



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

“DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO
MECÁNICAS DE LAS UNIDADES DE ALBAÑILERÍA
ELABORADAS CON RESIDUOS SOLIDOS DE LADRILLERAS
ARTESANALES, ARENA DE LA CANTERA DE CUNYAC Y
CEMENTO PORTLAND TIPO IP”

Presentado por la bachiller: MERLY QUISPE AMUDIO

Para optar al Título Profesional de Ingeniero Civil

Asesor: ING. JORGE ALVAREZ ESPINOZA

CUSCO – PERU

2016



DEDICATORIA

A las personas más importantes de mi vida, mi madre Isabel Amudio Nuñez porque sin ti todo lo que hasta ahora logre no sería posible, mi hermano Baltazar Gutiérrez Amudio por ser mi fortaleza y alegría.

A mi padre Washington Quispe Guzmán por tu apoyo y constancia.

A mi Mamá Gumercinda gracias por todos los años que me acompañaste y dejarme tan gratos recuerdos.

A mi Mamá Maura gracias por seguir regalándome tu alegría tus palabras de aliento, y paciencia.

A mi otra figura paterna Efrain Gutierrez Sulcarani por dedicarme tu tiempo y calidez.

A mis familiares y amigos que son una pieza fundamental en mí día a día.

A todos los docentes con lo que pude compartir y aprender experiencias memorables.



AGRADECIMIENTOS

Agradecer primordialmente a mi madre, Isabel Amudio Nuñez por no dejarse vencer y regalarme cada nuevo día a su lado, demostrarme que la decisión y fortaleza disminuye los momentos amargos.

Por la confianza depositada en mí y en las decisiones que conllevan a mi crecimiento personal y profesional

A mi padre, Washington Quispe Guzmán por todos los consejos a lo largo de mi formación académica.

A mi hermano Baltazar Gutiérrez Amudio por estar acompañándome en todo momento, ser mi fortaleza y transmitirme esas ganas de ayudar en esta investigación.

A mi buen amigo, Juan de Dios Quiroz Gonzales por todo el apoyo brindado en el desarrollo de la presente investigación .y a cada uno de los amigos y compañeros que forje durante estos años de formación académica.

Finalmente agradecer al Ing. Jorge Álvarez Espinoza por su apoyo, esfuerzo y por ser mi guía en el desarrollo de esta investigación



RESUMEN

La presente investigación fue orientada a la determinación de las propiedades físico mecánicas de las unidades de albañilería elaboradas con residuos sólidos de ladrilleras artesanales, arena de la cantera de Cunyac y cemento Portland tipo IP, que cumpla con los parámetros establecidos en la (Norma Técnica E.070 , 2006) para permitir su utilización como un material de construcción alternativo en la ciudad del Cusco.

Las unidades de albañilería se fabricaron con residuos sólidos pulverizados, este como reemplazo del suelo; arena, cemento y agua .Estos materiales se analizaron para la dosificación y mezcla ya sea por una mesa vibradora o por maquinas tipo boqueras y se curan por distintos métodos.

Para llevar a cabo el presente estudio se elaboraron unidades de albañilería huecas con porcentaje de cemento al 9% en peso; el porcentaje de agua se calculó a partir del ensayo de Proctor Modificado. Sobre estas unidades de albañilería se realizaron ensayos como: Determinación del peso, variación dimensional, alabeo, resistencia a la compresión, resistencia en compresión en prismas, módulo de rotura, absorción, absorción máxima, coeficiente de saturación, succión y eflorescencia. Estos ensayos se realizaron en base a las normas (NTP 399.605, 2013), (NTP 399.613, 2005).

De acuerdo con los resultados, las propiedades físico mecánicas de las unidades de albañilería de residuos sólidos cumplen los parámetros establecidos en la (Norma Técnica E.070 , 2006) asimismo, luego de una comparación con las unidades de albañilería de arcilla cocida, se observó que las unidades de albañilería elaboradas para este estudio presentan similares características y propiedades que el promedio de ladrillos de arcilla cocida producidas en la ciudad del Cusco.

De esta manera, las unidades de albañilería de residuos sólidos califican como unidades de albañilería de Tipo III, según la (Norma Técnica E.070 , 2006) , en función de sus características de resistencia y durabilidad.

PALABRAS CLAVE: unidades de albañilería, residuos sólidos, ensayos, propiedades físico mecánicas.



ABSTRACT

This research was aimed at determining the physical and mechanical properties of masonry units made with solid waste artisanal brick, sand quarry from Cunyac and Portland cement IP type that meets the parameters established in the E 070 to allow its use as an alternative material construction in the city of Cusco.

Masonry units were made with powdered solid waste, this replacing the soil; sand, cement and water. These materials were analyzed for dosing and mixing either by a vibrating table or boqueras type machines and cured by various methods.

To carry out this study hollow masonry units percentage of cement were produced to 9% by weight; the percentage of water was calculated from the Modified Proctor test. Determination of weight, dimensional change, warping, compressive strength, compressive strength prisms, modulus of rupture, absorption maximum absorption coefficient saturation, suction and efflorescence: masonry units on these tests as were performed. These tests were conducted on the basis of the rules (NTP 399.605, 2013) (NTP 399.613, 2005)

According to the results, the physical and mechanical properties of masonry units of solid waste comply with the parameters established in the E 070 also after a comparison with masonry units fired clay masonry units produced was observed for this study have similar characteristics and properties that the average baked clay bricks produced in the Cusco.

Thus, the masonry units qualify as solid waste masonry units of type III, according to E 070 depending on its characteristics of strength and durability.

KEYWORDS: Units masonry, solid residues, tests, physical and mechanical properties.



INTRODUCCIÓN

En la ciudad del Cusco, uno de los principales materiales de construcción son las unidades de albañilería de arcilla cocida, más conocidas como ladrillos. Sin embargo su uso como material estructural no es seguro ya que en su mayoría los lugares de producción son informales lo que imposibilita un control de calidad para verificar si cumplen los requerimientos indicados en la (Norma Técnica E.070 , 2006) y en las normas técnicas (NTP 399.613, 2005) (NTP 399.605, 2013), debido principalmente a su modo de fabricación ya que generalmente suelen ser producidas con mano de obra poco calificada, en lugares provisionales, con precarios procedimientos y sin contar con algún control de calidad. Asimismo, la producción de estas unidades genera contaminación debido que se usan hornos que producen emanaciones de gases al medio ambiente, afectando a la población, flora y fauna de la zona; y acumulación de residuos sólidos.

Esta situación se aprecia de forma más clara en la construcción de viviendas en zonas alejadas de la ciudad, donde, además de presentarse las situaciones anteriormente mencionadas, se pueden observar diversas dificultades adicionales como el costo de transporte de los materiales, condiciones climáticas adversas, procesos constructivos empíricos, acumulación de residuos, etc. ocasionando que estas construcciones puedan presentar un riesgo para sus habitantes.

Es por lo anterior que se propone como una alternativa al ladrillo de arcilla cocida, el uso de una unidad de albañilería elaborada a partir de un material reciclado como son los residuos sólidos de ladrilleras artesanales, ya que es amigable con el medio ambiente al no emplear hornos y reutilizar los residuos y que a su vez cumplan los parámetros establecidos en la (Norma Técnica E.070 , 2006).



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
INTRODUCCIÓN.....	v
1. CAPÍTULO I: Planteamiento del Problema.....	1
1.1. Identificación del Problema	1
1.1.1. Descripción del Problema	1
1.1.2. Formulación Interrogativa del Problema.....	4
1.1.2.1. Formulación Interrogativa del Problema General.....	4
1.1.2.2. Formulación Interrogativa de los Problemas Específicos.....	4
1.2. Justificación e Importancia de la Investigación	5
1.2.1. Justificación Técnica.....	5
1.2.2. Justificación Social	5
1.2.3. Justificación Por Vialidad.....	5
1.2.4. Justificación Por Relevancia	6
1.3. Limitaciones de la Investigación.....	6
1.4. Objetivo de la Investigación.....	7
1.4.1. Objetivo General.....	7
1.4.2. Objetivos Específicos.....	7
1.5. Hipótesis.....	8
1.5.1. Hipótesis General.....	8
1.5.2. Sub Hipótesis	8
1.6. Definición de Variables.....	9
1.6.1. Variable Independiente	9
1.6.1.1. Indicadores de las Variables Independientes	9



1.6.2. Variable Dependiente..... 9

1.6.2.1. Indicadores de las Variables Dependientes..... 9

1.6.3. Cuadro de Operacionalización de Variables 10

2. CAPÍTULO II: Marco Teórico de la Tesis 11

2.1. Antecedentes De La Tesis 11

2.1.1. Antecedentes a Nivel Nacional 11

2.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional 12

2.2. Aspectos Teóricos Pertinentes 16

2.2.1 Definición del Albañilería o Mampostería 16

2.2.2 Definición de Unidad de Albañilería 16

2.2.2.1 Clasificación 17

2.2.2.1.1 Unidades Solidas o Macizas 17

2.2.2.1.2 Unidades Huecas..... 17

2.2.2.1.3 Unidades Perforadas 17

2.2.2.1.4 Unidades Tubulares 18

2.2.2.1.5 Clasificación para Fines Estructurales 18

2.2.2.1.5.1 Limitaciones en su Aplicación..... 19

2.2.2.2 Unidades de Albañilería de Arcilla Cocida 19

2.2.2.2.1 Materia Prima..... 20

2.2.2.2.2 Fabricación..... 20

2.2.2.2.3 Unidades de Albañilería de Arcilla Cocida en la Ciudad del Cusco 22

2.2.3 Suelo Cemento 29

2.2.3.1 Componentes..... 30

2.2.3.1.1 Residuos Solidos..... 30

2.2.3.1.1.1 Suelo 30

2.2.3.1.1.1.1 Clasificación de los suelos 32

2.2.3.1.1.1.2 Suelos Eficientes 32



2.2.3.1.1.1.3 Suelos Deficientes 32

2.2.3.1.1.1.4 Suelo Ideal..... 33

2.2.3.1.1.1.5 Sistema de Clasificación HRB 33

2.2.3.1.1.1.5.1 Suelo A-1 34

2.2.3.1.1.1.5.2 Suelo A-2 34

2.2.3.1.1.1.5.3 Suelo A-3 34

2.2.3.1.1.1.5.4 Suelos A-4 y A-5 34

2.2.3.1.1.1.5.5 Suelos A-6 y A-7 35

2.2.3.1.1.2 Mezcla de Suelos 37

2.2.3.1.1.2.1 Método Analítico..... 37

2.2.3.1.1.2.2 Método Grafico 38

2.2.3.1.1.3 Ensayos para la Clasificación del Suelo 39

2.2.3.1.1.3.1 Ensayos de Laboratorio 40

2.2.3.1.1.3.1.1 Ensayo de Granulometría..... 40

2.2.3.1.1.3.1.2 Ensayo de Límites de Consistencia..... 40

2.2.3.1.1.3.2 Ensayos de Campo 41

2.2.3.1.1.3.2.1 Ensayo de la botella de sedimentación 41

2.2.3.1.1.3.2.2 Ensayo del bastoncillo 42

2.2.3.1.2 Cemento 43

2.2.3.1.2.1 Tipos de Cementos..... 45

2.2.3.1.2.1.1 Tipo I..... 45

2.2.3.1.2.1.2 Tipo II..... 46

2.2.3.1.2.1.3 Tipo III 46

2.2.3.1.2.1.4 Tipo IV 46

2.2.3.1.2.1.5 Tipo V 46

2.2.3.1.3 Agua..... 46

2.2.3.1.3.1 Requisitos de Calidad De Agua 46



2.2.3.1.3.2 Agua de Mezcla 47

2.2.3.1.3.3 Agua Para el Curado 47

2.2.3.1.3.4 Tipos de Curado (Neville, 1988) 48

2.2.3.1.3.5 Aguas no Recomendables 48

2.2.3.1.4 Agregados 49

2.2.3.1.4.1 Clasificación de Agregados 49

2.2.3.1.4.1.1 Por su Naturaleza (NTP 400.037) 49

2.2.3.1.4.1.2 Por su Procedencia 49

2.2.3.1.4.1.3 Por su Gradación 50

2.2.3.1.4.1.4 Por su Densidad..... 50

2.2.3.1.4.1.5 Normas y Requisitos para Agregados 50

2.2.3.1.4.2 Agregados Finos 50

2.2.3.1.4.2.1 Granulometría..... 50

2.2.3.1.4.2.2 Módulo de Fineza..... 51

2.2.3.1.4.2.3 Material más Fino que la Malla # 200..... 51

2.2.3.2 Diseño de Mezcla de Suelo Cemento 51

2.2.3.2.1 Dosificación del Cemento..... 51

2.2.3.2.2 Humedad Optima 52

2.2.3.3 Unidades de Albañilería con Residuos 56

2.2.3.3.1 Proceso de Fabricación 56

2.2.3.3.1.1 Consideraciones Básicas 56

2.2.3.3.1.2 Etapas de Fabricación 58

2.2.3.3.1.2.1 Selección del Suelo 58

2.2.3.3.1.2.2 Extracción del suelo 58

2.2.3.3.1.2.3 Secado 59

2.2.3.3.1.2.4 Tamizado 59

2.2.3.3.1.2.5 Mezclado de componentes en seco 59



2.2.3.3.1.2.6 Adición de Agua..... 60

2.2.3.3.1.2.7 Compactación y moldeo 60

2.2.3.3.1.2.8 Acopio y curado 61

2.2.3.4 Ensayos para la Determinación de las Propiedades de las Unidades de Albañilería..62

2.2.3.4.1 Ensayos Clasificatorios 62

2.2.3.4.1.1 Determinación del Peso 62

2.2.3.4.1.2 Medida del Tamaño 62

2.2.3.4.1.3 Variación Dimensional 62

2.2.3.4.1.4 Alabeo 63

2.2.3.4.1.5 Resistencia a la Compresión de la unidad de albañilería. 64

2.2.3.4.2 Ensayos No Clasificatorios 67

2.2.3.4.2.1 Resistencia en Compresión de Prismas..... 67

2.2.3.4.2.1.1 Construcción de Prismas 67

2.2.3.4.2.1.2 Procedimiento del ensayo..... 68

2.2.3.4.2.2 Módulo de Rotura 69

2.2.3.4.2.3 Absorción 71

2.2.3.4.2.4 Absorción Máxima..... 71

2.2.3.4.2.5 Coeficiente de Saturación 72

2.2.3.4.2.6 Periodo Inicial de Absorción (Succión)..... 72

2.2.3.4.2.7 Eflorescencia..... 74

3. CAPÍTULO III: Metodología..... 75

3.1. Metodología de la Investigación 75

3.1.1. Tipo de Investigación..... 75

3.1.2. Nivel de la Investigación. 75

3.2. Diseño de la Investigación 75

3.2.1. Diseño Metodológico..... 75

3.2.2. Diseño de Ingeniería 76



3.3.1. Población..... 77

3.3.1.1. Descripción del Población 77

3.3.1.2. Cuantificación de la Población 77

3.3.2. Muestra 77

3.3.2.1. Descripción de la Muestra 77

3.3.2.2. Cuantificación de la Muestra 77

3.3.2.3. Método de Muestreo 78

3.3.2.4. Criterios de Evaluación de Muestra 78

3.3.3. Criterios de Inclusión 79

3.4. Instrumentos 80

3.4.1. Instrumentos Metodológicos o Instrumentos de Recolección de Datos 80

3.4.2. Instrumentos de Ingeniería..... 103

3.5. Procedimiento de Recolección de Datos 104

3.5.1. Ensayos Preliminares 104

3.5.1.1. Límites de Consistencia 104

3.5.1.1.1. Límite Líquido 104

3.5.1.1.2. Límite Plástico 110

3.5.1.2. Granulometría 116

3.5.1.3. Proctor Modificado 122

3.5.2. Elaboración de las Unidades de Albañilería 127

3.5.3. Ensayos a las Unidades de Albañilería 132

3.5.3.1. Determinación del Peso 132

3.5.3.2. Variación Dimensional 136

3.5.3.3. Alabeo 140

3.5.3.4. Resistencia a la Compresión 144

3.5.3.5. Resistencia en Compresión de Prismas..... 149

3.5.3.6. Módulo de Rotura 154



3.5.3.7. Absorción..... 158

3.5.3.8. Absorción Máxima..... 161

3.5.3.9. Succión..... 165

3.5.3.10. Eflorescencia..... 169

3.6. Procedimiento de Análisis de Datos..... 173

3.6.1. Ensayos Preliminares 173

3.6.1.1. Ensayo de Limite Liquido..... 173

3.6.1.2. Ensayo de Limite Plástico..... 177

3.6.1.3. Ensayo de Granulometría..... 178

3.6.2. Ensayos a las Unidades de Albañilería 187

3.6.2.1. Ensayo Determinación del Peso..... 187

3.6.2.2. Ensayo de Variación Dimensional 188

3.6.2.3. Ensayo de Alabeo..... 192

3.6.2.4. Ensayo de Resistencia a la Compresión..... 194

3.6.2.5. Ensayo de Resistencia en Compresión de Prismas 196

3.6.2.6. Ensayo de Módulo de Rotura..... 198

3.6.2.7. Ensayo de Absorción 200

3.6.2.8. Ensayo de Absorción Máxima..... 201

3.6.2.9. Ensayo de Coeficiente de Saturación..... 203

3.6.2.10. Ensayo de Succión 204

3.6.2.11. Ensayo de Eflorescencia 205

4. CAPÍTULO IV: Resultados 206

4.1. Resultados de los Ensayos..... 206

4.1.1 Ensayo de Determinación del Peso..... 206

4.1.2 Ensayo de Variación Dimensional..... 206

4.1.3 Ensayo de Alabeo 207

4.1.4 Ensayo de Resistencia a la Compresión..... 207



4.1.5 Ensayo de Resistencia a la Compresión de Prismas 207

4.1.6 Ensayo de Modulo de Rotura..... 208

4.1.7 Ensayo de Absorción 208

4.1.8 Ensayo de Absorción Máxima 208

4.1.9 Ensayo de Coeficiente de Saturación..... 209

4.1.10 Ensayo de Succión 209

4.1.11 Ensayo de Eflorescencia 209

4.2. Caracterización Físico Mecánica de las Unidades de Albañilería Elaboradas con Residuos Solidos, Arena y Cemento 210

4.3. Clasificación de las Unidades de Albañilería Elaboradas con Residuos Solidos, Arena y Cemento..... 210

4.4. Caracterización de las Propiedades de las Unidades de Albañilería de Arcilla Cocida..... 211

4.5. Clasificación de las Unidades de Albañilería de Arcilla Cocida 212

4.6. Comparación de las Propiedades Físico Mecánicas entre las Unidades de Albañilería de Arcilla Cocida y las Unidades de Albañilería Elaboradas con Residuos Solidos, Arena y Cemento 213

