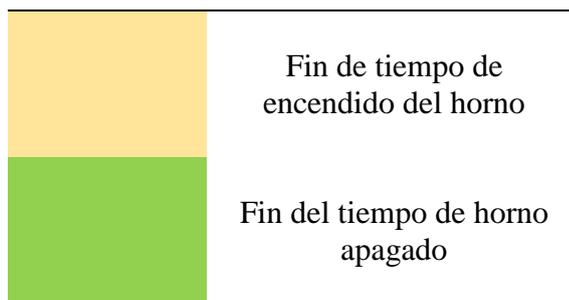
Según su incremento la temperatura al cabo de 7 minutos se alcanzó a los 320°C, estas condiciones las probetas recuperan su color inicial, este cambio es un indicador del inicio de eliminación de agua expresada como humedad de las probetas (Franzincani, 1992) citado en (Pumacahua, 2009)

Por recomendaciones del ingeniero Atilio se requirió incrementar lentamente la temperatura del horno, para que no produzca un choque térmico, para evitar cambios bruscos fue necesario establecer tiempo de encendido y apagado del horno, a continuación se muestra la tabla representativa del control de los tiempos de encendido y apagado del horno, manteniendo la tapa del horno abierto.

Tabla 45: Evolución de Temperatura y Tiempo en el Acondicionamiento

	Temperatura °C	Tiempo min	N° veces
Acondicionamiento ó precalentamiento	24	0	
	24	1	1
	25	2	
	25	3	2
	25	4	
	25	5	3
	26	6	
	26	7	4
	29	8	
	27	9	5
	29	10	
	27	11	6
	30	12	
	30	13	7
	31	14	
	30	15	8
	32	16	
	31	17	9
	33	18	
	33	19	10
	34	20	
	33	23	1
	34	24	
	34	27	2
	34	28	
	34	31	3
	35	32	
	35	35	4
	36	36	
	36	39	5
	37	40	
	37	45	1
	40	46	
44	51	2	
44	52		
50	62	1	
55	63		
	136	93	Encendido hasta la temperatura 900

Donde:



Con los datos de la tabla 45, se representa gráficamente la temperatura curso tiempo, obteniéndose el siguiente gráfico.

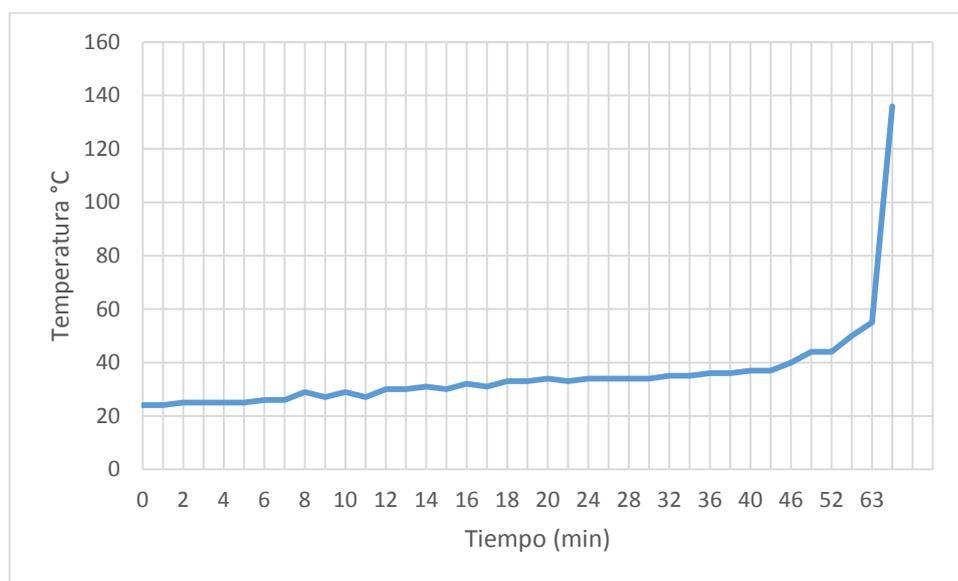


Figura 36: Temperatura curso Tiempo en el Acondicionamiento

De la gráfica 36 se puede observar un incremento lento de temperatura, permitiendo así establecer temperaturas uniformes dentro del horno, de esta manera se logró que las probetas pasen una etapa de precalentamiento sin ninguna reacción desfavorable en las probetas. Esta etapa continua hasta alcanzar los 150°C, después de esta temperatura el horno trabaja sin interrupciones con la tapa cerrada, Tal como se puede apreciar en el trabajo citado por (Pumacahua, 2009)

4.3.3.2 Calentamiento y Cocción

En el presente trabajo el tiempo de calentamiento y cocción fue de 310 minutos, los resultados son los siguientes.

Tabla 46: Evolución de Temperatura y Tiempo en el Calentamiento y Cocción

	Temperatura	Tiempo
Calentamiento	136.0000	93.0000
	214.0000	97.0000
	328.0000	100.0000
	380.0000	103.0000
	410.0000	113.0000
	483.0000	123.0000
	535.0000	133.0000
	586.0000	143.0000
	620.0000	153.0000
	638.0000	163.0000
	656.0000	173.0000
	675.0000	183.0000
	700.0000	193.0000
	712.0000	203.0000
	732.0000	213.0000
	751.0000	223.0000
	772.0000	233.0000
	788.0000	243.0000
	799.0000	253.0000
	810.0000	263.0000
	820.0000	273.0000
	829.0000	283.0000
	837.0000	293.0000
	844.0000	303.0000
	850.0000	313.0000
	856.0000	323.0000
	862.0000	333.0000
	871.0000	343.0000
	878.0000	353.0000
	884.0000	363.0000
	890.0000	373.0000
892.0000	383.0000	
896.0000	393.0000	
900.0000	403.0000	
900.0000	433.0000	

La tabla 46, muestra la relación de temperatura y tiempo aplicado al calentamiento y cocción de las probetas producidas.

Temperatura curso tiempo del calentamiento y cocción.

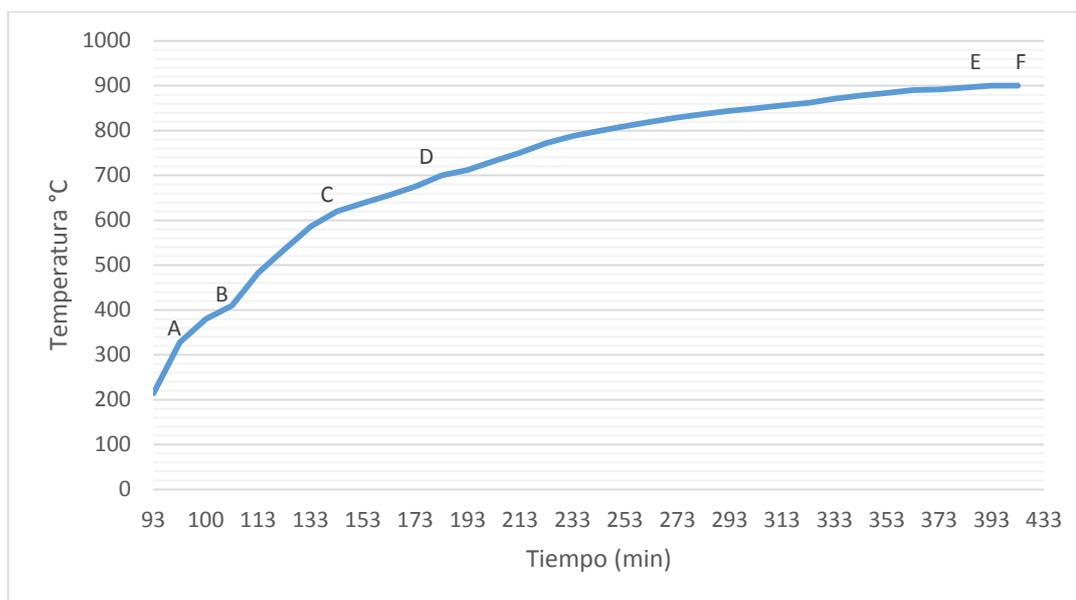


Figura 37: Temperatura curso Tiempo de Calentamiento

En esta Figura 37 apreciamos rampas durante el incremento de temperatura, la curva demuestra que el de incremento de la temperatura fue homogéneo.

Permitiendo una cocción uniforme de las probetas. Según (Pumacahua 2009). Recomiendan que la curva de cocción sea ascendente con presencia de rampas durante el ascenso.

En la etapa de calentamiento, que empieza en el minuto 93, se observó incremento de temperatura brusco a 310°C en 10 minutos, pero a partir de 123, la temperatura del horno se hizo casi constante (Forma de rampas o mesetas en el gráfico de calentamiento), durante 20 minutos, esta fue la primera rampa (Punto AB). En el transcurso del minuto 153 al minuto al minuto 173 (Punto CD) se observa otra rampa. Tal como se puede apreciar en el trabajo citado por (Pumacahua, 2009)

Después del minuto de 173 se observa que la temperatura se vuelve casi constante hasta llegar al minuto 403

La línea vertical en el tiempo de 413 min a 433 min en el gráfico, nos indica que en ese momento se inició la cocción manteniéndose a una temperatura de 900°C durante 20 minutos.

Cuando la temperatura del horno alcanzó 500°C, logramos apreciar la variación de color de las probetas adquiriendo un color y a la temperatura de 700°C, las probetas adquieren un color naranja. Tal como se puede apreciar en el trabajo citado por (Pumacahua, 2009)

La etapa de cocción duro en su totalidad 7 horas con 21 minutos de cocidos y 48 horas de enfriamiento.

4.4 ANÁLISIS DE ABSORCIÓN DE AGUA DEL LADRILLO ARTESANAL

La absorción de agua al principio fue rápida, de acuerdo al transcurrir del tiempo de velocidad de absorción fue disminuyendo hasta mantener constante, el tiempo que duro esta prueba fue de 72 horas

Tabla 47: Absorción de Agua del Ladrillo Artesanal

Muestra de Ladrillo Artesanal	Peso Inicial de Ladrillo P1	Peso Final de Ladrillo P2	% de Absorción
1.0000	2882.0000	3356.0000	14.1240
2.0000	2825.0000	3320.0000	14.9096
3.0000	2435.0000	2920.0000	16.6096
4.0000	2844.0000	3401.0000	16.3775
5.0000	2773.0000	3250.0000	14.6769
			15.3395

En la tabla 47 se basó en cinco muestras para el análisis de absorción de agua de la Concesión San Pedro 2000, el análisis refleja un valor promedio de 15.3495% de absorción de agua, es un porcentaje adecuado a la norma de la albañilería E-70.

4.5. RESISTENCIA MECÁNICA DEL LADRILLO ARTESANAL

Tiene como objetivo determinar a la compresión de las muestras para ello el ensayo se realizó en la facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura escuela profesional de ingeniería Civil, en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional del Altiplano

Luego se procedió a tomar las medidas los lados de las caras de la muestra que tendrán contacto con los ensayos de la máquina para determinar el área en el que se ejecuta la fuerza. Se prepara la máquina para el ensayo se coloca la muestra y se ejecuta la fuerza en el que se rompe la muestra y se hace la respectiva lectura.

4.5.1 Resistencia mecánica de ladrillo artesanal de la Concesión San Pedro 2000

Tabla 48: Resistencia Mecánica de Ladrillo Artesanal

N ^o	DIMENSIONES DEL LADRILLO					AREA (Cm ²)	PESO VOLUMETRICO		CARGA MAX (Kg-f)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN qu Kg/Cm ²
	VOLUMEN (Cm ³)	VOL. C. (Cm ³)	GRUESO "H" (Cm)	TIZO N "a" (Cm)	SOGA "b" (Cm)		PESO G	PESO VOL. Kg/m ³		
I	2490.960	1676.800	9.7000	21.400	12.0000	256.800	2844	1.7000	4870	18.9642
II	2456.160	1665.600	8.4000	21.500	12.3000	255.900	2840	1.7100	3750	14.6542
II	2451.000	1651.000	9.5000	21.500	12.0000	258.000	2773	1.6800	3770	14.6124
I	2192.470	1553.000	9.3000	20.500	11.5000	235.800	2570	1.6500	3350	14.2069
V	2413.920	1617.900	9.4000	21.400	12.0000	256.800	2838	1.7500	5660	22.0405
										16.8956

En la tabla 49 se presenta el resultado de cinco muestras al azar de la Concesión San Pedro 2000, el análisis refleja en valor Promedio de 16.8956 kg/cm² de Resistencia, es un valor bajo para los estándares de ladrillo macizos según la norma la norma de albañilería E-70

4.6 ANÁLISIS DE ABSORCIÓN DE AGUA EN LAS MUESTRAS DE LADRILLO

Tabla 49: Análisis de Absorción de Agua

Muestra de (probetas) de ladrillo	Peso Inicial de Ladrillo P1	Peso Final de Ladrillo P2	% de Absorción
A	32.6260	36.3922	10.3489
B	34.3886	37.6481	8.6578
C	31.8405	35.5375	10.4031
D	31.7144	35.0072	9.4061
E	36.6091	40.6122	9.8569
F	29.9685	33.4012	10.2772
G	31.4346	34.9394	10.0311
H	32.8173	36.5509	10.2148
I	33.0862	36.1724	8.5319
J	32.8763	36.2593	9.3300

La absorción de agua posible de un ladrillo se refiere solo a aquella porosidad que está relacionado con la penetración del agua, es decir la porosidad se manifiesta en el porcentaje de absorción de agua (Franzincani, 1992) citado por (Pumacahua, 2009), para la Norma E-70 (Norma Técnica de Albañilería) tiene un valor de 22% al comparado con

el resultado de los ladrillos producidos a 900°C, que tienen 8.5319%, demostrado que el ladrillo producido cumple con la norma.