4.7. Comparación del Impacto Ambiental del Proceso de Fabricación de las Unidades de Albañilería de Arcilla Cocida y Las Unidades de Albañilería Elaboradas con Residuos Solidos, Arena y Cemento 214

5. CAPÍTULO V: DISCUSIÓN 216

Glosario 232

Conclusiones 232

Recomendaciones..... 234

Referencias 234

Anexos 239



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01: Clasificación de la Albañilería para Fines Estructurales.....	18
Tabla 02: Limitaciones de la Aplicación Estructural de los Tipos de Unidades De Albañilería .	18
Tabla 03: Producción de Ladrillos en San Jerónimo, Cusco.....	24
Tabla 04: Materia Prima y Procedencia para la Producción de Ladrillos en la Ciudad del Cusco	25
Tabla 05: Materiales y Equipos Usados en la Producción de Ladrillos en la Ciudad Del Cusco.	26
Tabla 06: Emisiones Producto de la Fabricación de Ladrillos en la Ciudad del Cusco.....	27
Tabla 07: Aspectos Ambientales de la Fabricación de Ladrillos en la Ciudad de Cusco	29
Tabla 08: Sistema de Clasificación de Suelos HBR.	36
Tabla 09: Granulometría de dos Suelos..	37
Tabla 10: Distribución Granulométrica De Suelos Aptos Para Suelo Cemento	40
Tabla 11: Principales Componentes Del Cemento..	44
Tabla 12: Contenido Máximo de Sustancias Disueltas en el Agua de Mezcla.	46
Tabla 13: Límites Granulométricos para Agregado Fino ASTM C33.....	51
Tabla 14: Por Ciento de Cemento Recomendado Según Clasificación HRB	52
Tabla 15: Por Ciento de Cemento de Acuerdo el Tipo de Suelo	52
Tabla 16: Factores de Corrección altura/espesor para la Resistencia en Compresión de Prismas de Albañilería.....	69
Tabla 17: Recolección de Datos para Limite Líquido de Residuos Sólidos	81
Tabla 18: Recolección de Datos para Limite Líquido con Dosificación de Arena 70%- Residuos Sólidos 30%	82
Tabla 19: Recolección de Datos para Limite Líquido con Dosificación de Arena 60%- Residuos Sólidos 40%	83
Tabla 20: Recolección de Datos para Limite Plastico de Residuos Sólidos.	84
Tabla 21: Recolección de Datos para Limite Plastico con Dosificación de Arena 70%- Residuos Sólidos 30%	85
Tabla 22: Recolección de Datos para Limite Plastico con Dosificación de Arena 60%- Residuos Sólidos 40%..	86
Tabla 23: Recoleccion de Datos para Granulometria de Residuos Sólidos..	87
Tabla 24: Recolección de Datos para Granulometria con Dosificación de Arena 70%- Residuos Sólidos 30%	88



Tabla 25: Recolección de Datos para Granulometria con Dosificación de Arena 60%-Residuos Sólidos 40%89

Tabla 26: Recolección de Datos para Proctor Modificado con Dosificación de Arena 70%-Residuos Sólidos 30%..... 90

Tabla 27: Recolección de Datos para Proctor Modificado con Dosificación de Arena 60%-Residuos Sólidos 40%.. 91

Tabla 28: Recolección de Datos para Determinación de Peso. 92

Tabla 29: Recolección de Datos para la Variación Dimensional..... 93

Tabla 30: Recolección de Datos para Alabeo.. 94

Tabla 31: Recolección de Datos para Resistencia a la Compresión. 95

Tabla 32: Recolección de Datos para Resistencia en Compresión de Prismas. 96

Tabla 33: Recolección de Datos para Resistencia de Módulo de Rotura.. 97

Tabla 34: Recolección de Datos para Absorción. 98

Tabla 35: Recolección de Datos para Absorción Maxima. 99

Tabla 36: Recolección de Datos para Coeficiente de Saturación. 100

Tabla 37: Recolección de Datos para Succión 101

Tabla 38: Recolección de Datos para Eflorescencia.. 102

Tabla 39: Ensayo de Límite Líquido (MTC E 110).. 105

Tabla 40: Datos del Ensayo de Límite Líquido de Residuos Sólidos.. 107

Tabla 41: Datos del Ensayo de Límite Líquido con Dosificación de Arena 70%-Residuos Sólidos 30%..... 108

Tabla 42: Datos del Ensayo de Límite Líquido con Dosificación de Arena 60%-Residuos Sólidos 40%..... 109

Tabla 43: Ensayo de Límite Plástico (MTC E 111). 111

Tabla 44: Datos del Ensayo de Límite Líquido de Residuos Sólidos.. 113

Tabla 45: Datos del Ensayo de Límite Líquido con Dosificación de Arena 70%-Residuos Sólidos 30%..... 114

Tabla 46: Datos del Ensayo de Límite Líquido con Dosificación de Arena 60%-Residuos Sólidos 40%..... 115

Tabla 47: Ensayo de Granulometría (MTC E 107). 117

Tabla 48: Datos del Ensayo de Granulometría de Residuos Sólidos 119

Tabla 49: Datos del Ensayo de Granulometría con Dosificación de Arena 70%-Residuos Sólidos 30%..... 120



Tabla 50: Datos del Ensayo de Granulometría con Dosificación de Arena 60%-Residuos Sólidos 40%..... 121

Tabla 51: Ensayo de Proctor Modificado (MTC E 115). 123

Tabla 52: Datos del Ensayo de Proctor Modificado con Dosificación de Arena 70%-Residuos Sólidos 30%..... 125

Tabla 53: Datos del Ensayo de Proctor Modificado con Dosificación de Arena 60%-Residuos Sólidos 40%..... 126

Tabla 54: Elaboración de Unidades de Albañilería. 128

Tabla 55: Ensayo de Determinación del Peso (NTP 399.613) 133

Tabla 56: Datos del Ensayo de Determinación del Peso.. 135

Tabla 57: Ensayo de Variación Dimensional (NTP 399.613). 136

Tabla 58: Datos del Ensayo de Variación Dimensional. 139

Tabla 59: Ensayo de Alabeo (NTP 399.613) 141

Tabla 60: Datos del Ensayo de Alabeo. 143

Tabla 61: Ensayo de Resistencia a la Compresión (NTP 399.613).. 145

Tabla 62: Datos del Ensayo de Resistencia a la Compresión. 148

Tabla 63: Ensayo de Resistencia en Compresión de Prismas (NTP 399.605). 150

Tabla 64: Datos del Ensayo de Resistencia en Compresión de Prismas..... 153

Tabla 65: Ensayo de Módulo de Rotura (NTP 399.613). 155

Tabla 66: Datos del Ensayo de Módulo de Rotura. 157

Tabla 67: Ensayo de Absorción (NTP 399.613). 158

Tabla 68: Datos del Ensayo de Ensayo de Absorción.. 160

Tabla 69: Ensayo de Absorción Máxima (NTP 399.613). 162

Tabla 70: Datos del Ensayo de Absorción Máxima. 164

Tabla 71: Ensayo de Succión (NTP 399.613). 166

Tabla 72: Datos del Ensayo de Succión. 168

Tabla 73: Ensayo de Eflorescencia (NTP 399.613). 170

Tabla 74: Datos del Ensayo de Eflorescencia. 172

Tabla 75: Análisis de los Datos del Ensayo de Límite Líquido de Residuos Sólidos. 173

Tabla 76: Análisis de los Datos del Ensayo de Límite Líquido con Dosificación de Arena 70%
- Residuos Sólidos 30% 174

Tabla 77: Análisis de los Datos del Ensayo de Límite Líquido con Dosificación de Arena 60%
- Residuos Sólidos 40% 175

Tabla 78: Análisis de los Datos del Ensayo de Límite Plástico de Residuos Sólidos. 177



Tabla 79: Análisis de los Datos del Ensayo de Límite Plástico con Dosificación de Arena 70%
- Residuos Sólidos 30% 177

Tabla 80: Análisis de los Datos del Ensayo de Límite Plástico con Dosificación de Arena 60%
- Residuos Sólidos 40% 178

Tabla 81: Análisis de los Datos del Ensayo de Granulometría de Residuos Sólidos..... 178

Tabla 82: Análisis de los Datos del Ensayo de Granulometría con Dosificación de Arena 70%
- Residuos Sólidos 30% 179

Tabla 83: Análisis de los Datos del Ensayo de Granulometría con Dosificación de Arena 60%
- Residuos Sólidos 40% 180

Tabla 84: Análisis de los Datos del Ensayo de Proctor Modificado con Dosificación de Arena
70% - Residuos Sólidos 30% 183

Tabla 85: Análisis de los Datos del Ensayo de Proctor Modificado con Dosificación de Arena
60% - Residuos Sólidos 40% 184

Tabla 86: Análisis de los Datos del Ensayo de Determinación del Peso.. 187

Tabla 87: Análisis de los Datos del Ensayo de Variación Dimensional. 188

Tabla 88: Análisis de los Datos del Ensayo de Alabeo.. 192

Tabla 89: Análisis de los Datos del Ensayo de Resistencia a la Compresión. 194

Tabla 90: Análisis de los Datos del Ensayo de Resistencia en Compresión de Prismas 196

Tabla 91: Análisis de los Datos del Ensayo de Módulo de Rotura. 198

Tabla 92: Análisis de los Datos del Ensayo de Absorción. 200

Tabla 93: Análisis de los Datos del Ensayo de Absorción Máxima. 201

Tabla 94: Análisis de los Datos del Ensayo de Coeficiente de Saturación. 203

Tabla 95: Análisis de los Datos del Ensayo de Succión. 204

Tabla 96: Características de las Unidades de Albañilería. 206

Tabla 97: Resultados del Ensayo de Determinación del Peso. 206

Tabla 98: Resultados del Ensayo de Variación Dimensional. 206

Tabla 99: Resultados del Ensayo de Alabeo. 207

Tabla 100: Resultado del Ensayo de Resistencia a la Compresión. 207

Tabla 101: Resultado del Ensayo de Resistencia a la Compresión de Prismas 207

Tabla 102: Resultado del Ensayo de Módulo de Rotura. 208

Tabla 103: Resultado del Ensayo de Absorción. 208

Tabla 104: Resultado del Ensayo de Absorción Máxima. 208

Tabla 105: Resultado del Ensayo de Coeficiente de Saturación. 209

Tabla 106: Resultado del Ensayo de Succión. 209



Tabla 107: Resultado del Ensayo de Eflorescencia. 209

Tabla 108: Caracterización Físico Mecánica de las Unidades de Albañilería Elaboradas con Residuos Sólidos, Arena y Cemento. 210

Tabla 109: Clasificación de las Unidades de Albañilería. 210

Tabla 110: Clasificación para Fines Estructurales 210

Tabla 111: Caracterización de las Propiedades Físico Mecánicas de las Unidades de Albañilería de Arcilla Cocida. 211

Tabla 112: Clasificación de las Unidades de Albañilería de Arcilla Cocida. 212

Tabla 113: Comparación de las Propiedades Físico Mecánicas Promedio entre las Unidades de Albañilería de Arcilla Cocida y las Unidades de Albañilería Elaboradas con Residuos Sólidos, Arena y Cemento. 213

Tabla 114: Aspectos Ambientales de la Fabricación de Unidades de Albañilería de Arcilla Cocida y Unidades de Albañilería Elaboradas con Residuos Sólidos, Arena y Cemento.. 214



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01: Producción Semi Industrial de Ladrillos.	1
Figura 02: Desechos de la Fabricación de Ladrillos.	2
Figura 03: Horno Artesanal para la Producción de Ladrillos.	3
Figura 04: Inadecuado Acopio de los Desechos de la Fabricacion de Ladrillos..	3
Figura 05: Diagrama Causa-Efecto del Diagnóstico del Sector Ladrillerio Artesanal..	23
Figura 06: Esquema Operativo de la Fabricación de Ladrillos.	26
Figura 07: Gráfico para la Determinación de los Porcentajes de Suelos a Utilizar en la Mezcla.....	39
Figura 08: Ensayo de la Botella de Sedimentación..	42
Figura 09: Ensayo del Bastoncillo.	43
Figura 10: Curva del Ensayo Proctor..	54
Figura 11: Curva Energía vs. Densidad.	54
Figura 12: Curva de Humedad vs. Densidad.	55
Figura 13: Esquema del Taller de Produccion.	57
Figura 14: Instrumentos de Ingenieria Utilizados.	103
Figura 15: Equipos del Ensayo Líquido..	104
Figura 16: Instrumentos del Ensayo de Límite Líquido.	105
Figura 17: Procedimiento del Ensayo de Límite Líquido.	106
Figura 18: Procedimiento del Ensayo de Límite Líquido.	106
Figura 19: Equipos del Ensayo de Límite Plástico.	110
Figura 20: Instrumentos del Ensayo de Límite Plástico.	111
Figura 21: Procedimiento del Ensayo de Límite Plástico..	112
Figura 22: Procedimiento del Ensayo de Límite Plástico..	112
Figura 23: Equipos e Instrumentos del Ensayo de Granulometría..	116
Figura 24: Procedimiento del Ensayo de Granulometría.	117
Figura 25: Procedimiento del Ensayo de Granulometría.	118
Figura 26: Procedimiento del Ensayo de Granulometría.	118
Figura 27: Equipos e Instrumentos del Ensayo de Proctor Modificado	122
Figura 28: Procedimiento del Ensayo de Proctor Modificado.	123
Figura 29: Procedimiento del Ensayo de Proctor Modificado.	124
Figura 30: Procedimiento del Ensayo de Proctor Modificado.	124
Figura 31: Equipos e Instrumentos para la Elaboración de Unidades de Albañilería.	127



Figura 32: Procedimiento de la Elaboración de Unidades de Albañilería.. 128

Figura 33: Procedimiento de la Elaboración de Unidades de Albañilería. 129

Figura 34: Procedimiento de la Elaboración de Unidades de Albañilería. 129

Figura 35: Procedimiento de la Elaboración de Unidades de Albañilería..... 130

Figura 36: Procedimiento de la Elaboración de Unidades de Albañilería.. 130

Figura 37: Procedimiento de la Elaboración de Unidades de Albañilería. 131

Figura 38: Procedimiento de la Elaboración de Unidades de Albañilería. 131

Figura 39: Equipos e Instrumentos del Ensayo de Determinación del Peso. 132

Figura 40: Procedimiento del Ensayo de Determinación del Peso.. 133

Figura 41: Procedimiento del Ensayo de Determinación del Peso. 134

Figura 42: Procedimiento del Ensayo de Determinación del Peso. 134

Figura 43: Equipos e Instrumentos del Ensayo de Determinación del Peso..... 136

Figura 44: Procedimiento del Ensayo de Variación Dimensional.. 137

Figura 45: Procedimiento del Ensayo de Variación Dimensional. 137

Figura 46: Procedimiento del Ensayo de Variación Dimensional..... 138

Figura 47: Procedimiento del Ensayo de Variación Dimensional. 138

Figura 48: Equipos e Instrumentos del Ensayo de Alabeo. 140

Figura 49: Procedimiento del Ensayo de Alabeo. 141

Figura 50: Procedimiento del Ensayo de Alabeo. 142

Figura 51: Procedimiento del Ensayo de Alabeo. 142

Figura 52: Equipo e Instrumento del Ensayo de Resistencia a la Compresión. 144

Figura 53: Procedimiento del Ensayo de Resistencia a la Compresión. 145

Figura 54: Procedimiento del Ensayo de Resistencia a la Compresión..... 146

Figura 55: Procedimiento del Ensayo de Resistencia a la Compresión. 146

Figura 56: Procedimiento del Ensayo de Resistencia a la Compresión. 147

Figura 57: Procedimiento del Ensayo de Resistencia a la Compresión..... 147

Figura 58: Equipo e Instrumentos del Ensayo de Resistencia en Compresión de Prismas. .149

Figura 59: Procedimiento del Ensayo de Resistencia en Compresión de Prismas. 150

Figura 60: Procedimiento del Ensayo de Resistencia en Compresión de Prismas 151

Figura 61: Procedimiento del Ensayo de Resistencia en Compresión de Prismas 151

Figura 62: Procedimiento del Ensayo de Resistencia en Compresión de Prismas 152

Figura 63: Procedimiento del Ensayo de Resistencia en Compresión de Prismas. 152

Figura 64: Equipo del Ensayo de Modulo de Rotura. 154

Figura 65: Procedimiento del Ensayo de Módulo de Rotura..... 155



Figura 66: Procedimiento del Ensayo de Módulo de Rotura.....156

Figura 67: Procedimiento del Ensayo de Módulo de Rotura.....156

Figura 68: Equipo e Instrumentos del Ensayo de Absorción.158

Figura 69: Procedimiento del Ensayo de Absorción.159

Figura 70: Procedimiento del Ensayo de Absorción.159

Figura 71: Equipos e Instrumentos del Ensayo de Absorción Máxima.....161

Figura 72: Procedimiento del Ensayo de Absorción Máxima.162

Figura 73: Procedimiento del Ensayo de Absorción Máxima..163

Figura 74: Procedimiento del Ensayo de Absorción Máxima..163

Figura 75: Equipos e Instrumentos del Ensayo de Succión.165

Figura 76: Procedimiento del Ensayo de Succión..166

Figura 77: Procedimiento del Ensayo de Succión.167

Figura 78: Procedimiento del Ensayo de Succión.167

Figura 79: Equipos e Instrumentos del Ensayo de Eflorescencia.169

Figura 80: Procedimiento del Ensayo de Eflorescencia.170

Figura 81: Procedimiento del Ensayo de Eflorescencia.171

Figura 82: Procedimiento del Ensayo de Eflorescencia.171

Figura 83: Gráfico de Fluidez de Residuos Sólidos.176

Figura 84: Gráfico de Fluidez Arena 70%- Residuos Sólidos 30%.....176

Figura 85: Gráfico de Fluidez Arena 60%- Residuo Sólidos 40%.176

Figura 86: Curva Granulométrica de Residuos Sólidos.181

Figura 87: Curva Granulométrica con Dosificación de Arena 70%-Residuos Sólidos 30%..181

Figura 88: Curva Granulométrica con Dosificación de Arena 60%-Residuos Sólidos 40%..182

Figura 89: Curva de Compactacion con Dosificación de Arena 70%-Residuos Sólidos 30%..185

Figura 90: Curva de Compactacion con Dosificación de Arena 60%-Residuos Sólidos 40%..186

Figura 91: Determinacion del Peso..187

Figura 92: Variación Dimensional del Largo.189

Figura 93: Variación Dimensional del Largo en Porcentaje.189

Figura 94: Variación Dimensional del Ancho190

Figura 95: Variación Dimensional del Ancho en Porcentaje.....190

Figura 96: Variación Dimensional del Altura.....191

Figura 97: Variación Dimensional del Altura en Porcentaje191

Figura 98: Alabeo.193

Figura 99: Resistencia a la Compresión.195



Figura 100: Resistencia en Compresión de Prismas..	197
Figura 101: Módulo de Rotura.	199
Figura 102: Absorción.	200
Figura 103: Absorción Máxima.	202
Figura 104: Coeficiente de Saturación..	203
Figura 105: Succión..	205

1. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente en la ciudad del Cusco, las unidades de albañilería de arcilla cocida, conocidas como ladrillos son usadas en la construcción, principalmente en edificaciones, como muros, parapetos o tabiques. por lo cual deben cumplir los parámetros establecidos en (Norma Técnica E 070 Albañilería,2006),(NTP 399.613 Metodo de muestreo y ensayos de ladrillos de arcilla usados en albañilería ,2005),(NTP 399.605 Metodos de ensayo para la determinacion de la resistencia en compresion de prismas de albañilería) ; sin embargo, en su mayoría las unidades no los cumplen debido a que su producción en la ciudad, generalmente, es de tipo artesanal o semi industrial, asimismo no se cuenta con una metodología estandarizada de fabricación lo que ocasiona que las propiedades físico mecánicas de las unidades producidas, varíen ampliamente. Así mismo, son pocos los controles de calidad, generando una incertidumbre en su comportamiento estructural.