El porcentaje de absorción de agua que presenta los ladrillos de la Concesión San Pedro 2000 es de 15.34%, cuyo valor cumple con la norma E-70

4.7 RESISTENCIA MECÁNICA DE LAS PROBETAS

La Resistencia a la compresión de determina como en el punto 3.6.3

Tabla 50 Informe de Ensayo a la Compresión

Muestras de Probetas	% de Arcilla (65.0000-75.0000)	% de Greda (12.0000-22.0000)	% de Arena (5.0000-15.0000)	RESISTENCIA
A	75.0000	12.0000	5.0000	228.3384
B	65.0000	22.0000	5.0000	231.0567
C	65.0000	12.0000	15.0000	184.8454
D	70.0000	17.0000	5.0000	225.3936
E	70.0000	12.0000	10.0000	187.3734
F	65.0000	17.0000	10.0000	213.9314
G	68.3333	15.3333	8.3333	226.6273
H	71.6667	13.6667	6.6667	174.9915
I	66.6667	18.6667	6.6667	241.1088
J	66.6667	13.6667	11.6667	219.7304

Para la obtención de la mezcla de ladrillo compuesto por tres componentes, se combinó las materias primas en un 92% en masa (Arcilla, Greda, arena)

4.8 BALANCE DE MASA

4.8.1 Balance de masa de probetas.

A) Balance en el Mezclado

El balance se realiza con la guía ayuda de la tesis citado (Pumacahua, 2009) que tiene bastante similitud.

A partir de la mejor formulación obtenida a nivel laboratorio y con una base de cálculo de 150g, de mezcla, se obtiene los pesos de la materia prima e insumos iniciales:

Tabla 51: Composición Recalculada y Pesos Iniciales.

Muestra	Porcentaje %	composición recalculada	peso
Arcilla	66.6667	51.8939	84.6096
Greda	18.6667	14.5303	23.6907
Arena	6.6667	5.1894	8.4610
Humedad media (Whu) -		20.3865	33.2389

En la tabla 51, la composición inicial se encontraba en base seca por lo tanto se realizó un recalcu de la composición, tomando en cuenta la humedad promedio de la arcilla de 5.4368%, resultando la composición en base húmeda y a partir de esta de obtuvieron los pesos iniciales de la materia prima e insumos.

A la mezcla se le añadió 92 ml de agua, teniendo en cuenta la densidad del agua de 1g/ml, se obtiene el siguiente dato.

$$W_{H_2O} = 92\text{ml} = 92\text{g}.$$

Operando las ecuaciones 14, 15 y 13, respectivamente se obtiene:

$$W_{MS} = 84.6096\text{g} + 23.6907\text{g} + 8.4610\text{g} = 116.7613\text{g}$$

$$W_{tH_2O} = 33.2389\text{g} + 92.0000\text{g} = 125.2389\text{g}$$

$$M_{MH} = 116.9243 + 125.0759 = 242.0002 \text{ g}$$

B) Balance en el Moldeo

La pérdida de mezcla por manipuleo y moldeo fue de 15g, a partir de esto se tiene:

$$PM = 15.0000g$$

$$W_{MH} = W_{PM} + P_M \dots \dots \dots \text{Ecuación 27}$$

De la ecuación 16 se despeja el peso de probetas moldeadas y operando se tiene

$$W_{PM} = W_{MH} - P_M \dots \dots \dots \text{Ecuación 28}$$

$$W_{PM} = 242.1443g - 15g = 227.0002g.$$

C) Balance de Secado

La humedad de la probeta moldeada obtenida en la tabla es de:

$$Hu_{(PM)} = 24.6995\%$$

Operando la ecuación 19, se tiene

$$S = 227.1443g * (1 - 0.24995) = 170.9323g$$

El peso de las probetas secadas al medio ambiente será:

$$Sp \text{ ----- } 95\%$$

$$W_{ps} \text{ ----- } 100\%$$

$$W_{ps} = \frac{S * 1}{0.95} = \frac{170.9323}{0.95} = 179.9287. g.$$

De la ecuación 20, la pérdida en peso de la humedad por secado está representada por:

$$P_{hu} = W_{PM} - W_{PS}$$

Operando se tiene:

$$P_{hu} = 227.0002g - 179.9287g = 47.0715g$$

D) Balance de Horno

La humedad promedio de la probeta seca obtenida y mostrada en la tabla 44, es:

$$Hu_{ps} = 5.4368$$

Operando la ecuación 22, se tiene:

$$WH_2O (e) = 179.9287 * 0.05 = 8.5466g$$

Teniendo en cuenta los valores de la tabla 21, y operando las ecuaciones 23 y 24, se tiene.

$$WCO_3Ca_3 = 0.0748 * 180.0417 = 13.4586g$$

$$W_{CO_2} = 13.4671 * 0.4401 = 5.9232g$$

Ordenando y operando la ecuación 21, se tiene:

$$W_P = W_{PS} - (W_{H_2O(E)} + W_{CO_2})$$

$$WP = 180.0417g - (9.0021 + 5.9269) g = 165.4589 g$$

Del balance global, la carga inicial fue de 242 g teniendo una pérdida de masa total de 62.9017 g, (23.9130%), esto como resultado de la suma de pérdidas en el moldeo, secado, vapor de agua y el dióxido de carbono Tal como se puede apreciar en el trabajo citado por (Pumacahua, 2009)

Tabla 52: Resultado de la Masa de Probetas

ENTRADAS			SALIDAS		
Materiales	Masa(g)	%	Materiales	Masa (g)	%
Materia prima e insumos(Arcilla, Greda y Arena)	150.0000	57.0248	Perdida por moldeo	15.0000	5.7025
			Perdida de Agua en el secado	47.1026	17.8949
Agua	92.0000	34.9752	Gases	14.9290	5.5009
			Probetas cocidas	165.1127	62.9017
	242.0000	92		242.0000	92.0000

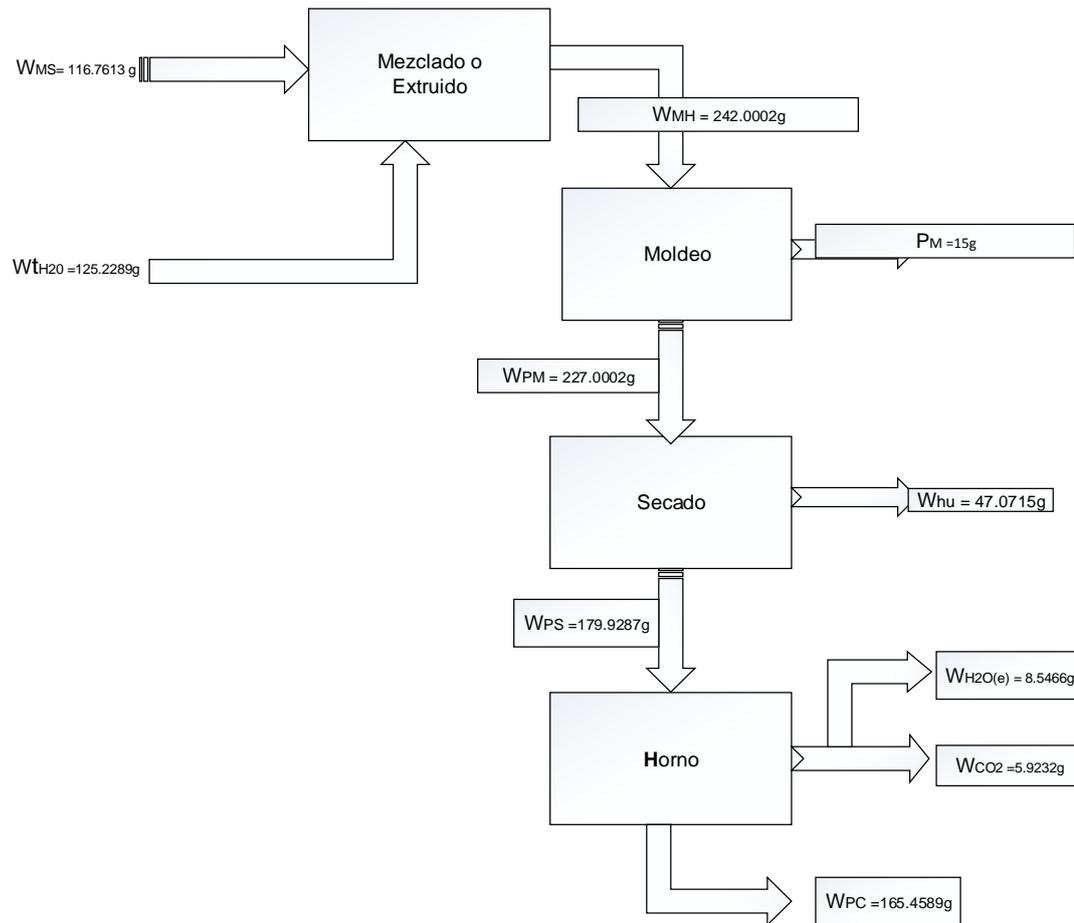


Figura 38: Balance de Masa las Probetas del Ladrillo

V. CONCLUSIONES

Mediante los diferentes análisis físicos realizados se pudo determinar las siguientes características físicas: Arcilla: Rojizo- Amarillento, Greda: Negro, Arena: Rojizo; % de Humedad de la mezcla 20.3865%, Peso específico de la mezcla 2.3013g/cm^3 a 3.3542g/cm^3 , Higroscopicidad de la mezcla 0.5336% a 0.9883%, a pH de la mezcla 7.26 poco alcalina a 7.50 poco alcalina, Gravedad específica de la mezcla 2.2529 g/cm^3 a 2.6007 g/cm^3 , Límite líquido de la mezcla 64.93%, Límite plástico de la mezcla 32.05%, Índice de plasticidad 32.88%; La composición química de la mezcla de arcilla de la Concesión San Pedro 2000 nos la siguiente composición: Cuarzo 58.64%, Montmorillonita 16.81%, $\text{Ca Fe}_3\text{O}_{12}\text{TiO}_4$ 3.5%, $\text{K}_0.95(\text{AlSiO}_8)$ 6.9%, SiO_2 6.91%, Brium magnesium iorn oxi (1/2/16/27) 4.64%.

En la realización del ensayo a la resistencia de compresión de los ladrillos artesanales mejorados en la Concesión San Pedro 2000 tiene un valor máximo de 241 Kg/cm^2 de acuerdo a la norma E-70 de albañilería y tiene una absorción a la humedad promedio de 8.53% Según la Norma E-70 de albañilería cumple con el requisito de la relación mecánica y absorción

Mediante el diseño experimental simplex centroide se logró determinar la mejor mezcla de arcillas cuya composición es de 66.6667% Arcilla, 18.6667% Greda y 6.6667% arena, debido a que esta última de dio mayor resistencia a la muestra probeta elaborada, alcanzando un resistencia mecánica de 241 kg/cm^2 de acuerdo a la norma albañilería E-70 lo clásica como el ladrillo del tipo V

VI. RECOMENDACIONES

- Para poder obtener buenos resultados en la fabricación de ladrillos artesanal se recomienda primeramente caracterizar las propiedades físico-químicas de las arcillas, en los diferentes puntos y a diferentes alturas.
- Al obtener resultados preliminares positivos en laboratorio, se recomienda a la Concesión San Pedro 2000 proporcionar las mezclas realizadas a escala industrial para poder mejorar las propiedades mecánicas de los ladrillos
- Debe efectuarse un muestreo en diferentes puntos y a diferentes profundidades en las canteras de la concesión san pedro 2000, para poder obtener una base más solida

VII. REFERENCIAS

- AASTHO T -100 y ASTM 854 *Determinación de gravedad específica y peso específico*
AASTHO T88-00 *Análisis granulométrico de suelo por tamizado*
- Afanador, N. Ibarra, A. y López, A. (2013) *Caracterización de arcillas empleadas en pasta cerámica para la elaboración de ladrillos en la zona de Ocaña, Norte de Santander – Colombia. Épsilon (20), 101-119.*
- Álvarez, S. (2014) *Optimización del proceso de mezcla de arcilla para la producción de ladrillos, en el sector artesanal* Trabajo de tesis titulado en la Universidad de Cuenca – Ecuador
- Álvaro, C. (2016) *Instalación de una planta de ladrillos mecanizados en la ciudad de pucara* Trabajo de tesis titulado en la Universidad Nacional de Altiplano -Puno
- ASMT- D4318 *Límite Líquido, Límite de plástico, y el índice de plasticidad de los suelos*
ASTM C1314 *Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de los prismas de mampostería*
- Barranzuela, J. (2014) *Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la Región de Piura* Trabajo de tesis titulado de la Universidad De Piura.
- Besoain, E. (1985) *Mineralogía de arcilla de suelos. Costa Rica:*
- Bush, M. (2015) *Elaboración de ladrillos vidriados de bajo peso y alto desempeño para su uso ornamental t para la industria de la construcción* Trabajo de tesis titulado en la Universidad Nacional de San Agustín – Arequipa- Perú
CEAC.
- Del Busto, A. (1991) *La arcilla aplicada en la industria de la construcción para la fabricación de ladrillos y acabados cerámicos.* Lima: Colegio de Ingenieros del Perú.
- Del Rio, J. (1975) *Materiales de la construcción (4ta).* Barcelona: Juan Bruguer.
- Deleg, N. (2010) *definición de un proceso de producción semiindustrial de ladrillos en la parroquia susudel* Trabajo de tesis titulado de la Universidad de Cuenca - Ecuador
- Doval, M., García, E., Luque del villar, J., Martin, J., & Rodas, M.(1991) *Arcillas Industriales: Yacimientos y Aplicaciones En: Yacimientos Minerales.* Editores: R.Lunar y R. Oyarzun. Editorial Centro de Estudios Ramon Areces, S.A. Madrid. Págs. 582-608

- Franzinchi, E. (1992) *Tecnología cerámica de los ladrillos* 3ra Edición Editorial Faenza Editrice Iberica S.L (Italia)
- Gallegos, H. (2005) *Albañilería estructural*. Perú: Fondo editorial PUCP.
- García, C., García, M., & Vaca, M. (2013) *Resistencia mecánica de ladrillos preparados con mezclas de arcilla y lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales* Universidad Distrital San Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia 1 p
- Gutiérrez, H. (2008) *Análisis y diseño de experimentos México*, Mc GRAW-HILL/ INTERAMERICA EDITORES, S.A DE CV
- Hamilton, D. (1989) *Alfarería y cerámica*. España: Ediciones CEAC.
- Huntington, W., Ellison, D., & Mickadeit, R. (1987) *Building construction* (3ra Edición). Australia: John Wiley.
- Kuehl, R. (2000) *Diseño de experimentos principios estadísticos de diseño y análisis de investigación México*, Thomson editores S.A DE CV
- Llerena, V. (2003) *Determinación fisicoquímica de las arcillas de Inchuyo, Mantaro grande y platería del Departamento de Puno* Trabajo tesis titulado de la Universidad Nacional de Altiplano de Puno-Perú
- Mamani, C. (2015) *Estudio y evaluación de formulación de mezclas para la obtención de ladrillos de arcilla en la ciudad de Cusco* Trabajo de tesis titulado en la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa.
- Mella, A., & Puentes, S. (2004) *Estudio, caracterización y evaluación de puzolanas locales en la masa cerámica de ladrillo* Trabajo de tesis titulado en la Universidad Del Bio-Bio
- Molina, S., Vizcaíno, A., & Ramírez, F. (2007) *Estudio de las características físico – mecánicas de ladrillarías elaborados con plásticos reciclados en el municipio de acacias (META)* Trabajo de tesis titulado en la Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería Civil. Bogotá
- Norma técnica Peruana E-070 albañilerías. Resolución ministerial N° 011-2006-vivienda
- Normas Técnicas Peruanas, específicamente la NTP INTINTEC (1978)
- ONU. (1970) *Establecimiento de industrias y ladrillos y tejas en los países en desarrollo*. New York: Naciones Unidas.
- Paye, L. (2010) *Participación de la mujer en la fabricación de ladrillos en Salcedo la*