Figura 01: Producción Semi Industrial de Ladrillos



FUENTE: Archivo Del Autor

Figura 02: Desechos de la Fabricación de Ladrillos

FUENTE: Archivo Del Autor

La producción de las unidades de albañilería cocida produce un gran impacto ambiental sobre las ladrilleras y las zonas aledañas afectando la salud de los pobladores y trabajadores, así como la flora y fauna debido al uso de hornos para la cocción de los ladrillos y el combustible empleado que emana gases contaminantes al medio ambiente, se debe mencionar que existen intentos aislados los cuales tienen como objetivo disminuir el impacto ambiental causado.

La actividad ladrillera artesanal se desenvuelve en un escenario especial caracterizado por alta generación de contaminantes, informalidad, economía precaria, inseguridad en el trabajo, reducida capacidad de gestión

Actualmente, la contaminación generada por las plantas de fabricación de ladrillos constituyen en las ciudades de Cusco y Arequipa la segunda fuente de contaminación más importante, luego del tráfico vehicular (Sistematización Ladrilleras Programa Regional Aire Limpio).

Así mismo los desechos que son generados en la producción de estas unidades de albañilería, entre los cuales se encuentran las unidades que presentan una cocción irregular, unidades que no tienen un color uniforme y las unidades frágiles, no son reutilizados por las ladrilleras, sino que se almacenan para su posterior transporte y disposición final, incrementando los residuos sólidos de la ciudad, es así que se plantea la reutilización de estas, elaborando una nueva

unidad de albañilería que cumpla con los parámetros requeridos en la norma E 070 y sea amigable con el medio ambiente.

Figura 03: Horno Artesanal para la Producción de Ladrillos



FUENTE: Elaboración Propia

Figura 04: Inadecuado Acopio de los Desechos de la Fabricación de Ladrillos



FUENTE: Archivo Del Autor



1.1.2. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA

1.1.2.1. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA GENERAL

¿Las unidades de albañilería elaboradas con residuos sólidos de ladrilleras artesanales, arena de la cantera de Cunyac y cemento portland tipo IP desarrollan propiedades físico mecánicas que permiten su utilización como un material de construcción alternativo en la ciudad del Cusco?

1.1.2.2. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DE LOS PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- **PROBLEMA ESPECÍFICO N°1**

¿Cuáles serían las proporciones de los componentes que conforman las unidades de albañilería elaboradas con residuos sólidos de ladrilleras artesanales, arena de la cantera de Cunyac y cemento portland tipo IP de manera que desarrollen propiedades físico mecánicas requeridas para el uso en la construcción?

- **PROBLEMA ESPECÍFICO N°2**

¿Qué características tienen las propiedades físicas de las unidades de albañilería elaboradas con residuos sólidos de ladrilleras artesanales, arena de la cantera de Cunyac y cemento portland tipo IP que cumplan los parámetros de la norma E 070?

- **PROBLEMA ESPECÍFICO N°3**

¿Qué características tienen las propiedades mecánicas de las unidades de albañilería elaboradas con residuos sólidos de ladrilleras artesanales, arena de la cantera de Cunyac y cemento portland tipo IP que cumplan los parámetros de la norma E 070?

1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

Al ensayar materiales de canteras e insumos para las unidades de albañilería se debe cumplir con las normas E 0.70, especificaciones técnicas ASTM C 33, el proceso de fabricación de las unidades incluirá los procedimientos específicos de curado y compactación, los ensayos que se realizarán son la variación dimensional, alabeo, absorción, absorción máxima, succión, eflorescencia, resistencia a la compresión, alabeo, módulo de rotura, coeficiente de saturación, compresión axial de pilas.

1.2.2. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Incentivar y difundir para futuras investigaciones a los alumnos de Ingeniería Civil de la Universidad Andina del Cusco a la elaboración y empleo de nuevos materiales de construcción alternativos en nuestra región que cumplan los parámetros requeridos.

Debido a la manera rudimentaria en la cual son elaborados los ladrillos y al no contar con controles de calidad mínimos que aseguren un comportamiento estructural óptimo y seguro, el proyecto propone la elaboración de una unidad de albañilería con residuos sólidos de ladrilleras artesanales, con procedimientos sencillos y simples de realizar aun cuando no se tengan equipos o herramientas sofisticadas, además, como se hace uso del residuo sólido de ladrilleras, se es amigable con el medio ambiente y a su vez se abarata costos tanto de producción, transporte y construcción lo que genera un ahorro a la población y a su vez brindarle seguridad en el proceso constructivo y en la vida útil de la edificación que se construya con estas unidades de albañilería.

1.2.3. JUSTIFICACIÓN POR VIALIDAD

Los ensayos a realizar están normados y basados en la E 070 Norma Técnica Peruana y se asumirá la adquisición de las Normas Técnicas Peruanas 399.613, 399.605 ,331.017 ya que es económicamente viable

Al tener que ensayar material de canteras y manejo de insumos para las unidades de albañilería elaboradas con residuos sólidos, se requiere una serie de ensayos los cuales son regularmente sencillos, teniendo así que optar por instrumentos y equipos necesarios que serán proporcionados por el laboratorio de la Universidad Andina del Cusco y se podrán



realizar de forma adecuada sin necesidad de recurrir a otro laboratorio disminuyendo el costo para los ensayos y evaluaciones de los materiales e insumos.

1.2.4. JUSTIFICACIÓN POR RELEVANCIA

El presente proyecto permitirá el uso de un nuevo e innovador material el cual puede reemplazar o ser usado como una alternativa al ladrillo, llegando a tener similares propiedades mecánicas, las cuales proporcionarán a la unidad de albañilería producida con residuos sólidos un similar comportamiento estructural.

1.3. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

- La tesis se limitará a la elaboración de unidades de albañilería, con residuos sólidos triturados provenientes de ladrilleras artesanales del distrito de San Jerónimo de la ciudad del Cusco. El cemento que se utilizará será el cemento Portland Tipo IP, el agua será potable además la arena que se usará para la fabricación corresponde a la cantera de Cunyac, ubicada en el Límite del Departamento de Cusco y el Departamento de Apurímac.
- Unidades de 24cm x 11cm x 8cm con agujeros de 1”
- Porcentaje de cemento de 9% definida por la clasificación del suelo
- Tamaño máximo de residuos sólidos que pasan la malla N°4
- La fabricación de las unidades de albañilería se realizarán con equipos e instrumentos de la Universidad Andina del Cusco, además se fabricarán moldes para la elaboración de estas. El proceso de fabricación de las unidades incluirá los procedimientos específicos de curado y compactación.
- Durante el proceso de ensayo de las unidades de albañilería se utilizarán las unidades a los 21 días de su elaboración como mínimo, los ensayos realizados son: la variación dimensional, alabeo, absorción, absorción máxima, succión, eflorescencia, resistencia a la compresión, alabeo, módulo de rotura, coeficiente de saturación, resistencia en compresión de prismas.
- Para los prismas se emplea un mortero 1:4 con espesor de 1.5cm
- Los prismas son de 2 filas por que al adicionar una fila mas sobrepasa la altura de la maquina de compresión, imposibilitando el procedimiento del ensayo.



1.4. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar si las unidades de albañilería elaboradas con residuos sólidos de ladrilleras artesanales, arena de la cantera de Cunyac y Cemento Portland tipo IP desarrollan propiedades físico mecánicas que permiten su utilización como un material de construcción alternativo en la Ciudad del Cusco.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- **OBJETIVO ESPECÍFICO N° 1**

Determinar las proporciones de los componentes que conforman las unidades de albañilería elaboradas con residuos sólidos de ladrilleras artesanales, arena de la cantera de Cunyac y Cemento Portland tipo IP de manera que desarrollen propiedades físico mecánicas requeridas para el uso en la construcción.

- **OBJETIVO ESPECÍFICO N° 2**

Determinar las características que tienen las propiedades físicas de las unidades de albañilería elaboradas con residuos sólidos de ladrilleras artesanales, arena de la cantera de Cunyac y Cemento Portland tipo IP que cumplan los parámetros de la norma E 070.

- **OBJETIVO ESPECÍFICO N° 3**

Determinar las características que tienen las propiedades mecánicas de las unidades de albañilería elaboradas con residuos sólidos de ladrilleras artesanales, arena de la cantera de Cunyac y Cemento Portland tipo IP que cumplan los parámetros de la norma E 070.



1.5. HIPÓTESIS

1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL

Las unidades de albañilería elaboradas con residuos sólidos de ladrilleras artesanales, arena de la cantera de Cunyac y Cemento Portland tipo IP desarrollan propiedades físico mecánicas que permiten su utilización como un material de construcción alternativo en la ciudad del Cusco.

1.5.2. SUB HIPÓTESIS

- **SUB HIPÓTESIS N° 1**

Las proporciones de los componentes que conforman las unidades de albañilería elaboradas con residuos sólidos de ladrilleras artesanales, arena de la cantera de Cunyac y Cemento Portland tipo IP son las que determinan que las propiedades físico-mecánicas califiquen a la unidad para su uso en la construcción y se determinarán mediante procesos de laboratorio.

- **SUB HIPÓTESIS N° 2**

Las características de las propiedades físicas de las unidades de albañilería elaboradas con residuos sólidos de ladrilleras artesanales, arena de la cantera de Cunyac y Cemento Portland tipo IP cumplen los parámetros de la norma E 070.

- **SUB HIPÓTESIS N° 3**

Las características de las propiedades mecánicas de las unidades de albañilería elaboradas con residuos sólidos de ladrilleras artesanales, arena de la cantera de Cunyac y Cemento Portland tipo IP cumplen los parámetros de la norma E 070.



1.6. DEFINICIÓN DE VARIABLES

1.6.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

- Cemento Portland IP: Componente aglutinante o aglomerante que mejora las condiciones del suelo, dándole características de estabilidad y resistencia.
- Residuos sólidos de ladrilleras artesanales: Componente de desecho ya sea por ser ladrillos defectuosos, mal cocción, rotos etc.
- Arena de la cantera de Cunyac: Componente granular que se encuentra en la naturaleza, compuesta de partículas muy finas de roca y minerales, formando partículas resistentes pocos solubles en el agua.
- Agua: Componente encargado de hidratar el cemento para producir la aglutinación de las partículas sólidas.

1.6.1.1. INDICADORES DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES

- Peso de cemento (Kg)
- Peso de residuo solido (Kg)
- Peso de arena (Kg)
- Volumen de agua (m³)

1.6.2. VARIABLE DEPENDIENTE

- Propiedades Físicas de las unidades de albañilería elaboradas con residuos sólidos: Propiedades de la unidad de albañilería que no requieren conocimiento de su comportamiento químico.
- Propiedades Mecánicas de las unidades de albañilería elaboradas con residuos sólidos: Propiedades sobre el comportamiento de la unidad bajo fuerzas aplicada.

1.6.2.1. INDICADORES DE LAS VARIABLES DEPENDIENTES

- Peso (Kg).
- Variación Dimensional (cm).
- Alabeo (mm).
- Absorción (%).
- Absorción máxima (%).
- Coeficiente de saturación (mm).
- Succión (factor).
- Resistencia a la Compresión (Kg/cm²).
- Módulo de Rotura (Kg/cm²).
- Resistencia en Compresión de Prismas (Kg/cm²).
- Eflorescencia.



1.6.3. CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE	NIVEL	INDICADORES	INSTRUMENTOS
VARIABLE INDEPENDIENTE				
Cemento Portland IP	Componente aglutinante o aglomerante que mejora las condiciones del suelo, dándole características de estabilidad y resistencia.	Tipo :cemento Portland puzolanico IP	Peso de cemento	- Guías de investigación
Arena de la cantera de Cunyac	Componente granular que se encuentra en la naturaleza, compuesta de partículas muy finas de roca y minerales, formando partículas resistentes pocos solubles en el agua.	Arena Fina	Peso de arena	- Fichas
		Arena medianamente fina		
		Arena Gruesa		
Residuos sólidos de ladrilleras artesanales	Componente de desecho ya sea por ser ladrillos defectuosos, mal cocción, rotos etc.	fino	Peso de residuo solido	- Guías de investigación.
		Medianamente fino		
		Grueso		
Agua	Componente encargado de hidratar el cemento para producir la aglutinación de las partículas sólidas.	Agua Potable	Volumen de agua	- Guías de investigación
		Agua no Potable		
VARIABLE DEPENDIENTE				
Propiedades Físicas de las unidades de albañilería elaboradas con residuos sólidos.	Propiedades de la unidad de albañilería que no requieren conocimiento de su comportamiento químico	PROPIEDADES FÍSICAS	- Peso - Variación dimensional - Alabeo - Absorción - Absorción máxima - Succión - Coeficiente de saturación - Eflorescencia	- Guías de investigación. - Norma técnica peruana 399.613
Propiedades Mecánicas de las unidades de albañilería elaboradas con residuos sólidos.	Propiedades sobre el comportamiento sobre el comportamiento de la unidad bajo fuerzas aplicada	PROPIEDADES MECÁNICAS	- Resistencia a la compresión. - Módulo de rotura. - Resistencia en compresión de prismas.	- Norma técnica peruana 399.613 - Norma técnica peruana 399.605 - Fichas

FUENTE: Elaboración Propia



2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO DE LA TESIS

2.1. ANTECEDENTES DE LA TESIS

2.1.1. ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL

Autores : Juan de Dios Quiroz Gonzales

Institución: Universidad Andina del Cusco, Cusco - Perú

Año : 2015

Título: “Análisis de las Propiedades Físico-Mecánica de las Unidades de Albañilería de Suelo Cemento Fabricadas con Arena de la Cantera de Vicho, Suelo de la Zona Ladrillera de San Jerónimo y Cemento Portland Tipo IP”

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

El proceso de fabricación de las unidades de albañilería suelo cemento, la compactación de las unidades es un factor muy importante, ya que determina las propiedades físico-mecánicas de estas, con una incidencia directa en el desarrollo de la resistencia a la compresión. Asimismo, la cantidad de agua, de acuerdo con el modo de fabricación y la energía de compactación que se utilice, define de igual manera el desarrollo de las propiedades físico-mecánicas de las unidades de albañilería de suelo cemento. Donde se observan las propiedades físico-mecánicas de las unidades de albañilería de suelo cemento con un mismo porcentaje de cemento, pero con un diferente proceso de curado, El curado de estas es fundamental para asegurar que las unidades desarrollen propiedades físico-mecánicas que permitan su uso como material de construcción.



2.1.2. ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL

Autor : Leonardo Quijano B. H.Mauricio Díez-Silva Maricela I.

Institución: Revista EAN Bogotá D.C., Cundinamarca, Colombia,

Año : 2010

Título : “Implementación de procesos sostenibles vinculando industrias regionales: Reciclaje de residuos siderúrgicos como proyecto de cambio de la mampostería en Boyacá-Colombia “

Comentario: En el presente artículo, se ha documentado la propuesta para el proyecto de implementación de una alternativa para la fabricación de ladrillos orientada a aportar a la solución de los problemas ambientales ocasionados por las prácticas artesanales de esta actividad. Dicha propuesta vincula los desechos de una industria como la siderúrgica, para mejorar la actividad de otra industria como la mampostería en el departamento de Boyacá.

Conclusión: El proceso propuesto, no requiere de altas temperaturas, por lo tanto es favorable con respecto al artesanal en lo relacionado con la protección del medio ambiente, debido a que no genera emisiones contaminantes, elimina los requerimientos de energía de casi 1.500 kcal por ladrillo y no utiliza combustibles provenientes de recursos naturales no renovables como el carbón y el coque.