Rinconada Trabajo de tesis titulado de la Universidad Nacional Del Altiplano – Puno- Perú

Pérez, J. (2016) *Mejorar la calidad de los ladrillos artesanales producidos en la ciudad de Catamayo* Trabajo de tesis titulado de la Universidad Técnica Particular De Loja – Ecuador

Pumacahua, D. & Vargas, M. (2009) *Formulación de mezcla para la producción de ladrillo* Trabajo de tesis titulado de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco Provincia de Cusco Departamento de Cusco.

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

Sánchez, J., Orosco, J., & Peñaloza, L. (2014) *Artículo de investigación Evaluación de mezclas de arcillas para la fabricación de ladrillos refractarios que sirvan para la reconversión tecnológica de los hornos utilizados en norte de Santander* de la Universidad Francisco de Paula Santander- Colombia.

Santos, A., Malagón, V., & Córdova, T. (2009) *Caracterización de Arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de Barichara, Santander – Colombia*.

Santos, J. (2009) *Estudio de mejoramiento del proceso de fabricación de tejas y ladrillos con las arcillas de la vereda guayabal del municipio de Barichara* (Santander) de la región Barichara - Colombia

SUCS. (2001) *Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)*. Costa rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Twenhofel, W. (1972) *General Procedure in Estudios of Recent Sediments Tras K.P. Recent Marine Sediments* Dover pub, Estados Unidos

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

Villanueva, C. (2011) *Identificación de impactos ambientales de la fabricación artesanal de ladrillos* Trabajo de tesis titulado de la Universidad Nacional Del Altiplano-Puno

Zea, O. (2005) *Caracterización de las arcillas para la fabricación de ladrillo artesanal* Trabajo de tesis titulado de la Universidad de San Carlos de Guatemala

Webgrafia

- <http://cruochapingohuatusco.blogspot.com/2010/10/07-ph-o-reacci3n-del-suelo.html>

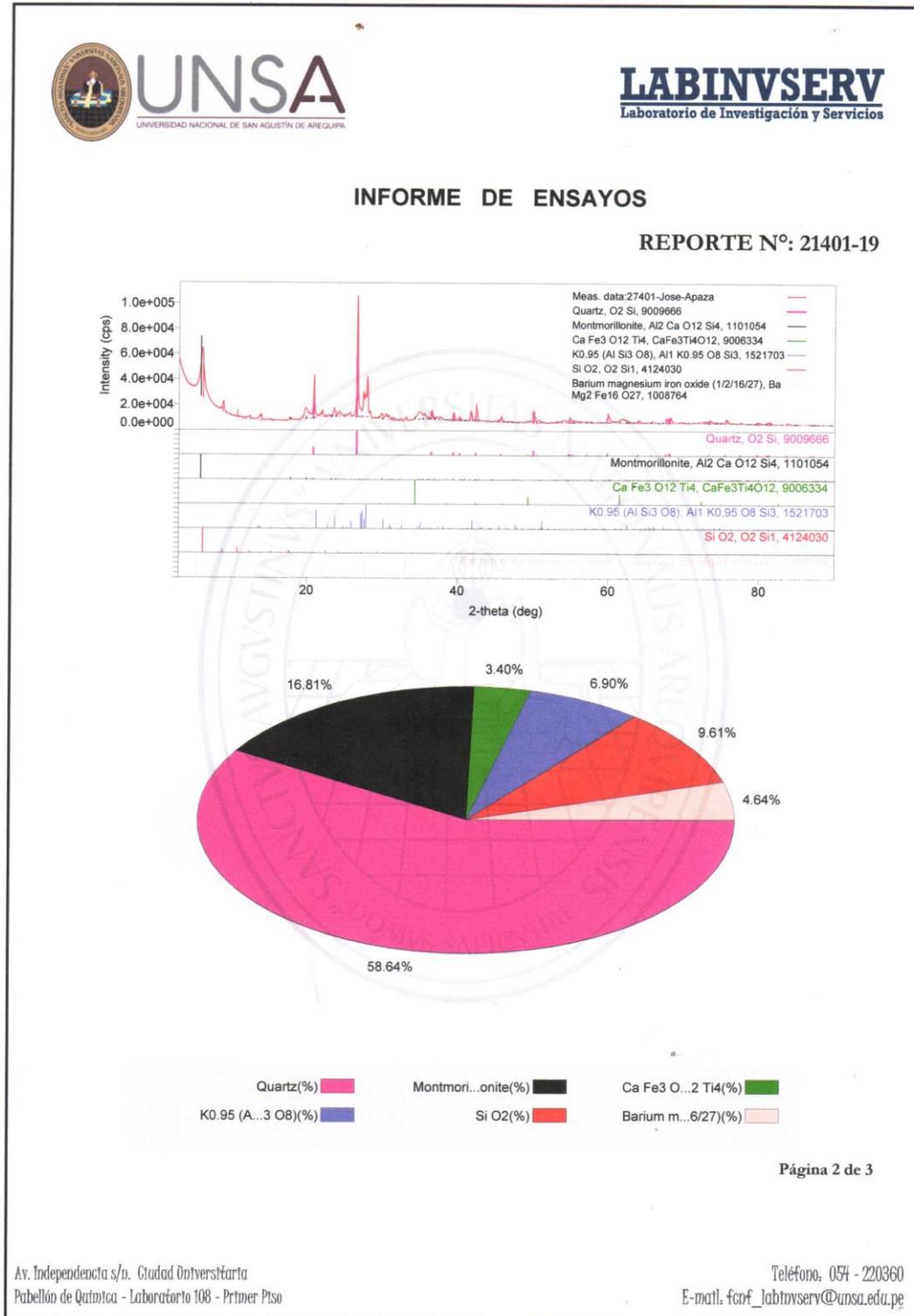
ANEXOS

Anexo 1: de tablas

Escala de Dureza:

Mineral	Dureza	Prueba Común
Talco	1	Se raya con una uña
Yeso	2	
Calcita	3	Se raya con una moneda de Cobre
Fluorita	4	Se raya con la hoja de un cuchillo o el cristal de una ventana
Apatito	5	
Feldespato	6	Raya una hoja de cuchillo o el cristal de una ventana
Cuarzo	7	
Topacio	8	
Corindón	9	
Diamante	10	Raya todos los materiales comunes

Anexo 2: Resultados de laboratorio





UNSA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

LABINVSERV
Laboratorio de Investigación y Servicios

INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°: 21401-19

N°	COMPUESTO	(%)
1	Quartz	58.64
2	Montmorillonite	16.81
3	Ca Fe ₃ O ₁₂ Ti ₄	3.40
4	K _{0.95} (Al Si ₃ O ₈)	6.90
5	Si O ₂	9.61
6	Barium magnesium iron oxide (1/2/16/27)	4.64

Emitido en Arequipa, el 12 de agosto de 2019

Página 3 de 3


Dr. Juan Reyes Larico
Jefe de Laboratorio
RCQP - 348




Anal. Qm. Ruth Begazo Guillén
Químico Responsable

Av. Independencia s/n. Ciudad Universitaria
Pabellón de Química - Laboratorio 108 - Primer Piso

Teléfono: 054 - 220360
E-mail: fcnf_labinvserv@unsa.edu.pe

Límites de Consistencia



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



PROYECTO : CARACTERIZACION DE LA MEZCLA DE ARCILLA PARA LA FABRICACION DE LADRILLO ARTESANAL DE LA (CONCESIÓN SAN PEDRO 2000)
SOLICITADO : JOSE RONAL APAZA MAMANI
UBICACIÓN : SALCEDO - PUNO
REFERENCIA : O/S N° 036-19 (Boucher N°: 02521350-5-0)
FECHA : JULIO DEL 2019

**LÍMITES DE CONSISTENCIA
(LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO ASTM D 4318)**

DATOS DE LA MUESTRA:

UBICACIÓN : C.P. SALCEDO - PUNO

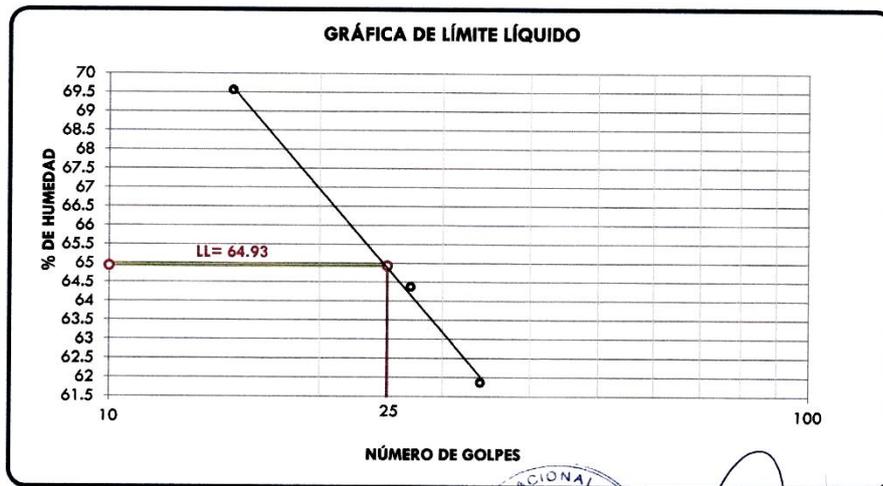
LÍMITE LÍQUIDO

# Tara	M-36	M-28	S-58	-
Peso de la Tara gr.	16.82	20.04	17.61	-
T. + Suelo Húmedo gr.	36.05	37.30	32.65	-
T. + Suelo Seco gr.	28.70	30.54	26.48	-
Peso del Agua gr.	7.35	6.76	6.17	-
Suelo Seco gr.	11.88	10.50	8.87	-
% de Humedad	61.87	64.38	69.56	-
Nro. De Golpes	34	27	15	-

LÍMITE PLÁSTICO

# Tara	D-21	M-72	A-3	-
Peso de la Tara gr.	13.81	10.57	13.43	-
T. + Suelo Húmedo gr.	17.79	13.99	16.42	-
T. + Suelo Seco gr.	16.83	13.16	15.69	-
Peso del Agua gr.	0.96	0.83	0.73	-
Suelo Seco gr.	3.02	2.59	2.26	-
% de Humedad	31.8	32.0	32.3	-

LÍMITE LÍQUIDO L.L. = 64.93 %
LÍMITE PLÁSTICO L.P. = 32.05 %
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P. = 32.88 %



OBSERVACIONES: El Muestreo fue realizado en presencia del solicitante.
Datos del muestreo proporcionados por el solicitante.

Dr. DEYVID WALTER VILLARÓN MACHACA
TECNICO DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES
EPIC - UNAP



FICHA PUNO
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES
Ing. Mariano Roberto García Loayza
JEFE DE LABORATORIO

Ensayo de resistencia a la compresión ASTM 1314, del ladrillo artesanal



PROYECTO : CARACTERIZACIÓN DE LA MEZCLA DE ARCILLA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL DE LA (CONCESIÓN SAN PEDRO 2000)
 SOLICITANTE : JOSE RONALD APAZA MAMANI
 UBICACIÓN : SALCEDO - PUNO
 FECHA : JULIO DEL 2019
 REFERENCIA : O/S N° 036-19 (Voucher N° 02521350-5-O)

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCONFINADA DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA (ASTM C 1314)

DATOS DE LA MUESTRA: UBICACIÓN : MUESTRAS PROPORCIONADAS POR EL SOLICITANTE

N° DE PROBETA	DIMENSIONES DEL LADRILLO				AREA (Cm ²) (#*#)	PESO VOLUMETRICO		RESISTENCIA A LA COMPRESION qu (Kg/Cm ²)
	VOL. C. (Cm ³)	GRUESO "H" (Cm)	SOGA "s" (Cm)	IZON "z" (Cm)		PESO (Gr.)	PESO VOL. Kg/m ³	
MUESTRAS EN ESTADO NATURAL (SECO)								
1	2491.0	1676.8	9.70	21.40	256.80	2844	1.70	4870.00
2	2451.0	1651.0	9.50	21.50	258.00	2773	1.68	3770.00
3	2413.9	1617.9	9.40	21.40	256.80	2838	1.75	5680.00

OBSERVACIONES:

- * LA ROTURA SE REALIZO EN PRESENCIA DEL SOLICITANTE
- * LAS MUESTRAS FUERON PROPORCIONADO POR EL SOLICITANTE

DR. DAVID CESAR VARÓN MACHUCA
 INGENIERO EN MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES
 ETIC - UNAP

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES
 UNAP - PUNO

ETIC - PUNO
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES
 Tte. Miriam Ibarra Cárdena
 JEFE DE LABORATORIO

Ensayo de resistencia a la compresión ASTM 1314, del ladrillo muestras de (probetas)



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



PROYECTO : CARACTERIZACION DE LA MEZCLA DE ARCILLA PARA LA FABRICACION DE LADRILLO ARTESANAL DE LA (CONCESIÓN SAN PEDRO 2000)
SOLICITANTE : JOSE RONAL APAZA MAMANI
UBICACIÓN : SALCEDO - PUNO
FECHA : JULIO DEL 2019
REFERENCIA : O/S N° 036-19 (Voucher N° 02521350-5-O)

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCONFINADA DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA (ASTM C 1314)