Desde el punto de vista económico, el proceso propuesto presenta algunas ventajas debido a que la materia prima principal, es un material de desecho de muy bajo costo y que al no requerir de hornos de cocción de ladrillos, tiene una diferencia comparativa de 45 pesos por unidad, en los costos de producción.

Además de su viabilidad ambiental y técnica, el proyecto de fabricación de ladrillos reciclando residuos de la industria del acero, es económicamente factible, considerando una cuota de mercado del 17% que arroja una tasa interna de retorno de 36%.



Autores : Hugo Begliardo, Mirta Sánchez y M. Cecilia Panigatti

Institución: Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rafaela-Santa Fe - Argentina

Año : 2004

Título : “Ladrillos de suelo-cemento elaborados con suelos superficiales y barros de excavación para pilotes”

Comentario: Plantean la comparación de resultados de los ensayos de laboratorio sobre los ladrillos de suelo-cemento, confeccionándolos a partir de suelos superficiales y mezclas de suelo más profundos que son residuos de las excavaciones para pilotes de la zona estudiada. Respecto al suelo, usan los dos tipos mencionados anteriormente, adicionando 10% de arena fina a cada uno. En cuanto al cemento, expresan que todo aquel del tipo Portland es apto y frente a la presencia de sulfatos, se debe recurrir a cementos con propiedades especiales con moderada o alta resistencia a los sulfatos, el porcentaje que utilizaron fue del 6 y 10%. Se realizaron ensayos tanto a los suelos como a los agregados finos para poder clasificarlos, también a la mezcla de suelo cemento para obtener la humedad óptima y a los ladrillos de suelo cemento para caracterizarlos física y mecánicamente.

Para la fabricación de los ladrillos se empleó una prensa motorizada de accionamiento hidráulico, con presión del orden de los 115 kg/cm²; se realizaron dos tipos de ladrillos variando su ancho y largo, pero manteniendo su altura en 115 mm. Se obtuvo que los suelos eran, el primero era arcilla inorgánica con mediana compresibilidad y el otro un limo orgánico de mediana compresibilidad, asimismo se obtuvo la humedad óptima de las dos muestras de suelo mediante el ensayo de Proctor Modificado para calcular la cantidad de agua. Por último se analizaron los ladrillos de suelo cemento obteniendo resistencia a la compresión que varían de 30 a 75 kg/cm².

Conclusión: El excelente comportamiento de los ejemplares en condiciones sumergidas, sin degradarse, configura un claro indicio de durabilidad en estas condiciones extremas.

Es necesario continuar con los ensayos de ejemplares confeccionados con hidrófugo de masa incorporado al agua de empaste, observando su desempeño a mediano y largo plazo.

Su destacado comportamiento los tornaría aptos para su empleo como hilada (capa) aisladora de la humedad ascendente de las fundaciones.

Tomasini-Olivero han obtenido buenos resultados con su procedimiento para los suelos arcillosos superficiales (CL). Corresponde seguir realizando pruebas y ajustes del mismo



cuando se utilicen limos de baja plasticidad (ML), como el contenido en los barros de excavación del subsuelo rafaélino. No obstante ello, el método provee un camino racional que puede ser aplicado a otros tipos de prensa o modelo de ladrillos, con los ajustes correspondientes a la energía entregada por el equipo disponible.

Autor : Martínez, Ramírez

Institución: Universidad Nacional Abierta y a Distancia Distrito federal -México

Año : 2008

Título : “Aprovechamiento de residuos de construcción y demolición”

Comentario: La generación de residuos de construcción y demolición (RCD) está íntimamente relacionada a la actividad del sector de la construcción, como consecuencia de la construcción de nuevos edificios e infraestructura, al igual que con la demolición de aquellas que han quedado obsoletas.

El sector de la construcción consume el 50% del total de los recursos naturales y el 40% de la energía; en contrapartida, genera el 50% de los residuos y es responsable por una tercera parte de las emisiones de CO₂. Por otra parte el desarrollo de los países, genera altos volúmenes de residuos de construcción y demolición (RCD) cuyo destino final termina siendo los rellenos sanitarios o escombreras agotando espacio debido a su alto volumen, supone el principal impacto ambiental generado en el sector .

Los materiales utilizados en la construcción pueden ser:

- Reciclables y/o reutilizables: como lo son los metales, maderas, vidrios, cristales, plásticos.
- Exclusivamente reutilizables: como los materiales pétreos a los cuales solo se someten a procesos de trituración para ser utilizados como inerte en el concreto, relleno de terrenos, etc.
- Reutilizables: por encontrarse mezclado con otros materiales (como los morteros).

Autores : Delia R. Kless y Mario B. Natalini

Institución: Universidad Nacional del Nordeste Corrientes -Argentina

Año : 2011

Título : “fabricación de componentes modulares para la construcción de viviendas de bajo costo utilizando suelo-cemento”



Comentario : Indican que el suelo debe estar formado por una mezcla de arena, limo y arcilla, estos dos últimos en proporción tal que den cohesión suficiente a la mezcla y buena composición granulométrica sin que se originen contracciones perjudiciales.

El cemento que se emplea tanto general como particularmente es el cemento Portland, la proporción en volumen varía entre un 8% y un 12%. Para un suelo con porcentaje de arena del 50%, se puede asegurar su estabilización con un 10% de cemento, además afirman que la relación 9 partes de suelo – 1 parte de cemento brinda óptimos resultados

La cantidad de agua que se utiliza es un factor fundamental, cada tipo de suelo requiere un grado de humedad determinado; sin embargo, la cantidad de agua total oscila generalmente entre el 8% y el 16%. La resistencia a la compresión alcanzada fue del orden de 26 al 30 kg/cm².

Conclusión: La adición de cemento al suelo permite obtener un material que reúne las siguientes ventajas:

- Reducido cambio volumétrico, por absorción o pérdida de humedad.
- Excelente acabado. Aristas firmes.
- Inalterabilidad al sumergirlo en agua.
- Resistencia a la compresión similar y hasta superior a la del ladrillo común de arcilla cocida.
- Economía. La producción de este material ocupa casi exclusivamente recursos locales, en cuanto a mano de obra y materia prima, lo que permite reducir los costos.

Con la simple incorporación de arena se consiguen suelos artificiales que pueden ser estabilizados con cemento. Sólo es necesario realizar el reconocimiento del tipo de suelo con el que se va a trabajar, para definirla necesidad o no de la incorporación de arena y determinar el porcentaje de cemento a utilizar.

La relación 9 partes de suelo – 1 parte de cemento brinda óptimos resultados.

Autor : Perez Rojas Viviana Ángela

Institución: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja-Boyacá-Colombia

Año : 2012

Título : “Triturado de ladrillo reciclado como agregado grueso en la elaboración de concreto “

Comentario : El reciclado y la reutilización de ladrillos procedentes de defectuosa fabricación podría, conducir a la industria de la construcción a un escenario de mayor sostenibilidad, reduciendo el uso de recursos no renovables y el impacto negativo que causa al

medio ambiente el manejo inadecuado de los residuos sólidos. Este artículo examina la posibilidad de utilizar triturado de ladrillo como agregado grueso en la elaboración de concreto.

Conclusión: Según los resultados de esta investigación, este concreto reciclado puede ser utilizado como cualquier otro concreto convencional, siempre y cuando el porcentaje de agregado triturado de ladrillo reciclado no exceda el 30%.

Siempre que se desee emplear concreto elaborado con agregado triturado de ladrillo como sustituto parcial del agregado natural es necesario realizar los análisis respectivos debido a que las propiedades del ladrillo varían según la calidad y origen.

2.2. ASPECTOS TEÓRICOS PERTINENTES

2.2.1 DEFINICIÓN DEL ALBAÑILERÍA O MAMPOSTERÍA

Material estructural compuesto por “unidades de albañilería” asentadas con mortero o por “unidades de albañilería” apiladas, en cuyo caso son integradas con concreto líquido. (Norma Técnica E.070 , 2006)

La albañilería es un material estructural compuesto que, en su forma tradicional, está integrado por unidades asentadas con mortero débilmente unidas o pegadas; se trata de un material heterogéneo y anisotrópico que tiene por naturaleza una resistencia a la compresión elevada, mientras que la resistencia a la tracción es reducida y está controlada por la adhesión entre la unidad y el mortero. (Gallegos & Casabonne, 2005)

En las últimas décadas la albañilería se ha integrado también con unidades huecas –asentadas con mortero o apiladas sin utilizar mortero–, que se llenan con concreto líquido.

La albañilería o mampostería se define como un conjunto de unidades trabadas o adheridas entre sí con algún material como el mortero de barro o de cemento. Las unidades pueden ser naturales o artificiales.(San Bartolome, Quiun, & Silva, 2011)

La albañilería es un sistema de construcción que resulta de la superposición de unidades de albañilería unidades entre sí por un mortero, formando un conjunto monolítico llamado muro. (Abanto, 2013)

2.2.2 DEFINICIÓN DE UNIDAD DE ALBAÑILERÍA

Ladrillos y bloques de arcilla cocida, de concreto o de sílice-cal. Puede ser sólida, hueca, alveolar o tubular. (Norma Técnica E.070 , 2006)

La unidad de albañilería es el componente básico para la construcción de la albañilería, se elabora de materias primas diversas: la arcilla, el concreto de cemento Portland y la mezcla de sílice y cal son las principales. Además, su producción se realiza en condiciones extremadamente disímiles: en sofisticadas fábricas, bajo estricto control industrial, o en precarias canchas, muchas veces provisionales y sin ningún control de calidad. Pueden denominarse ladrillos o bloques. Los ladrillos se caracterizan por tener dimensiones y pesos que los hacen manejables con una sola mano en el proceso de asentado. Los bloques están hechos para manipularse con las dos manos. (Gallegos & Casabonne, 2005)

Por su fabricación pueden ser artesanales o industriales. Las unidades de arcilla y concreto admiten ambas modalidades, mientras que las unidades sílico calcáreas son únicamente de fabricación industrial. (San Bartolome, Quiun, & Silva, 2011)

2.2.2.1 CLASIFICACIÓN

2.2.2.1.1 UNIDADES SOLIDAS O MACIZAS

Unidades de albañilería cuya sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tiene un área igual o mayor que el 70% del área bruta en el mismo plano. (Norma Técnica E.070 , 2006)

En estas unidades las perforaciones o alvéolos, necesariamente perpendiculares a la cara de asiento, no deben alcanzar más del 30% del área de la sección bruta. Las unidades sólidas no son solo aquellas que no tienen alvéolos, sino que son también aquellas que los tienen hasta un límite determinado. En la aplicación de este tipo de unidades se consideran, para todas las propiedades, que cuentan con una sección bruta. (Gallegos & Casabonne, 2005)

2.2.2.1.2 UNIDADES HUECAS

Unidades de albañilería cuya sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tiene un área equivalente menor que el 70% del área bruta en el mismo plano. (Norma Técnica E.070 , 2006)

En las unidades huecas el área alveolar excede el 30% del área bruta y los alvéolos tienen dimensiones tales que pueden llenarse con concreto líquido. En este caso todas las propiedades de la sección corresponden a las de la sección neta. (Gallegos & Casabonne, 2005)

2.2.2.1.3 UNIDADES PERFORADAS

Unidad de albañilería con huecos paralelos a la superficie de asiento. (Norma Técnica E.070 , 2006)

Las unidades perforadas tienen, como las unidades huecas, más del 30% del área bruta ocupada por alvéolos; sin embargo, se diferencian de ellas por el hecho de que los tamaños de los alvéolos son reducidos (menores de 4 x 5 cm) y, consecuentemente, no pueden llenarse con concreto líquido. (Gallegos & Casabonne, 2005)

2.2.2.1.4 UNIDADES TUBULARES

En estas unidades los alvéolos no son como en las unidades sólidas, huecas o perforadas, perpendiculares a la cara de asiento de la unidad, sino paralelos a esta. El tamaño de los alvéolos y la proporción del área de estos, en relación con el área bruta de la cara lateral de la unidad, varían grandemente en la producción industrial. Sus propiedades y características resistentes se determinan y consideran como si la unidad fuera sólida. (Gallegos & Casabonne, 2005)

Las unidades tubulares son las que tienen perforaciones dispuestas en paralelo a la superficie de asiento, en este tipo se clasifican los ladrillos panderetas que se utilizan en los muros no portantes. (San Bartolome, Quiun, & Silva, 2011)

2.2.2.1.5 CLASIFICACIÓN PARA FINES ESTRUCTURALES

Para efectos del diseño estructural, las unidades de albañilería tendrán las características indicadas en la Tabla 01 (Norma Técnica E.070 , 2006)

Tabla 01: Clasificación de la Albañilería para Fines Estructurales

CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSIÓN (máxima en porcentaje)			ALABEO (máximo en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN $f'b$ mínimo en Mpa (kg/cm ²) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	4.9 (50)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6.9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9.3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12.7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17.6 (180)
Bloque P ⁽¹⁾	± 4	± 3	± 2	4	4.9 (50)
Bloque NP ⁽²⁾	± 7	± 6	± 4	8	2.0 (20)
(1) Bloque usado en la construcción de muros portantes					
(2) Bloque usado en la construcción de muros no portantes					

FUENTE: (Norma Técnica E.070 , 2006)

2.2.2.1.5.1 LIMITACIONES EN SU APLICACIÓN

El uso o aplicación de las unidades de albañilería estará condicionado a lo indicado en la Tabla 02

Las zonas sísmicas son las indicadas en la (NORMA TECNICA E.030)

Diseño Sismo resistente (Norma Tecnica E.070 , 2006)

Tabla 02: Limitaciones de la Aplicación Estructural de los Tipos de Unidades de Albañilería

Tipo	Posibilidad de aplicación			
	Muro en zona sísmica		Muro en zona no sísmica	
	Portante	No Portante	Portante	No Portante
Sólida	Óptima	Aplicable, pero muy pesada y costosa	Óptima para cargas elevadas	Aplicable, pero muy costosa
Hueca	No aplicable tal cual. Óptima si se llenan alvéolos con concreto líquido	Óptima	Aplicable	Óptima
Perforada	No aplicable, salvo que el área alveolar sea 30% o menos que el área bruta	Óptima	Aplicable	Óptima
Tubular	No aplicable	Óptima	No Aplicable	Óptima

FUENTE: (Norma Tecnica E.070 , 2006)

2.2.2.2 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA DE ARCILLA COCIDA

Las unidades de albañilería de arcilla cocida son usualmente ladrillos; sin embargo, también se produce, aunque en menor proporción, bloques de cerámica.

Se fabrican ladrillos de arcilla sólidos, perforados y tubulares; los bloques, cuando se fabrican, son huecos. El formado de las unidades de arcilla se realiza por todos los métodos de moldeo, con la asistencia de presión (no es posible fabricar unidades de arcilla por moldeo asistido con vibración), y por extrusión. En consecuencia, la gama de productos, su calidad y su variabilidad son prácticamente ilimitadas. El color de las unidades de arcilla va normalmente del amarillo al rojo.

La textura de las unidades de arcilla es lisa cuando ha sido moldeada en contacto con moldes metálicos, y rugosa cuando el moldeo se realiza en moldes de madera arenados; es lisa en las caras formadas por el dado en el proceso de extrusión. (Gallegos & Casabonne, 2005)



Tanto en el Perú como en el extranjero existe una variedad tremenda en las unidades de arcilla, esto se debe a los diversos procesos de elaboración y materia prima empleada. (San Bartolome A. , 1994)

2.2.2.2.1 MATERIA PRIMA

La materia prima básica es arcilla compuesta de sílice y alúmina con cantidades variables de óxidos metálicos y otros ingredientes. En general, las arcillas pueden ser clasificadas, dependiendo de su composición básica, como calcáreas y no calcáreas. Las primeras contienen alrededor de 15% de carbonato de calcio y producen ladrillos de color amarillento. Las segundas están compuestas de silicato de alúmina, tienen de 2 a 10% de óxidos de hierro y feldespato y queman a un color rojo o salmón, dependiendo del contenido de óxido de hierro.

Con el propósito de ser adecuadas para la fabricación de ladrillos, las arcillas deben ser plásticas al mezclarse con agua, de modo tal que puedan ser formadas en moldes o por el dado de las extrusoras, sus partículas deben tener suficiente adhesión para mantener la estabilidad de la unidad después del formado y ser capaces de unirse mediante la fundición, cuando se calientan a temperaturas elevadas.

Las arcillas superficiales satisfacen las condiciones anteriores y son las más fáciles de explotar, porque corresponden a una formación sedimentaria reciente, y, por lo tanto, son las más empleadas; por otro lado, dado que están 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. (Gallegos & Casabonne, 2005)

Las mejores arcillas para fabricar ladrillos son las impuras, contienen un 33% de arena y limo, pues estos reducen las contracciones y agrietamientos en el momento del secado y la quema. (San Bartolome A. , 1994)

2.2.2.2.2 FABRICACIÓN

Este proceso es muy variado, lo que da lugar a unidades artesanales, semi industriales e industriales, con una gran diferencia en sus formas, resistencias y dimensiones.

La extracción del material de la cantera se hace con picos, lampas y carretillas (proceso artesanal); o usando palas mecánicas (proceso industrial). Posteriormente, se tamiza el material empleando mallas metálicas, para eliminar las piedras y otras materias extrañas.

La molienda de la materia prima puede ser apisonándola (proceso artesanal) o con molinos (proceso industrial).



El mezclado de la materia prima con agua y arena se realiza dejando dormir la tierra durante el día (artesanal), o empleando máquinas dosificadoras al peso y amasadoras (industrial).

El moldeado se efectúa artesanalmente echando con fuerza la mezcla sobre moldes de madera, semi-industrialmente con prensas manuales, industrialmente con prensas hidráulicas que aplican más de 500 ton de carga, o con extrusora; en este último caso, la masa plástica es obligada a pasar por una boquilla con la sección transversal del producto terminado, que luego es recortado con una sierra eléctrica.

El proceso de secado se realiza artesanalmente colocando las unidades en un tendal, industrialmente introduciéndolas en un horno con temperatura regulable que va desde la del medio ambiente hasta los 200 °C, para volver a la temperatura ambiental.