DATOS DE LA MUESTRA:
 UBICACIÓN : MUESTRAS ELABORADAS POR EL SOLICITANTE

N° DE PROBETA	DIMENSIONES DEL LADRILLO			AREA (Cm ²) (#"b)	PESO VOLUMETRICO		CARGA MAX (KN)	CARGA MAX (Kg-f)	RESISTENCIA A LA COMPRESION qu (Kg/Cm ²)
	VOLUMEN (cm ³)	GRUESO 1" (cm)	TIJÓN 2" (cm)		SOGA 1" (cm)	PESO (Gr.)			
MUESTRAS EN ESTADO NATURAL (SECO)									
A	17.63	4.70	2.50	3.75	34.7667	1.97	8.40	856.27	228.34
B	16.88	4.50	2.50	3.75	34.209	2.03	8.50	866.46	231.06
I	16.56	4.60	2.40	3.60	34.1676	2.06	8.52	868.50	241.25

OBSERVACIONES:
 * LA ROTURA SE REALIZO EN PRESENCIA DEL SOLICITANTE
 * LAS MUESTRAS FUERON PROPORCIONADO POR EL SOLICITANTE


 JEFE DEL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES
 Ing. Maximiliano Yubero Garcia Lopez
 EPIIC - UNAP


 UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL Y AERONAUTICA
 JEFATURA DE Lab. Mecánica y Lab. de Suelos y Mat
 Ing. Maximiliano Yubero Garcia Lopez
 EPIIC - UNAP

Anexo 3: Fotografías

Fotografía de Canteras de la materia prima de la Concesión San Pedro 2000.



a) b)

a) Cantera de Arcilla y arena, b) Cantera de Greda

Fotografía: Determinación de Humedad de la proporciones de la mezcla de arcilla, arena, greda.



a b c

a) Codificado de matraces, b) Colocado de matraces en secador, c) Retirado de los matraces del secador para su respectivo pesado

Fotografía: Para la determinación de peso específico



a b c



d e

- a) Mezclado de las proporciones de arcilla, greda, arena, b) pesado de picnómetro sin tapa, c) pesado de picnómetro con tapa, d) pesado de picnómetro + mezcla de arcilla, greda, arena; e) pesado de picnómetro + muestra + agua

Fotografía: para la determinación de Higroscopicidad



a

b

c



d

- a) Pesado de la muestra de arcilla, b) Mezclada de Arcilla, Greda, Arena, c) remojada con ácido sulfúrico a la mezcla de muestra d) retirado del secador las mezcla de muestras

Fotografía: para la determinación de pH



a

b

c



d

a) pesado de las proporciones de muestra, b) vaciado de mezcla a vaso precipitado y echado con agua, c) agitado de la mezcla, d) tablero del agitar

Fotografía: determinación de gravedad específica



a

b

c

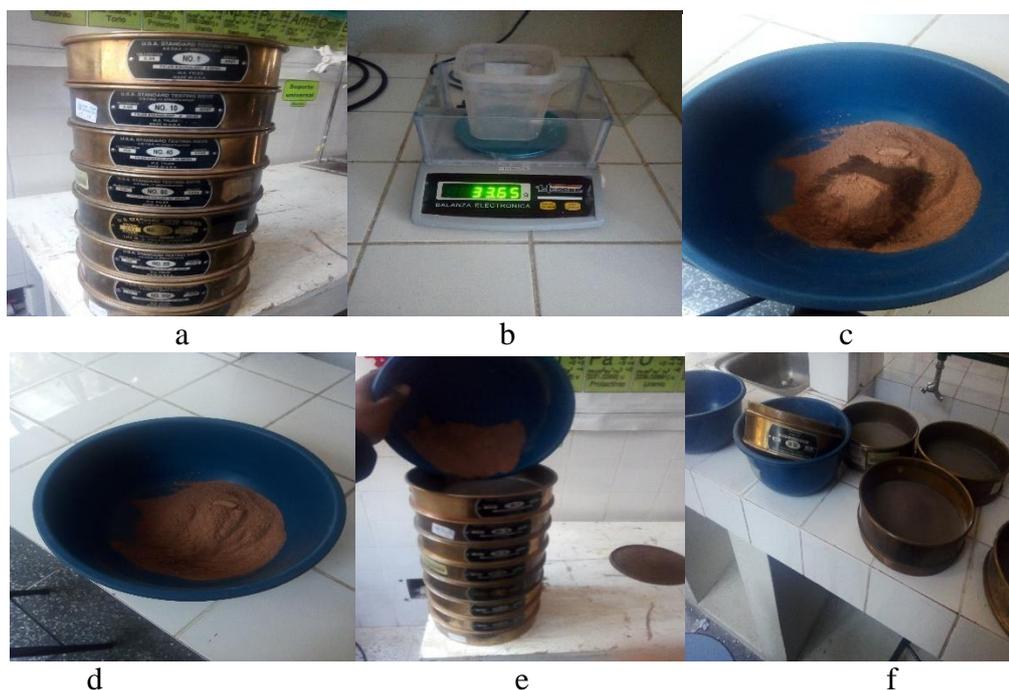


d

e

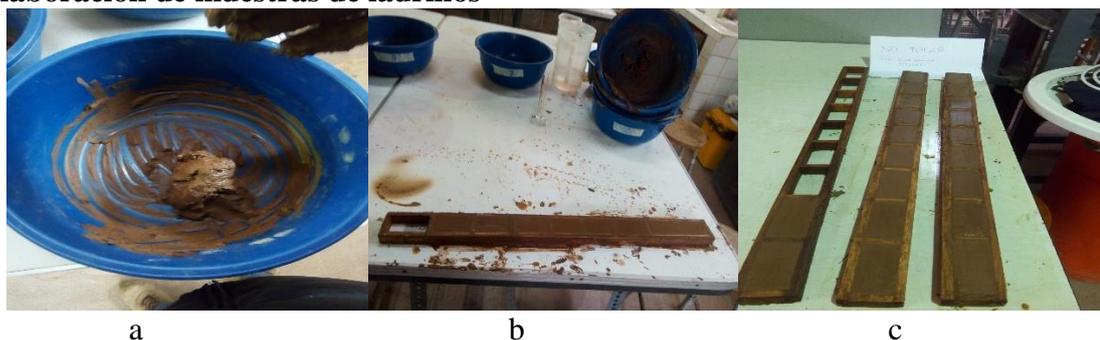
a) Pesado arcilla, b) pesado de arena, c) pesado de arena, d) codificado de fiolas de 100ml, e) pesado de fiolas

Fotografía: de pesado de proporciones de Arcilla, Greda, Arena; para su análisis granulométrico



- a) Juego de tamices, b) envase para el pesado de mezcla arcillas, c) colocado de las muestras en recipiente (lavador), d) mezclado de muestras de arcillas, arena, greda. e) vaciado de mezclado de arcilla a juego de tamices, f) retirado de las muestras de mezcla de arcilla

Fotografía: mezclado de las proporciones de Arcilla, Greda, Arena. Para su elaboración de muestras de ladrillos