El quemado se efectúa en hornos abiertos con quemadores de leña o petróleo (colocados en la base). Esto da lugar a diferencias de más del 100% entre la resistencia de las unidades ubicadas en la parte baja y alta del horno. También hay hornos tipo túnel con quemadores de petróleo o de carbón molido, con cámaras de temperatura regulables desde la del medio ambiente hasta 1200°C, este proceso dura entre 3 y 5 días. (San Bartolome, Quiun, & Silva, 2011)

Los aspectos importantes del proceso de fabricación son los siguientes:

- a. Cuando las unidades van a ser moldeadas a presión elevada se añade una cantidad muy reducida de agua –usualmente no más del 10% en peso–, para producir una consistencia seca y tiesa. En el caso de fabricación por extrusión, la consistencia necesaria debe ser más plástica, y se añade alrededor de 12 a 15% en peso de agua. La consecuencia es que la misma arcilla, con el método del moldeo, producirá unidades con menos vacíos y, como consecuencia, más resistentes que el método de extrusión.
- b. En todos los métodos de formado debe tenerse en cuenta el hecho de que las unidades, al secarse, se contraerán (entre 4 y 16% en volumen). Consecuentemente, las unidades crudas son hechas de un tamaño mayor, de modo tal que, después de secadas y quemadas, el producto final tenga el tamaño deseado. Dado que es difícil evaluar de antemano la contracción de las arcillas, este solo hecho explica las variabilidades dimensionales mayores que se encuentran en las unidades de arcilla, comparadas con las unidades hechas de concreto o sílice-cal.



- c. Las unidades recién prensadas o extruidas tienen exceso de agua que debe ser removido antes del quemado. Esta operación se puede hacer en hornos de secado a temperaturas del orden de 200°C o, tomando más tiempo, al aire libre. En esta etapa es importante evitar el secado rápido, pues causará agrietamientos excesivos; en ella, las unidades se contraerán entre 2 y 8% en volumen.
- d. El quemado es la etapa central del proceso de fabricación. Los hornos pueden ser artesanales o muy sofisticados, de producción continua. En el proceso de quemado el ladrillo pasa por varias etapas de deshidratación, oxidación y, en algunos casos, vitrificación. La quema se efectúa a temperaturas entre 900°C y 1300°C y dura entre dos y cinco días, dependiendo de las propiedades de la arcilla, tipo de unidad y las especificaciones del producto terminado.
- e. Es necesario, finalmente, que las unidades sean enfriadas en un proceso que debe ser controlado para no ocurrir con rapidez causa el agrietamiento de las unidades. (Gallegos & Casabonne, 2005)

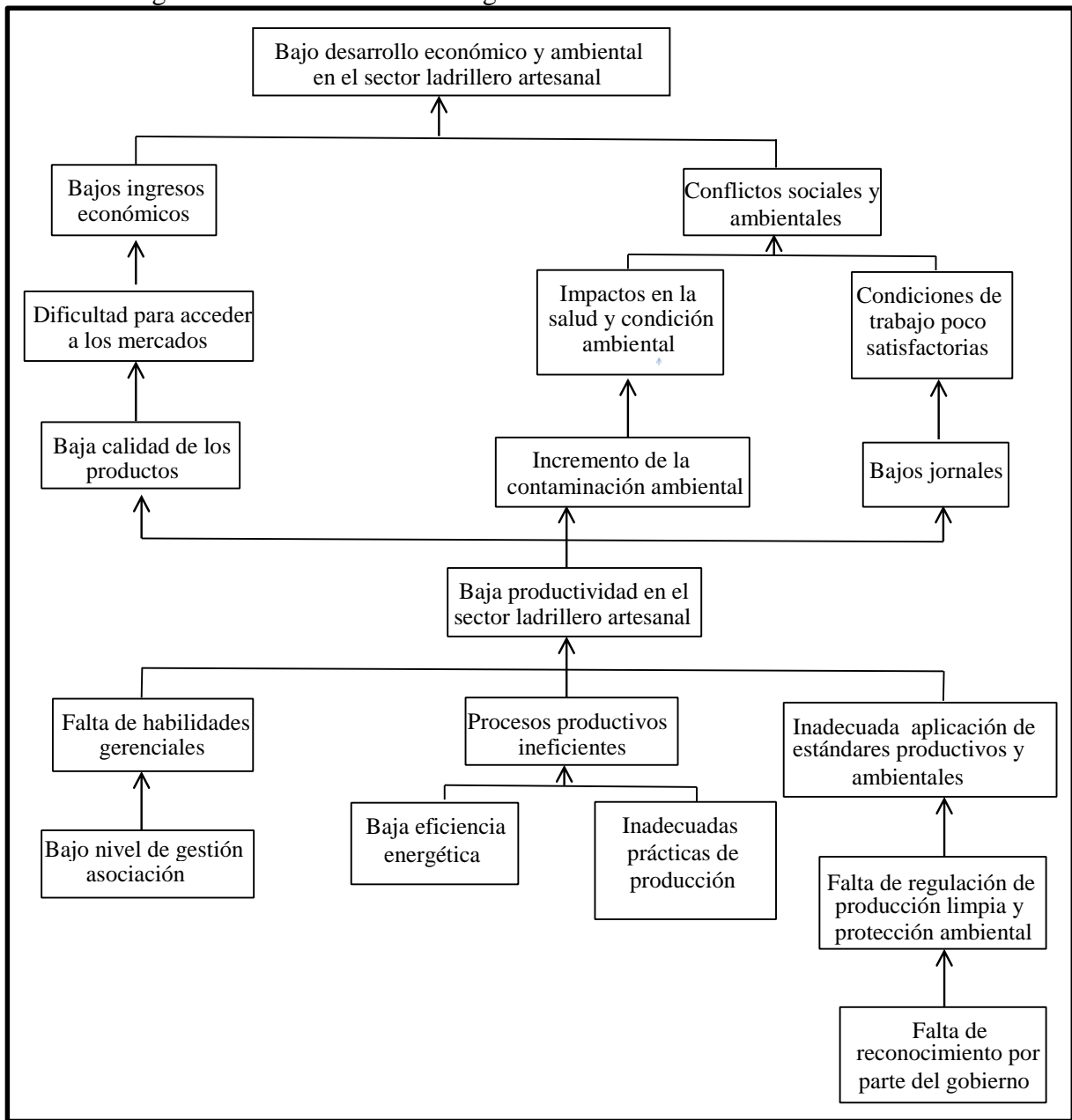
2.2.2.2.3 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA DE ARCILLA COCIDA EN LA CIUDAD DEL CUSCO

La actividad de fabricación de ladrillos es realizada en su mayoría por pequeñas empresas informales y campesinos migrantes que se inician en la actividad, presentan un alto grado de informalidad y utilizan técnicas artesanales para la fabricación de sus productos. (Casado Piñero, 2005)

Si bien no existen estadísticas oficiales, se estima que las empresas artesanales abastecen casi al 100% del mercado en la ciudad del Cusco. Este sector presenta una serie de problemas, entre los cuales se puede mencionar como principales: la baja eficiencia en los hornos empleados, el uso de combustibles inadecuados, la baja calidad de los productos terminados, los deficientes procesos de comercialización y, como consecuencia, la economía precaria en la que se desarrollan estos productores.

De acuerdo con el estudio de la elaboración de ladrillos, realizada por Swisscontact, a través del Programa Regional Aire Limpio (PRAL), para las ciudades de Arequipa y Cusco, se tiene el siguiente diagrama del diagnóstico del sector ladrillero. (Swisscontact, 2009)

Figura 05:
Diagrama Causa-Efecto del Diagnóstico del Sector Ladrillero Artesanal



FUENTE: (Swisscontact, 2008)

Generalmente, las ladrilleras artesanales se instalan en los alrededores de las ciudades, donde la materia prima es accesible, existe suficiente terreno para el horno y las áreas productivas y el mercado se encuentran cerca para vender los productos finales. Por ello, las ladrilleras están mayormente localizadas a lo largo de ambos lados de la trocha carrozable que penetra en la quebrada Oscocoylopampa en el distrito peri urbano de San Jerónimo dentro de la zona de expansión de la ciudad. Otra zona de concentración de menor antigüedad en el mismo distrito es la conocida como Picol al pie del cerro del mismo nombre.

El distrito de San Jerónimo concentra la mayor cantidad de productores de ladrillos, repartido entre las comunidades de Sucso Aucaylle (65%), Pillao Matao (28%) y Pícol Orcopujio (7%). Las zonas de producción cuentan con 215 hornos registrados, hechos artesanalmente con una capacidad que varía entre 7000 a 10000 ladrillos por quema. (Swisscontact, 2008)

La producción de ladrillos se realiza de acuerdo a la Tabla 03:

Tabla 03: Producción de Ladrillos en San Jerónimo, Cusco

Tipo de Producción	Productos	Producción Mensual en San Jerónimo (millares)
Artesanal	Ladrillo Artesanal	913
	Teja Artesanal	343
Mecanizada	Ladrillo 18 huecos	743
	Teja mecanizada	214
	Bloquetas	107
	Pandereta	163
	Pastelero artesanal	10
	Súper King Kong	24

FUENTE: (Swisscontact, 2008)

Los principales problemas dentro de la cadena de producción son: uso indiscriminado de combustibles contaminantes en las quemas, los productos no están estandarizados, la mano de obra no es calificada, se desconoce las características del mercado, la gran parte de ventas se realizan a través de intermediarios, existe una inadecuada estructura de costos, el trabajo es individual y sin coordinación, hay desarticulación y diferencias entre asociaciones, los productores tienen una visión a corto plazo y la mayoría no están formalizados. (Swisscontact, 2008)

2.2.2.2.3.1 Materia Prima de Unidades de Albañilería de arcilla cocida de la ciudad del Cusco

La materia prima primordial en la elaboración de ladrillos es la arcilla; las canteras de este material se encuentran muy cerca de los hornos por lo que los costos de flete son inexistentes o mínimos. La arena es traída desde lugares alejados por no haber canteras en la zona de San Jerónimo y el agua es comprada y abastecida mediante camiones cisternas. Los materiales utilizados como combustible son llantas usadas, jebes, aceites usados, viruta de madera, ramas de eucalipto, leña de eucalipto, cáscaras de café y carbón de piedra. (Casado Piñero, 2005)

Tabla 04: Materia Prima y Procedencia para la Producción de Ladrillos en la Ciudad del Cusco

Materia Prima /Insumo	Procedencia
Arcilla	Comunidades de Sucso Aucaylle, Picol y Pillao Matao
Aserrín	Aserraderos y madereras de la ciudad del Cusco
Ramas de Eucalipto	Anta, Mollepata, Limatambo, Paucartambo Andahaylillas
Cascaras de Café	Provincia de la Convención
Llantas	Llanterías y talleres mecánicos de la ciudad del Cusco

FUENTE: (Swisscontact, 2008)

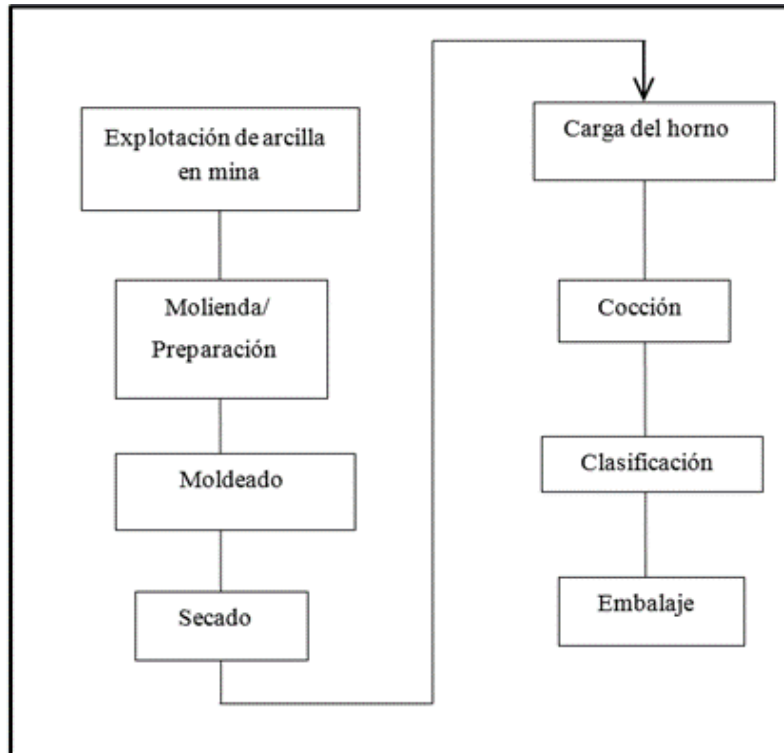
2.2.2.2.3.2 Fabricación de Unidades de Albañilería de arcilla cocida de la ciudad del Cusco

La materia prima es tamizada manualmente, este proceso es efectuado por hombres y mujeres, debido a que el material llega sin ningún control granulométrico. El mezclado es efectuado en pozas en el suelo, en donde es mezclada la arcilla, arena y agua; no existe ningún tipo de control de humedad o densidad de la mezcla, el control es de acuerdo a la experiencia del operador.

El material mezclado es moldeado en moldes metálicos dependiendo del tamaño, forma y uso del ladrillo. Una vez moldeados los ladrillos, son secados al aire libre, colocándolos uno al lado del otro sobre mantas de plástico para que sequen al medio ambiente aprovechando las condiciones climáticas. Cuando llueve, los moldes se cubren con mantas de plástico para protegerlos de la lluvia.

Lo hornos son de geometría circular, se efectúa a cielo abierto, es decir sin que los hornos sean cubiertos, solo se tapan al final para dejarlos enfriar encerrados y evitar la formación de fisuras en los ladrillos por disminución brusca de temperatura. (Casado Piñero, 2005)

Figura 06: Esquema Operativo de la Fabricación de Ladrillos



FUENTE: (Casado Piñero, 2005)

Tabla 05: Materiales y Equipos Usados en la Producción de Ladrillos en la Ciudad Del Cusco

Producción artesanal	Producción mecanizada
Carretillas Palas Picos Moldes	Carretillas Palas Picos Excavadores Procesadoras Extrusoras Chancadoras Soletes Ventiladores Cortadoras

FUENTE: (Swisscontac, 2009)

2.2.2.2.3.3 Impacto ambiental de Unidades de Albañilería de arcilla cocida de la ciudad del Cusco

La contaminación generada por las plantas de fabricación de ladrillos constituye la segunda fuente de contaminación más importante, luego del tráfico vehicular.

Las ladrilleras y tejerías constituyen la fuente estacionaria de mayor emisión de contaminantes aportando el 31.4% del total de CO emitido. (Swisscontact, 2008)

Tabla 06: Emisiones Producto de la Fabricación de Ladrillos en la Ciudad del Cusco

Emisiones de fuentes estacionarios (t/año)	PM10	SOX	NOX	CO	COV	Total
Ladrilleras y tejerías	1067.30	7.96	55.75	5575.44	1831.91	8538.38

FUENTE: (Swisscontact, 2008)

Según (Casado Piñero, 2005) Los factores de influencia en el grado y riesgo de contaminación ambiental por la industria ladrillera son:

- a) La ubicación de la planta productora, ubicada en el distrito de San Jerónimo.
- b) La calidad del aire en la zona donde se ubica la planta, en la cual se observa que la emisión de humo generado por los hornos cada cierto intervalo de tiempo se vuelve más densa y oscura presumiblemente, cuando son quemadas llantas y otros combustibles.
- c) La materia prima que se obtiene de los terrenos adyacentes al horno y patio de secado. La explotación es a cielo abierto removiendo con herramientas manuales el material ubicado en la base de los taludes hasta ocasionar el derrumbe de la parte superior por pérdida de sustento: el material así obtenido se transporta hasta la zona de mezcla en carretillas manuales.
- d) Tipo de combustible utilizado, los cuales son, en su mayoría, hojas y ramas de eucalipto, provenientes de bosques cercanos, aserrín de madera, cáscara de café y llantas.



- e) Tecnología de fabricación empleada o el tipo de horno que son de tipo artesanal de fuego directo, de geometría circular, de tiro natural y semi abiertos a la atmósfera con capacidades desde 6000 hasta 8000 ladrillos por hornada. El material de construcción de los hornos es ladrillo y arcilla sin recubrimientos. La mezcla de ingredientes se realiza en forma empírica, las cantidades se calculan por tanteo, la elaboración de los moldes es manual, el secado se realiza al aire libre.
- f) Sistemas de control, eficiencia y prácticas operativas, todos los controles en las diferentes etapas son manuales y empíricos basados en la experiencia del propietario, lo que no permite mejorar la eficiencia operativa ni garantizar la calidad de los productos.
- g) Condiciones climáticas y configuración topográfica. En la zona de San Jerónimo, el clima es templado con abundante vegetación, la configuración del terreno es el de una quebrada poco profunda. En Picol el terreno es más abierto por estar ubicado en la falda del cerro. La extracción de la materia prima afecta la configuración del terreno y genera impactos negativos como la eliminación de la capa orgánica, erosión e inestabilidad de los taludes y terrenos.

Los principales impactos que genera la actividad de fabricación de ladrillos son sobre la calidad del aire y sobre la morfología del terreno. En el primer caso debido a principalmente a las emisiones de humos procedentes de los hornos en la etapa de cocción que causan efectos directos e indirectos sobre la salud humana, la flora, la fauna, los cuerpos de agua, y contribuyen al cambio climático global. En el segundo caso porque la explotación de las canteras produce excavaciones que no solamente afectan al paisaje sino también la estructura y configuración del terreno ocasionando deforestación, pérdida de la capa productiva del suelo y erosión.

La actividad no genera efluentes de proceso, pero si residuos sólidos inertes constituidos por los escombros cerámicos provenientes de los productos rechazados por rotura o deficiente cocción.

La parte más contaminante y a la vez compleja del proceso artesanal de la elaboración de ladrillos, se centra en la etapa de cocción y principalmente, en el encendido del horno. Para encender el horno se hacen arder llamas usadas de leña en las troneras, dada la mala ventilación de estas se produce un fuego carente de oxígeno, lo que provoca abundante emisión de humos y olores. De acuerdo al tamaño del horno, se procede a cerrar las troneras,

de manera que se produzca una radiación de calor hacia las capas superiores. Es aquí donde se producen emisiones de vapores de agua del ladrillo y olores de emisiones del carbón. Esta última sub etapa no produce emisiones visibles dado que el proceso se realiza en forma muy lenta. Algunos hornos adicionan aserrín o viruta por la parte superior, los cuales se encienden al final del proceso.

Tabla 07: Aspectos Ambientales de la Fabricación de Ladrillos en la Ciudad de Cusco

Etapas	Actividades que generan contaminantes	Tipo de contaminantes
Extracción de arcilla	Extracción con herramientas manuales	Escasas partículas en suspensión Cambios en la morfología del terreno
	Extracción con maquinaria pesada	Abundantes partículas en suspensión Cambios en la morfología del terreno Uso de tierra agrícola
Mezclado	Tamizado y selección Mezcla de arcilla con agua y arena	Partículas en suspensión
Moldeado	No generan contaminantes	Ninguno
Secado	Durante el secado de los moldes al aire libre solo se desprende vapor de agua, el cual es en principio inocuo para la salud. Los moldes defectuosos son reciclados a la etapa de moldeado	Ninguno
Carga del horno	El acomodo de ladrillos resuspende partículas del suelo y de la fricción entre los mismos ladrillos	Partículas en suspensión
Cocción	Uso de combustibles en la cocción de ladrillos: llantas, aceite usado, aserrín de madera, cáscara de café, ramas y leña de eucalipto, carbón de piedra	Partículas en suspensión Dióxido de azufre Dióxido de nitrógeno Compuestos orgánicos volátiles
Clasificación	Descarte de productos rotos, fisurados, mal cocidos	Residuos sólidos inertes
Despacho	Descarte de productos rotos	Residuos sólidos inertes

FUENTE: (Swisscontac, 2009)

2.2.3 SUELO CEMENTO

Es una mezcla de suelo Es una mezcla de suelo, convenientemente pulverizada, con determinadas porciones de agua y cemento que se compacta y cura para obtener mayor densidad. Cuando el cemento se hidrata la mezcla se transforma en un material duro y rígido, los porcentajes de cemento pueden ser del orden del 10% como valor medio, aunque pueden ser valores superiores hasta el 15% dependiendo de la calidad del suelo. Se le usa principalmente como base en los pavimentos de carreteras. (De La Fuente Lavalle, 1995)



La tendencia más reciente es la de identificarlo como suelo tratado con cemento, se tiene conocimiento que este material comenzó a ser utilizado por los constructores al comienzo del uso del cemento Portland, para la confección de pisos y muros. Su aplicación en forma metódica y científica se originó entre 1910 y 1920, de manera casi simultánea e independiente en Estados Unidos e Inglaterra, recibiendo el gran impulso en ocasión de la segunda guerra mundial, al ser utilizado en la construcción de 130 aeropuertos con fines militares. Asimismo, su uso se volvió a ver fortalecido a partir de la crisis energética y económica internacional de 1972, como alternativa de ahorro de energía frente a otros materiales como el acero y el concreto armado. (Begliardo, Sanchez, & Panigatti, 2004)

El suelo cemento es el resultado de una mezcla de suelo pulverizado con determinadas cantidades de cemento Portland y agua que se compactan y curan, para obtener densidades altas y se produzca un endurecimiento más efectivo. De esta forma se obtiene un nuevo material resistente a los esfuerzos de compresión prácticamente impermeable, termo-aislante y estable en el tiempo. (Toirac Corral, 2008)

2.2.3.1 COMPONENTES

2.2.3.1.1 Residuos Solidos

La fabricación rudimentaria de tejas y ladrillos determina que gran parte del material horneado (entre un 10% y 20%) sea descartado y de esta forma se produce una cantidad considerable de desechos sólidos estos son acumulados en diferentes sectores en forma indiscriminada. En zonas aledañas se encuentran en quebradas grandes promontorios de escombros de tejas rotas, que son depositados sin ningún tipo de restricción ni clasificación, botaderos improvisados por todas partes que se mezclan con desechos humanos, provocando fuentes de enfermedades, pues estos se encuentran en medio de las improvisadas viviendas provocando la degradación del suelo, y contaminación general del área.

La reutilización de reciclaje de residuos de la construcción no sólo puede proteger el medio ambiente, reducir su tamaño compacto con el medio ambiente, uso de la administración científica y medida eficaz, sino también ahorrar un montón de fondos para la construcción y los recursos.(Siñami & Mancilla, 2010)

2.2.3.1.1.1 Suelo

El suelo debe tener entre sus componentes la presencia de arena, limo y arcilla aunque los dos últimos deben presentarse en proporciones pequeñas (no mayor de 25%, ambas) para lograr cohesión en la mezcla y buena composición granulométrica con lo que se obtiene una



mezcla de suelo cemento con buenas características y sin que se produzca contracciones bruscas.

Se debe tener presente que mientras más finos y plásticos sean los suelos, mayor contenido de cemento se necesitará para su estabilización; caso contrario ocurrirá si el suelo presenta más gruesos y menos plástico, requerirá menos cantidad de cemento para endurecer la mezcla satisfactoriamente. Sobre la base de lo anterior se tendrá un límite máximo de contenido de cemento para el caso de contenido altos de finos y un límite mínimo de contenido de cemento para el caso de contenidos bajos de finos por lo que dicho límite será fijado definitivamente por pruebas de laboratorio. (De La Fuente Lavalle, 1995)

En los suelos de granos finos como los suelos arcillosos y limosos cuando se mezclan con cemento y agua se producen, durante el período de hidratación, unas fuertes uniones entre dichas partículas minerales para formar una microestructura en forma de un panal de abejas.

Los suelos gruesos están compuestos por arenas y gravas que en sí forman partículas resistentes, poco solubles en el agua y por lo tanto al añadirle pasta de cemento no se logra una integración estructural íntima que transforma dicho suelo como en el caso de los suelos finos. En los suelos gruesos la pasta de cemento forma puentes de unión entre las partículas dejando oquedades irregulares entre ellas. En caso que hubiera una fracción fina dentro de la masa de suelo grueso, existirá una combinación dentro de la microestructura entre el panneloide y el aleatorio. Cuando predomina la fracción gruesa de un suelo, este tendrá siempre un menor consumo de cemento que los suelos finos puros. Las mezclas de suelo cemento como material de construcción de elementos estructurales para edificaciones de cualquier tipo, deben cumplir varios requisitos, entre ellos, ser económicas y tener la suficiente durabilidad y laborabilidad. Esto se cumple en la gran mayoría de los casos cuando existe un predominio de las fracciones gruesas y la suficiente fracción fina que aporta la cohesión necesaria para poder trabajar con esta masa.

Sabemos que con el suelo para ser usado como suelo-cemento no es factible un mapeo a nivel territorial, pues además de ser un material muy heterogéneo en cuanto a sus características, no está en la capa vegetal ni en los estratos geológicos. Por otra parte la justificación de su uso viene dada fundamentalmente por su dualidad de funciones, como material de construcción pero a la vez como emplazamiento de las distintas obras a realizar, fundamentalmente en proyectos de viviendas sub-urbanos ubicados en la periferias de las grandes ciudades y en poblados.



Es por ello que se requiere de un estudio y análisis para su uso en la zona donde se pretenda realizar uno de estos proyectos, tanto de construcción o producción de materiales. (Toirac Corral, 2008)

2.2.3.1.1.1.1 Clasificación de los suelos

Prácticamente todos los suelos pueden ser empleados para producir suelo cemento con la lógica excepción de la capa vegetal, sin embargo, cuando se requiere ejecutar una mezcla con calidad y consumo mínimo de cemento, el número de suelos aptos se reduce. Se consideran suelos aptos para mezclas de suelo-cemento aquellos cuyos consumos de cemento en peso se encuentren entre 5 y 12% con respecto al peso del suelo. Además, que la laborabilidad sea tal que permita la producción de los elementos a fabricar. Con los suelos aptos, el suelo-cemento debe ser estable en la contracción, tener una absorción de agua adecuada y alcanzar las resistencias necesarias en el menor tiempo. (Toirac Corral, 2008)

2.2.3.1.1.1.2 Suelos Eficientes

Estos son los que naturalmente reaccionan perfectamente ante una proporción relativamente pequeña de cemento y entre estos podemos citar:

Suelos arenosos y suelos con grava: Estos suelos cuentan con aproximadamente entre 10% y 35% de limo y arcilla combinados, tienen las características más favorables y generalmente requieren la mínima cantidad de cemento para un endurecimiento adecuado.

Suelos arenosos con deficiencia de partículas finas: Los suelos arenosos con deficiencia de partículas finas, tales como arenas de playas permiten obtener un buen suelo cemento a pesar de que la cantidad de cemento necesario será mayor que para los arenosos normales.

Suelos limosos y arcillosos con baja plasticidad: Permiten preparar un suelo cemento satisfactorio, pero mientras más arcilloso, mayor será el porcentaje de cemento que necesitará nuestra mezcla. (Toirac Corral, 2008)

2.2.3.1.1.1.3 Suelos Deficientes

Son los que naturalmente no reaccionan bien ante una proporción relativamente pequeña de cemento, es decir, necesitan mucho cemento para poder endurecer y entre estos podemos citar:

Suelos limosos y arcillosos con alta plasticidad: Estos necesitan buena cantidad de cemento debido a su alta plasticidad y poca resistencia.

Suelos orgánicos: Son suelos con mucha materia orgánica lo que dificulta mucho el proceso además de que necesitan mucho cemento para poder endurecer no son muy recomendables. (Toirac Corral, 2008).

2.2.3.1.1.1.4 Suelo Ideal

Según (Toirac Corral, 2008) un suelo sería ideal para la mezcla si el volumen de cemento fuera mínimo debido a que las deficiencias del suelo serían mínimas también. El suelo ideal para una mezcla suelo-cemento debe cumplir con las siguientes características para que sea de buen funcionamiento y posea cantidades mínimas de cemento:

- Máximo agregado de arena 80% (óptimo del 55% al 75%)
- Máximo agregado de limo 30% (óptimo 0% al 28%)
- Máximo agregado de arcilla 50% (óptimo 15% al 18%)
- Máximo agregado de materia orgánica 3%
- Debe pasar por un tamiz de 4,8 mm (#4)

2.2.3.1.1.1.5 Sistema de Clasificación HRB

Según (Toirac Corral, 2008) el punto: “Clasificación de los suelos “, existen dos posibilidades para mezclas de suelo-cemento, el método de laboratorio (preciso), y el método de campo (poca precisión)

Según sea la necesidad de clasificar suelos para un plan de construcción de varias obras o que se requiera para una obra aislada, se tomaría el método de laboratorio o de campo respectivamente. Las diferencias fundamentales serían que con los métodos de campo siempre habría que emplear un % de cemento mayor en la mezcla y la garantía de calidad se reduce con relación al método de laboratorio. A continuación se procederá a presentar ambos métodos de clasificación.

- Método de Clasificación Basado en Ensayos de Laboratorio.

Todos los ensayos básicos para clasificar los suelos se realizarán basados en normas y estos son:

- a) Ensayos de granulometría.
- b) Ensayos de límites de consistencia.

El sistema de clasificación a emplear es el HRB (Highway Research Borad, Inglaterra), se puede ver en la Tabla 8 a continuación y también en esta Tabla se pueden observar los ajustes realizados en la clasificación HRB para abarcar las exigencias que determinan las mezclas de suelo-cemento. Este aspecto se trata en el punto “Valoración”.

En la propia Tabla 8 se pueden observar los límites impuestos a las categorías de suelos basados en las pruebas de laboratorios realizadas, así como en lo recomendado por las literaturas internacionales recomendadas



2.2.3.1.1.1.5.1 Suelo A-1

Estos suelos están constituidos por fragmentos de rocas, gravas y arenas, se puede deducir que con estos suelos, por si solos, no se lograrían mezclas económicas y de fácil laborabilidad, ya que prácticamente no existe la fracción fina compuesta por arcillas y limos. Por lo tanto los suelos A-1 se encuentran en aquellos casos en que hay que añadir otro suelo que contengan un elevado contenido de fracción fina (suelo-suelo-cemento). (Toirac Corral, 2008)

2.2.3.1.1.1.5.2 Suelo A-2

Estos son los suelos ideales para producir suelo-cemento debido a su amplia granulometría, ya que contienen casi todas las fracciones; gravas, arenas, limos y arcillas. Dentro de este grupo hay que destacar los suelos A-2-4 como el óptimo que puede entregar la naturaleza. Con estos suelos raras veces se supera el 6% de cemento (en peso) en las mezclas de suelo-cemento para obtener las características deseadas. (Toirac Corral, 2008)

2.2.3.1.1.1.5.3 Suelo A-3

Estos suelos están compuestos por arenas más bien finas (arenas de playa) y tienen las mismas deficiencias que los suelos A-1, la ausencia de una fracción fina (arcillas y limos). Además, por ser arenas finas carecen de una fracción gruesa (gravilla y arena gruesa) y esto puede ser perjudicial en el sentido que habrá una mayor necesidad de pasta de cemento para lograr la mezcla adecuada y por lo tanto se incrementarán los costos por mayor consumo de cemento. (Toirac Corral, 2008)

2.2.3.1.1.1.5.4 Suelos A-4 y A-5

Estos suelos son generalmente limosos ligados con arcillas y arena de fina a media. Para grandes áreas de construcción se requiere mezclar los mismos con suelos más gruesos o incrementar los por cientos de cemento para lograr mezclas adecuadas. (Toirac Corral, 2008)



2.2.3.1.1.1.5.5 Suelos A-6 y A-7

Estos suelos por sus altos contenidos de arcillas resultan muy costosos en las mezclas de suelo-cemento debido a que requieren mayor consumo de cemento, son muy difíciles de secarlos al aire y destruir sus grumos, sufren grandes contracciones al secado produciendo grietas y fisuras, además requieren mucho tiempo para lograr una buena mezcla con el cemento. (Toirac Corral, 2008)



Tabla 08: Sistema de Clasificación de Suelos HBR

Clasificación General	Suelos Granulares (35% o menos pasando el tamiz N° 200)						Suelos Finos (Más del 35% para el tamiz N° 200)				
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7	
GRUPOS	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Porcentaje que pasa el tamiz N°: 10 (2.0 mm) 40(0.42 mm) 200 (0.074 mm)	50 máx.										
	30 máx.	50 máx.	51 mín.								
	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características del material que pasa el tamiz N° 40 Límite Líquido Límite Plástico				40 máx.	41 máx.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
		6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
ÍNDICE DE GRUPO	0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
TIPO DE MATERIAL	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena Fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas			Suelos limosos		Suelos arcillosos		
VALORACIÓN	Bueno , requiere adición de suelo fino para hacerlo laborable		Requiere añadir suelos finos	Excelente	Buenos			Regular		No es recomendable su uso por requerir elevados consumos de cementos	

FUENTE: (Toirac Corral, 2008)

2.2.3.1.1.2 Mezcla de Suelos

Como regla general, cualquier suelo puede ser empleado para obtener suelo cemento. Cuando los suelos que abundan en una determinada zona no cumplen con la granulometría especificada, por exceso o defecto de alguna fracción (fina o gruesa) siempre es posible añadir otro suelo para lograr la mezcla deseada. De esta forma se obtiene un nuevo suelo que sí nos cumple con el rango granulométrico (sin exceder los requisitos de plasticidad) y es apto para obtener una buena mezcla. (Toirac Corral, 2008)

2.2.3.1.1.2.1 Método Analítico

La composición de una mezcla de dos suelos consiste en: dado dos suelos A y B, cuyas granulometrías sean conocidas, obtener una mezcla con porcentos P1, P2, P3, ..., Pk que pasa por los tamices 1, 2, 3, ..., k y se encuentre dentro de los intervalos especificados, I1 - L1, I2 - L2, I3 - L3, ..., Ik - Lk.

De tal forma que:

I1 ≤ P1 ≤ L1 I2 ≤ P2 ≤ L2

I3 ≤ P3 ≤ L3

.....

Ik ≤ Pk ≤ Lk

Tabla 09: Granulometría de Dos Suelos

Tamiz	% que pasa Suelo A	% que pasa Suelo B	Especificaciones
1	A1	B1	I1 - L1
2	A2	B2	I2 - L2
3	A3	B3	I3 - L3
.	.	.	.
.	.	.	.
k	Ak	Bk	Ik - Lk

FUENTE: (Toirac Corral, 2008)

De manera que:

Im ≤ Pm ≤ Lm

El por ciento P del suelo que pasa en un determinado tamiz m, puede ser obtenido por la expresión:

Pm = a.PA + b.PB

Donde:



PA, PB = Por ciento de los suelos A y B que pasan por un determinado tamiz. a = Parte del suelo A en la mezcla (% en peso). b = Parte del suelo B en la mezcla (% en peso).