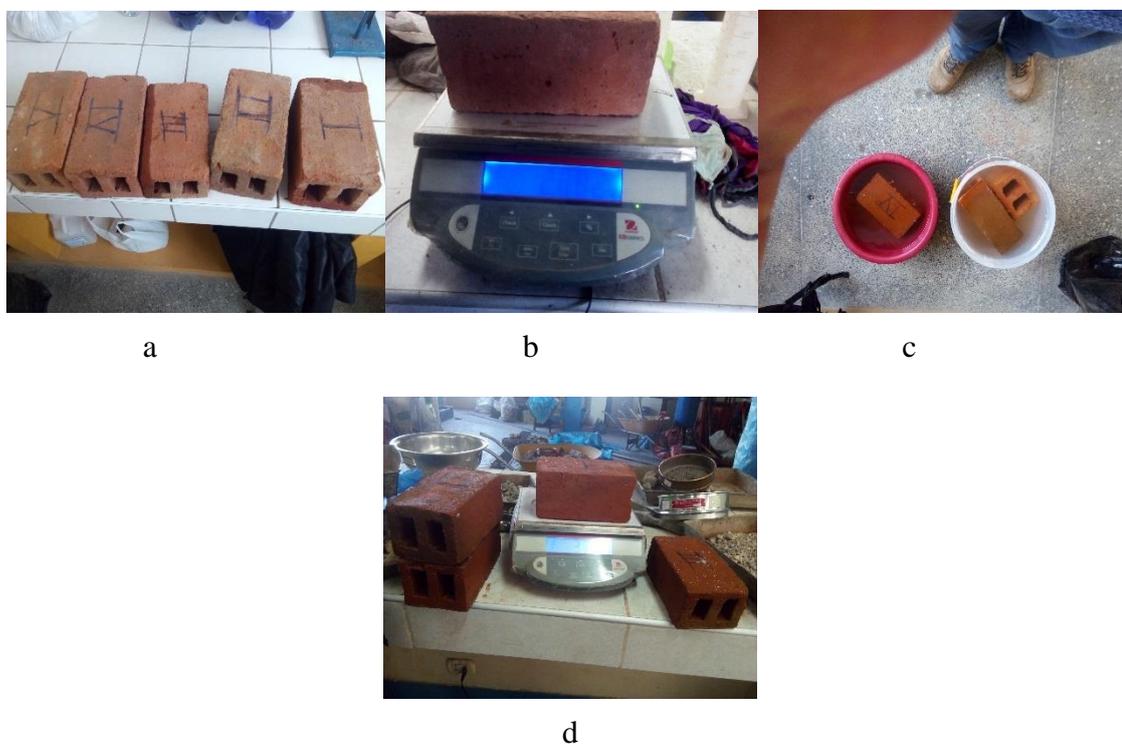
- a) Mezclado de las proporciones de arcilla, greda, arena. b) Moldeado de las probetas de muestras de ladrillo, c) acabado de las probetas de muestras de ladrillo moldeadas.

Fotografía: retirado de las muestras de ladrillo para su respectivo secado a temperatura ambiente



a) retirado de las probetas de muestras de ladrillo, b) secado de las probetas de muestras de ladrillo a temperatura ambiente.

Fotografía: de absorción de agua de ladrillo artesanal de la Concesión San Pedro 2000



a) Codificado de los ladrillos artesanales, b) pesado de los ladrillos, c) sumergido al agua los ladrillos, d) pesado después de 24 horas los ladrillos sumergidos

Fotografía: de la resistencia mecánica de los ladrillos artesanal de la Concesión San Pedro 20007



a

b

c



d

- a) Medido los ladrillos artesanales, b) mezclado de yeso, c) Nivelado de ladrillos artesanales, d) rompimiento de los ladrillos artesanales.

Fotografía: de absorción de agua de las muestras de ladrillos



a

b

c

- a) Pesado de las probetas de las muestras de ladrillo, b) colocado de las probetas de muestras de ladrillo en un lavador, c) dejado en agua por 24 horas.

Fotografía: de resistencia mecánica de las muestras de ladrillo.



a

b

c



b

- a) Equipo de resistencia mecánica, b) preparado de las muestras de probetas de ladrillo, c) rompimiento de las muestras de probetas de ladrillo d) rompido de las 10 muestras de probetas de ladrillo.

Anexo 3: UNIDAD ALBAÑILERÍA**CARACTERÍSTICAS GENERALES**

- a) 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.
- b) Las unidades de albañilería a las que se refiere esta norma son ladrillos y bloques en cuya elaboración se utiliza arcilla, sílice-cal o concreto, como materia prima.
- c) Estas unidades pueden ser sólidas, huecas, alveolares o tubulares y podrán ser fabricadas de manera artesanal o industrial.
- d) 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, que se comprobará de acuerdo a la NTP 399.602.

CLASIFICACIÓN PARA FINES ESTRUCTURALES

Para efectos del diseño estructural, las unidades de albañilería tendrán las características indicadas en la Tabla A1.

5.3 LIMITACIONES EN SU APLICACIÓN

El uso o aplicación de las unidades de albañilería estará condicionado a lo indicado en la Tabla A.2. Las zonas sísmicas son las indicadas en la NTE E.030 Diseño Sismo resistente.

CLASE DE UNIDAD DE ALBAÑILERÍA PARA FINES ESTRUCTURALES

CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSIÓN (máxima en porcentaje)			ALABEO (máximo en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A LA COMPRESIÓN f 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

5.4 PRUEBAS

a) Muestreo.- El muestreo será efectuado a pie de obra. Por cada lote compuesto por hasta 50 millares de unidades se seleccionará al azar una muestra de 10 unidades, sobre las que se efectuarán las pruebas de variación de dimensiones y de alabeo. Cinco de estas unidades se ensayarán a compresión y las otras cinco a absorción.

b) Resistencia a la Compresión.- Para la determinación de la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería, se efectuará los ensayos de laboratorio correspondientes, de acuerdo a lo indicado en las Normas NTP 399.613 y 399.604. La resistencia característica a compresión axial de la unidad de albañilería (f b f) se obtendrá restando una desviación estándar al valor promedio de la muestra.

c) Variación Dimensional.- Para la determinación de la variación dimensional de las unidades de albañilería, se seguirá el procedimiento indicado en las Normas NTP 399.613 y 399.604.

d) Alabeo.- Para la determinación del alabeo de las unidades de albañilería, se seguirá el procedimiento indicada en la Norma NTP 399.613.

e) Absorción.- Los ensayos de absorción se harán de acuerdo a lo indicado en las Normas NTP 399.604 y 399.1613.

5.5 ACEPTACIÓN DE LA UNIDAD

- a) 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.
- b) La absorción de las unidades de arcilla y sílico calcáreas no será mayor que 22%. El bloque de concreto clase, tendrá una absorción no mayor que 12% de absorción. La absorción del bloque de concreto NP, no será mayor que 15%.
- c) El espesor mínimo de las caras laterales correspondientes a la superficie de asentado será 25 mm para el Bloque clase P y 12 mm para el Bloque clase NP.
- d) La unidad de albañilería no tendrá materias extrañas en sus superficies o en su interior, tales como guijarros, conchuelas o nódulos de naturaleza calcárea.
- e) La unidad de albañilería de arcilla estará bien cocida, tendrá un color uniforme y no presentará vitrificaciones. Al ser golpeada con un martillo, u objeto similar, producirá un sonido metálico.
- f) La unidad de albañilería no tendrá resquebrajaduras, fracturas, hendiduras grietas u otros defectos similares que degraden su durabilidad o resistencia.
- g) La unidad de albañilería no tendrá manchas o vetas blanquecinas de origen salitroso o de otro tipo.