Para 1 kg de material, puede escribirse:

$$a + b = 1$$

Para un tamiz x, sean PA y PB los por cientos de los suelos A y B que pasan dicho tamiz el por ciento en la mezcla M. Si Px y Py fueran los por cientos mínimos y máximos indicados por las especificaciones para el tamaño menor del tamiz x, se tiene:

$$P_x \leq a.PA + b.PB = P_m \leq P_y$$

Y como $b = 1 - a$, sustituyendo en la ecuación anterior se tiene:

$$\frac{P_x - P_B}{P_A - P_B} \leq a \leq \frac{P_y - P_B}{P_A - P_B}$$

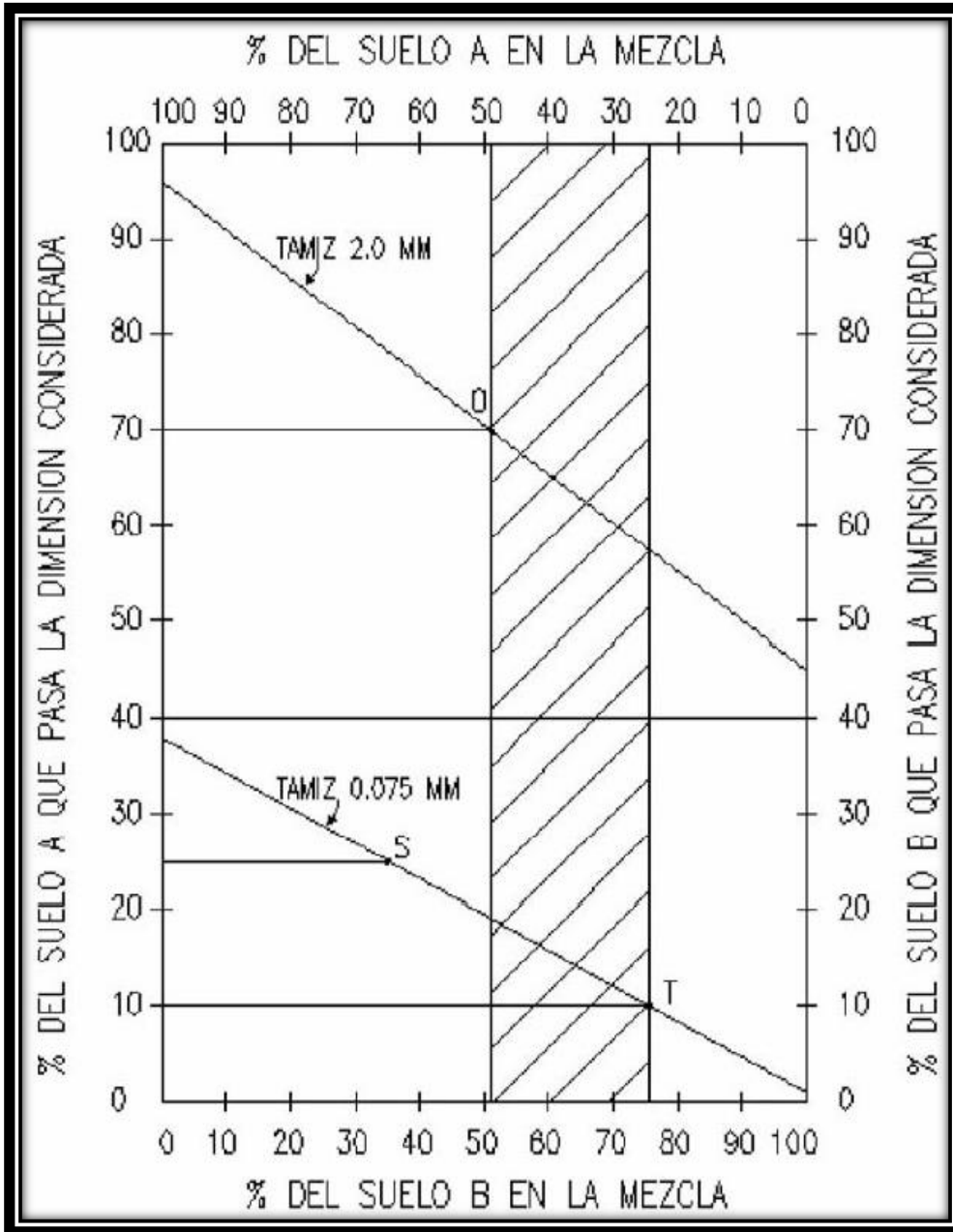
El valor de b se puede obtener por diferencias.

Una vez conocidos los por cientos de A y B se sustituyen en la ecuación de Pm, para obtener los por cientos de la mezcla. (Toirac Corral, 2008)

2.2.3.1.1.2.2 Método Grafico

El gráfico a emplear es de cuatro escalas lineales, dos verticales y dos horizontales. En las escalas verticales se fijan los por cientos de los suelos A y B que pasan los diferentes tamices. En las escalas horizontales se sitúan las cantidades determinadas de los suelos A y B para conformar la mezcla deseada. La solución gráfica permite determinar todos los por cientos de la mezcla de suelo que pasan los diferentes tamices. Esto significa que su granulometría, una vez fijada las proporciones de A y B, da como resultado el suelo M.

Figura 07: Determinación de los Porcentajes de Suelos a Utilizar en la Mezcla



FUENTE: (Toirac Corral, 2008)

2.2.3.1.1.3 ENSAYOS PARA LA CLASIFICACIÓN DEL SUELO

Existen dos vías para proceder a la clasificación de los suelos, la primera y más precisa, es por medio de ensayos físicos de laboratorio. La segunda, mucho menos precisa, es por medios de ensayos elementales de campo que no requieren una tecnología especializada.

La primera variante debe ser la de mayor utilización debido a que con una debida clasificación prácticamente se garantiza la calidad requerida de la mezcla con un mínimo

consumo de cemento. Sin embargo, pueden existir constructores aislados que por razones del poco volumen de construcción a realizar consideren más práctico utilizar la clasificación de campo y por ende emplear la segunda variante.

Según sea la necesidad de clasificar suelos para un plan de construcción de varias obras o que se requiera para una obra aislada, se tomaría el método de laboratorio o de campo respectivamente. Las diferencias fundamentales serían que con los métodos de campo siempre habría que emplear un porcentaje de cemento mayor en la mezcla y la garantía de calidad se reduce con relación al método de laboratorio. (Toirac Corral, 2008)

2.2.3.1.1.3.1 Ensayos de Laboratorio

2.2.3.1.1.3.1.1 Ensayo de Granulometría

Para (Toirac Corral, 2008) generalmente los suelos aptos son aquellos que tienen tales proporciones de suelos gruesos y finos que producen una granulometría abierta, sin predominio excesivo de un determinado tamaño. De igual forma su plasticidad debe ser tal que aporte una determinada cohesión a la mezcla, lo que mejora la laborabilidad y aumenta el aislamiento térmico sin que se produzcan agrietamientos por contracción. El rango granulométrico del suelo en porcentaje pasado expresado garantiza las buenas propiedades del suelo cemento.

Tabla 10:
Distribución Granulométrica de Suelos Aptos para Suelo Cemento

Tamiz	Porcentaje que pasa
3"	100
N° 4	100 - 50
N° 40	100 - 15
N° 200	50 - 10

FUENTE: (Toirac Corral, 2008)

2.2.3.1.1.3.1.2 Ensayo de Límites de Consistencia

Según (Toirac Corral, 2008) los límites de plasticidad lo fijan el límite líquido y el límite plástico del suelo. Ambos límites están representados por un por ciento de humedad y tiene el siguiente significado físico:

Límite líquido: Por ciento de humedad en que el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido. En otras palabras el límite líquido refleja el punto (porcentaje de humedad) en que el suelo comienza a fluir como un líquido.

Limite plástico: Por ciento de humedad en que el suelo pasa de un estado rígido (elástico) a un estado plástico.

Con la resta aritmética de ambos límites se obtiene el índice plástico o rango de humedades en que el suelo se comporta plásticamente.

Estos límites dependen no solo del contenido de arcilla sino de su tipo y rango admisible para mezclas de suelo-cemento. Se fija como sigue:

- Limite líquido $< 45\%$
- Limite plástico $< 18\%$

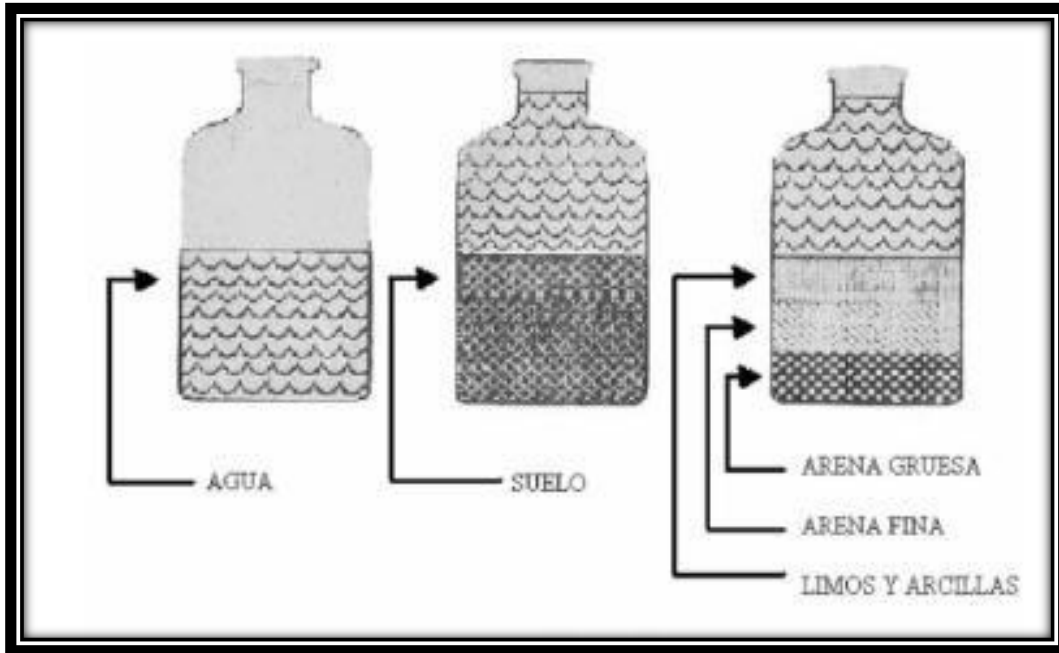
2.2.3.1.1.3.2 Ensayos de Campo

Los procedimientos o ensayos que pueden realizarse sin tecnología especializada y a pie de obra, más que clasificar los suelos, permiten identificarlos. Estos ensayos tienen su mayor valor para poder llevar a cabo un control de calidad del suelo que se emplea en la mezcla, considerando que tanto el cemento como el agua sean constantes ya que sus propiedades varían muy poco en comparación con el suelo. (Toirac Corral, 2008)

2.2.3.1.1.3.2.1 Ensayo de la botella de sedimentación

El ensayo de la botella de sedimentación, permite obtener información sobre el contenido granulométrico del suelo, de forma aproximada. Se requiere para realizar este ensayo un frasco transparente de boca ancha, fondo plano y lados rectos. Se llena primeramente el pomo hasta un tercio de su altura con agua limpia, después se añade un volumen equivalente de una muestra representativa del suelo (secado al aire y eliminadas las fracciones superiores a 5 mm) en el pomo con agua. Finalmente se añade una cucharadita de sal común y se tapa herméticamente el pomo para proceder a batir la mezcla por uno tres minutos aproximadamente para que la sal (que trabaja como defloculante) pueda separar todas las partículas finas del suelo. Concluido el batido, se deja reposar la mezcla 30 minutos sobre una mesa.

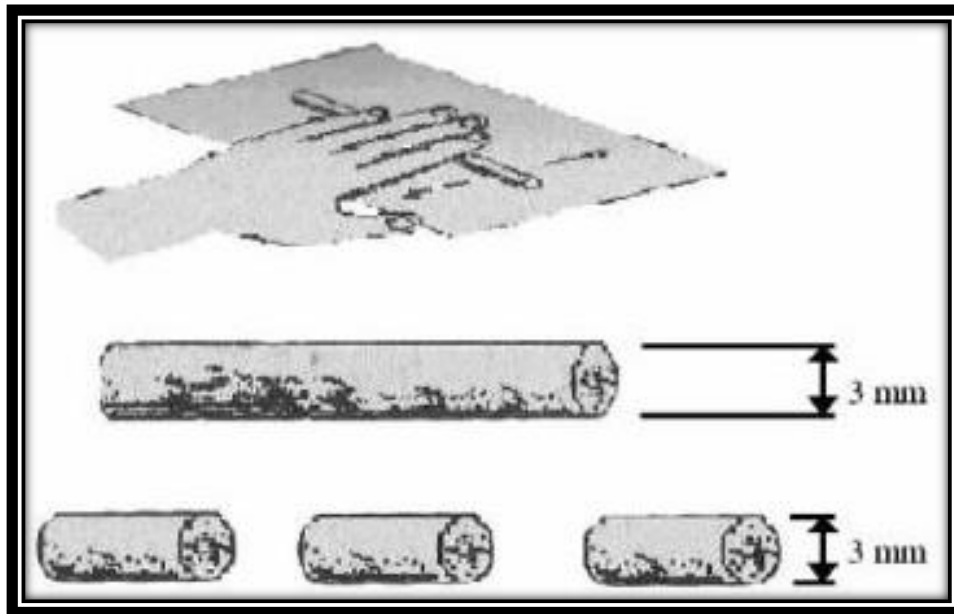
Se repite la operación de batido por segunda vez, durante unos dos minutos y se somete a reposo sobre la mesa. Unos minutos después, el agua comenzará a aclararse, las partículas descenderán más despacio y por lo tanto se depositaran en la parte superior sobre las partículas más gruesas. Se observaran claramente de dos a tres capas, arenas gruesas, finas y posiblemente limos y arcillas. De esta forma se puede medir la altura total de la muestra y la de las capas individuales. (Toirac Corral, 2008)

Figura 08: Ensayo de la Botella de Sedimentación

FUENTE: (Toirac Corral, 2008)

2.2.3.1.1.3.2.2 Ensayo del bastoncillo

Para determinar aproximadamente la plasticidad de un suelo fino y por ende su contenido mayor o menor de arcilla se emplea el denominado “ensayo del bastoncillo”. Este ensayo consiste en tomar la fracción fina de un suelo secado al aire y proceder a añadirle agua hasta que el suelo pueda moldearse como plastilina. Inmediatamente después se pasa a fabricar un “bastoncillo” sobre una superficie lisa y plana con la palma o dedos de la mano. Si al alcanzar un diámetro de 3 mm, el “bastoncillo” no se ha agrietado o fracturado, se estará en presencia de un suelo altamente plástico, lo que implica un contenido elevado de arcilla contrario si el “bastoncillo” se fractura antes o en el momento de alcanzar los 3 mm, se estará en presencia de un suelo poco plástico o limoso. (Toirac Corral, 2008)

Figura 09: Ensayo del Bastoncillo

FUENTE: (Toirac Corral, 2008)

2.2.3.1.2 CEMENTO

. Material pulverizado que por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta aglomerante capaz de endurecer, ya sea sólo o en combinación con arena, piedra u otros materiales similares, tiene la propiedad de combinarse lentamente hasta formar una masa endurecida. (ICG (Instituto de la Construcción y Gerencia), 2006)

El cemento aglomerante puede ser cualquiera de los cementos comunes o puzolánicos, la resistencia a la compresión es mayor cuanto mayor sea la cantidad de cemento, la proporción estará ubicada entre las relaciones de 1:10 a 1:15 cemento- tierra. (AGUILAR, 2002)

Constituye el medio estabilizante, mejora las condiciones del suelo respecto a la acción de agentes como la humedad, dándole características de estabilidad y resistencia. Se emplea generalmente el gris normal, denominado Portland, provisto por la industria, no excluyendo la posibilidad del empleo de otros tipos de cemento. La dosificación del aglutinante debe ser realizada en unidades de peso en relación a la cantidad de suelo empleado para la mezcla. Esto depende en gran medida del sistema de compactación adoptado. (Gatani, 2000)

En cuanto al cemento, todo aquel del tipo Portland es apto; frente a la presencia de sulfatos, se debe recurrir a cementos con propiedades especiales, puesto que influyen decididamente en la durabilidad y resistencia a la compresión simple. Asimismo, está comprobado que los

cementos expansivos, contribuyen a reducir la fisuración cuando el suelo está compuesto de un significativo porcentaje de finos plásticos. (Begliardo, Sanchez, & Panigatti, 2004)

El empleo de los cementos en demasía no tiene gran influencia en la resistencia mecánica ya que esta última está más vinculada a la compactación. Esto permite recomendar el empleo del tipo I, por no requerir altos valores de resistencia mecánica a edades tempranas. De existir cementos con contenidos de adición puzolánica favorecerían el alcance de mayor resistencia de los elementos de suelo cemento en el tiempo, por la formación de productos de hidratación con la cal libre presente en los suelos, además de la ventaja que representa un cemento de menor costo energético traducido en precio. (Toirac Corral, 2008)

Tabla 11: Principales Componentes del Cemento

NOMBRE DEL COMPUESTO	FÓRMULA QUÍMICA	ABREVIATURA
Silicato Tricálcico	$3CaO.SiO_2$	C_3S
Silicato dicálcico	$2CaO.SiO_2$	C_2S
Aluminato Tricálcico	$3CaO.Al_2O_2$	C_3A
Ferro aluminato Tetracálcico	$4CaOAl_2O_2Fe_2O_2$	C_4AF
Yeso Natural	$CaSO_4.2H_2O$	
Óxidos menores de Ca, Mg, Na, K, Mn, Tl, P, Fe	-	-

FUENTE: (GUTIÉRREZ, 2003)

a. SILICATO TRICÁLCICO

. El silicato tricálcico es el más rico en cal. Por su gran velocidad de hidratación y rápido endurecimiento, los cementos ricos en silicato tricálcico permite obtener morteros y concretos con altas resistencias. (Polanco Rodríguez, 2012)

b. SILICATO DICÁLCICO

. El Silicato Dicálcico se compone de cal y de ácido silícico, siendo muy adecuados para las construcciones masivas, en climas cálidos. (Céspedes García, 2003)

c. ALUMINATO TRICÁLCICO

. El Aluminato Tricálcico los aluminatos son los compuestos del cemento que primero reaccionan con el agua.

El aluminato tricálcico contribuye al desarrollo de resistencia durante las primeras 24 horas. (Polanco Rodríguez, 2012)

d. FERRO ALUMINATO TETRACÁLCICO

.Después de los álcalis, los aluminatos son los primeros componentes del cemento que entran en reacción con el agua.

Se puede observar una ligera tendencia a la contracción. (Abanto F. , 1996)

e. YESO NATURAL

. Una pequeña adición de yeso elimina el inconveniente de fraguado rápido. La molienda conjunta del Clinker y el yeso, con el resultado final del cemento, permite una regulación del tiempo de fraguado. (Rivva, 1992)

2.2.3.1.2.1 TIPOS DE CEMENTOS

La norma establece ocho diferentes tipos de cemento, de acuerdo a los usos y necesidades del mercado de la construcción: (NTP 334.090 Cemento Portland - Requisitos, 2013)

2.2.3.1.2.1.1 TIPO I

Este tipo de cemento es de uso general, y se emplea cuando no se requiere de propiedades y características especiales.

- Entre los usos donde se emplea este tipo de cemento están: pisos, pavimentos, edificios, estructuras, elementos prefabricados.

TIPO IP : Puede ser utilizado en cualquier tipo de obras de infraestructura y construcción en general especialmente para obras de alta exigencia de durabilidad por los componentes que se emplea en su producción el concreto mejora su resistencia e impermeabilidad y también puede resistir la acción del intemperismo ,ataques químicos(aguas saladas,sulfatadas,acidadas,desechosindustriales,reacciones químicas en los agregados etc.),abrasión u otros tipos de deterioro. (Yura S.A, 2012-2015)

PRINCIPALES PROPIEDADES DEL CEMENTO PORTLAND IP:

- **MAYOR RESISTENCIA A LA COMPRESION:** La puzolana reacciona con el hidróxido de calcio,produciendo mas silicatos de calcio, lo que otorga mayor resistencia ,sellando los poros haciendo el concreto más impermeable
- **RESISTENCIA AL ATAQUE DE SULFATOS:** La puzolana fija el hidróxido de calcio ,que este liberado en la hidratación reacciona con los sulfatos produciendo sulfato de calcio dihidratado que genera una expansión del 18% del sólido y produce también etringita que es el compuesto causante de la fisuración del concreto
- **MAYOR IMPERMEABILIDAD:** Por la alta presencia de silicatos cálcicos

- **DISMINUYE LA REACCIÓN NOCIVA ÁLCALI -AGREGADO:** La puzolana remueve los álcalis de la pasta de cemento antes que estos puedan reaccionar con los agregados evitando así la fisuración del concreto.
- **MENOS CALOR DE HIDRATACION:** La puzolana al reaccionar con el hidróxido de calcio inhibe la reacción que se produce en la hidratación del cemento ,generando menos calor de hidratación

2.2.3.1.2.1.2 TIPO II

De moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación. Especialmente adecuados para ser empleados en estructuras en ambientes agresivos y/o vaciados masivos.

2.2.3.1.2.1.3 TIPO III

Su utilización se debe a necesidades específicas de la construcción, cuando se requiere altas resistencias iniciales.

2.2.3.1.2.1.4 TIPO IV

Para emplearse cuando se desea bajo calor de hidratación.

2.2.3.1.2.1.5 TIPO V (ASTM C 595 CEMENTOS PORTLAND ADICIONADOS)

De bajo calor de hidratación, recomendables para concretos masivos.

2.2.3.1.3 AGUA

. Numerosos experimentadores han realizado trabajos de investigación sobre la importancia de la cantidad de agua que debe contener una mezcla de cemento. (SIKA Perú S.A., 2001)

2.2.3.1.3.1 REQUISITOS DE CALIDAD DE AGUA

.El agua empleada en la preparación y curado del concreto deberá ser, de preferencia, potable. (NTP 339.088 Agua para el Concreto)

Tabla 12: Contenido Máximo de Sustancias Disueltas en el Agua de Mezcla

DESCRIPCIÓN	LÍMITE PERMISIBLE		
Sólidos en suspensión (residuo insoluble)	5000	ppm	Máximo
Materia orgánica	3	ppm	Máximo
Alcalinidad (NaHCO ₃)	1000	ppm	Máximo
Sulfatos (ion SO ₄)	600	ppm	Máximo
Cloruros (ion Cl)	1000	ppm	Máximo
PH	5 a 8		Máximo

FUENTE: NTP 339.088

Se utilizará aguas no potables sólo si:

- Están limpias y libres de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica u otras sustancias que puedan ser dañinas al concreto, acero de refuerzo o elementos embebidos.
- Al seleccionar el agua deberá recordarse, que aquellas con altas concentraciones de sales deben ser evitadas, debido a que afectan el tiempo de fraguado, y corrosión del acero de refuerzo.

2.2.3.1.3.2 AGUA DE MEZCLA

El agua de mezcla en el concreto tiene tres funciones principales:

- Reaccionar con el cemento para hidratarlo.
- Actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad del conjunto.
- Procurar la estructura de vacíos necesaria en la pasta para que los productos de hidratación tengan espacio para desarrollarse.

El problema principal del agua de mezcla reside en las impurezas y la cantidad de éstas, que ocasionan reacciones químicas que alteran el comportamiento normal de la pasta de cemento. (Pasquel Carbajal, 1998)

2.2.3.1.3.3 AGUA PARA EL CURADO

En general, los mismos requisitos que se exigen para el agua de mezcla deben ser cumplidos por las aguas para curado, y por otro lado en las obras es usual emplear la misma fuente de suministro de agua tanto para la preparación como para el curado del concreto. (ASTM C 192-02)

El agua tiene como funciones principales:

- Hidratar el cemento para producir la aglutinación de las partículas sólidas.
- Producir la lubricación entre las partículas para facilitar la compactación.

La cantidad de agua varía comúnmente entre el 10 y 20% del peso seco de la mezcla en suelo plásticos y menores del 10% en los granulares. (De La Fuente Lavalle, 1995)

La función del agua del agua es hacer reaccionar al cemento y contribuir a la máxima compactación del suelo. El agua a añadir a la mezcla debe ser limpia y no contener materiales en suspensión o en disolución tales como sulfatos, cloruros, o materias orgánicas. Es determinante el control de calidad de la cantidad de agua, ya que si resulta excesivamente húmeda o, por el contrario, seca, ambos estados se reflejan en la trabajabilidad del material y,



posteriormente, en el acabado superficial, la resistencia y durabilidad del mismo. (Gatani, 2000)

No existen grandes limitaciones para el uso de agua en las mezclas de suelo cemento, cualquier agua potable es apta para emplear en dichas mezclas. (Toirac Corral, 2008)

2.2.3.1.3.4 TIPOS DE CURADO (NEVILLE, 1988)

Existen diversos materiales, métodos y procedimientos para el curado del concreto, de los cuales solo se mencionará algunos.

a. Curado con agua

Cuando se elige la aplicación de agua, debe ser cubierta totalmente y libre de materiales perjudiciales para el concreto.

A continuación se describen varios métodos de curado con agua:

a.1. Inmersión

Es el método más completo de curado. Se usa cuando se trata de losas para pisos, puentes o pavimentos, techos planos (azoteas), es decir, en cualquier lugar donde sea posible almacenar agua con una altura pequeña.

a.2 Rociado de niebla o aspersion

El rociado de niebla o aspersion mediante boquilla o aspersores proporciona un curado excelente cuando la temperatura es bastante superior a la congelación.

b. Curado con tierra

Se emplea especialmente en trabajos comparativamente más pequeños que losas o pisos. Lo importante es que la tierra esté libre de partículas mayores de 25 mm y que no contenga cantidades peligrosas de materia orgánica.

2.2.3.1.3.5 AGUAS NO RECOMENDABLES

- La presencia de sal en el agua, reducen resistencia inicial.
- La presencia de ácidos, álcalis, residuos industriales, alcantarillado sanitario y agua con el azúcar también reducen la resistencia del concreto.
- La presencia de partículas de limo o suspendidos en el agua tiene un efecto adverso sobre la resistencia del concreto.
- La presencia de petróleo, como aceite de linaza, aceite vegetal o aceite mineral en el agua por encima del 2% reduce la resistencia del concreto hasta un 25%.
- La presencia de algas o el crecimiento vegetal en el agua utilizada para la mezcla y reducir la resistencia del hormigón y también reducir considerablemente el vínculo entre la pasta de cemento y agregados. (Mendoza Huarachi, 2011).

2.2.3.1.4 AGREGADOS

Conjunto de partículas de origen artificial o natural que pueden ser tratadas o elaboradas y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por la Norma ASTM C-33.

Material granular, generalmente inerte, resultante de la desintegración natural y desgaste de las rocas o que se obtiene mediante la trituración de ellas, de escorias siderúrgicas o de otros materiales suficientemente duros que permiten obtener partículas de forma y tamaño estables. (Quiroz & L., 2006)

Los agregados son materiales pétreos Naturales seleccionados; materiales sujetos a tratamientos de disgregación, cribado, trituración o lavado, o materiales producidos por expansión, calcinación o fusión, que se mezcla con cemento Portland y agua para formar concreto. (Secretaría de Comunicaciones y Transporte- México., 2002).

2.2.3.1.4.1 CLASIFICACIÓN DE AGREGADOS

Existen varias formas de clasificar a los agregados, algunas de las cuales se presentarán a continuación.

2.2.3.1.4.1.1 POR SU NATURALEZA (NTP 400.037)

a. Agregado Grueso

Según la norma, define como el material retenido en el tamiz N° 4 (4.75 mm), proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas y que cumple con los límites establecidos en la norma citada, el agregado grueso puede ser grava, piedra chancada, etc.

b. Agregado fino

Se define como aquel que pasa el tamiz de 3/8" y queda retenida en el tamiz N° 200, el más usual es la arena producto resultante de la desintegración de las rocas.

2.2.3.1.4.1.2 POR SU PROCEDENCIA

Tenemos clasificación según (Pasquel Carbajal, 1998)

a. Agregados naturales.

Son los formados por los procesos geológicos naturales que han ocurrido en el planeta durante miles de años, y que son extraídos, seleccionados y procesados para optimizar su empleo en la producción de concreto como las rocas y minerales que constituyen los agregados para concreto.

b. Agregados Artificiales.

Proviene de un proceso de transformación de materiales naturales, que proveen productos secundarios que con un tratamiento adicional se habilitan para emplearse en la producción de concreto. El potencial de uso de estos materiales es muy amplio, en la medida que se van investigando y desarrollando otros materiales y sus aplicaciones en concreto, por lo

que a nivel mundial hay una tendencia muy marcada hacia progresar en este sentido de desarrollar materiales artificiales en aquellas regiones, estimulando en las Universidades la investigación orientada hacia la solución técnica y económica de estos problemas.

2.2.3.1.4.1.3 POR SU GRADACIÓN

Se ha establecido convencionalmente la clasificación entre agregado grueso (piedra) y agregado fino (arena) en función de las partículas mayores y las menores de 4.75 mm (Malla # 4). Esta clasificación responde además a consideraciones de tipo práctico ya que las técnicas de procesamiento de los agregados (zarandeo, chancado) propenden a separarlos en esta forma con objeto de poder establecer un control más preciso en su procesamiento y empleo. (Rivva Lopez, 2000)

2.2.3.1.4.1.4 POR SU DENSIDAD

Entendiendo densidad como la Gravedad específica, es decir el peso entre el volumen de sólidos referido a la densidad del agua, se acostumbra clasificarlos en normales con $G_e = 2.5$ a 2.75 , ligeros con $G_e < 2.5$ y pesados con $G_e > 2.75$. Cada uno de ellos marca comportamientos diversos en relación al concreto, habiéndose establecido técnicas y métodos de diseño y uso para cada caso. (Rivva Lopez, 2000)

2.2.3.1.4.1.5 NORMAS Y REQUISITOS PARA AGREGADOS

Los agregados que no cumplan con algunos de los requisitos indicados podrán ser utilizados siempre que el Constructor demuestre, por pruebas de laboratorio o experiencia de obras, que puedan producir concreto de las propiedades requeridas.

Los agregados fino y grueso deberán ser manejados como materiales independientes. Cada una de ellos deberá ser procesado, transportado, manipulado, almacenado y pesado de manera tal que la pérdida de finos sea mínima, que mantengan su uniformidad, que no se produzca contaminación por sustancias extrañas y que no se presente rotura o segregación importante en ellos. (RNE 060 Cap. 2 Materiales - Los agregados, 2006)

2.2.3.1.4.2 AGREGADOS FINOS

2.2.3.1.4.2.1 GRANULOMETRÍA

El agregado fino podrá consistir de arena natural o manufacturada, o una combinación de ambas. Sus partículas serán limpias, de perfil preferentemente angular, duro, compactas y

resistentes; debiendo estar libre de partículas escamosas, materia orgánica u otras sustancias dañinas. (ASTM C 33, 2003)

Tabla 13: Límites Granulométricos para Agregado Fino Astm C33

MALLA	LÍMITE DE PORCENTAJE QUE PASA ASTM C33
3/8" (9.50 mm)	100
N°4 (4.75 mm)	95 - 100
N°8 (2.36 mm)	80 - 100
N°16 (1.18 mm)	50 - 85
N°30 (600 micrones)	25 - 60
N°50 (300 micrones)	10 - 30
N°100 (150 micrones)	2 - 10
N° 200 (74 micrones)	0

FUENTE: (ASTM C 33, 2003)

2.2.3.1.4.2.2 MÓDULO DE FINEZA

El módulo de fineza es un índice del mayor o menor grosor del conjunto de partículas de un agregado. Se define como la suma de los porcentajes acumulados retenidos en las mallas de 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N° 4, N°8, N° 16, N° 30, N°50, N°100; dividida entre 100. (Rivva Lopez, 2000)

Se usa como un índice de control de uniformidad de materiales.

$$MF = \sum \frac{\% (3 + 1\frac{1}{2} + 3/4 + 3/8 + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

2.2.3.1.4.2.3 MATERIAL MÁS FINO QUE LA MALLA # 200

.Tiene trascendencia en la adherencia entre el agregado y la pasta. Por otro lado, las mezclas requieren una mayor cantidad de agua, lo cual el material más fino que la malla # 200 baja la relación Agua/Cemento y/o optimiza la granulometría. (Pasquel Carbajal, 1998)

2.2.3.2 DISEÑO DE MEZCLA DE SUELO CEMENTO

2.2.3.2.1 DOSIFICACIÓN DEL CEMENTO

Recomienda los porcentajes recomendados según el tipo de suelo de acuerdo a la clasificación HRB

Tabla 14: Por Ciento de Cemento Recomendado Según Clasificación Hrb

POR CIENTO DE CEMENTO RECOMENDADO			
TIPO DE SUELO HRB	RANGOS PROMEDIOS DE CEMENTO		RECOMENDADO EN % DE PESO
	% POR VOLUMEN	% POR PESO	
A-1-a	5 -7	3 -5	5
A-1-b	7 -9	5 -8	6
A-2	7 -10	5-9	7
A-3	8 -12	7 -11	9
A-4	8 -12	7 -11	10
A-5	8 -12	8 - 13	10
A-6	10 - 14	9 - 15	12
A-7	10 -14	10 -16	13

FUENTE: (Toirac Corral, 2008)

A-6 y A-7, no son recomendables por razones económicas. Asimismo, de acuerdo a la calificación cualitativa de suelos eficientes y suelos no eficientes para realizar mezclas de suelo-cemento, se presenta la siguiente Tabla que posee la cantidad porcentual de cemento que debe tener la mezcla según el tipo de suelo que poseemos. (Toirac Corral, 2008)

Tabla 15: Por Ciento de Cemento de Acuerdo el Tipo de Suelo

TIPO DE SUELO	CANTIDAD DEL CEMENTO (%)
Roca triturada, grava con arena y arcilla bien graduada	0.5 -2
Arena bien graduada	2-4
Arena pobremente graduada	4-6
Arcilla arenosa	4-6
Arcilla limosa	6-8
Arcilla con plasticidad media	8 - 12
Arcilla con plasticidad alta	12 - 15
Suelos orgánicos	10- 15

FUENTE: (Toirac Corral, 2008)

2.2.3.2.2 HUMEDAD OPTIMA

Según (Toirac Corral, 2008) para proceder al diseño de mezcla de suelo-cemento es preciso preparar el suelo de forma tal que cuando se añada el cemento y el agua se logre una mezcla homogénea. Esto se obtiene distribuyendo el suelo en una plataforma plana para que el agua natural que contiene se vaya perdiendo y permita la destrucción de los grumos.

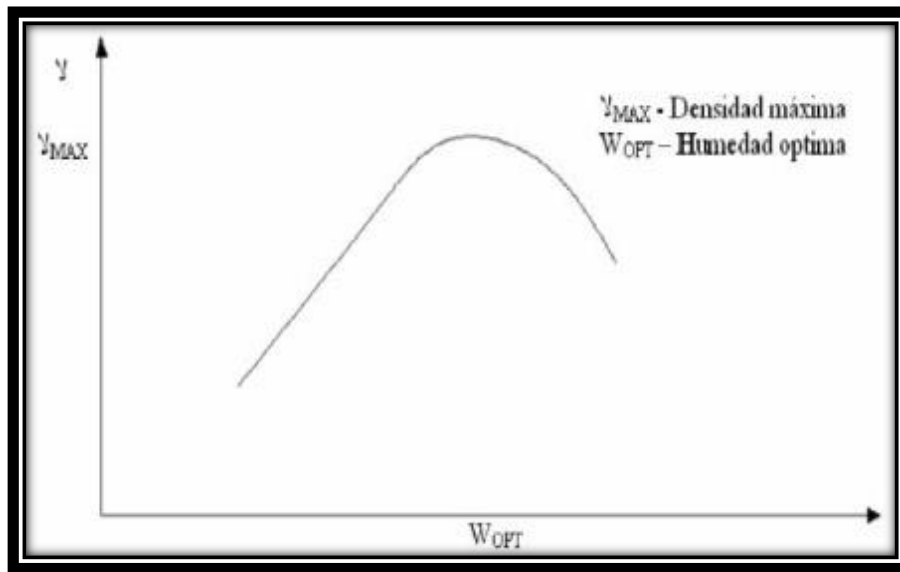


Paulatinamente el suelo irá adquiriendo una coloración pareja, si el suelo contiene la necesaria fracción fina este paso se logra con relativa rapidez de uno a dos días. La mezcla de suelo-cemento se comportará de forma similar al suelo natural que la compone, queriendo decir, que alcanzará su densidad máxima al ser compactado, cuando el mismo alcance el contenido de humedad equivalente a la humedad óptima, ambos determinados en el ensayo Proctor. La humedad que tendrá el suelo al ser secado al aire será la llamada humedad higroscópica. Esta humedad tiene que tomarse en cuenta cuando se determine, sea por peso o por volumen, la cantidad de agua a añadir para obtener la humedad óptima. Dicho en otras palabras, la densidad máxima está representada por el mayor peso por unidad de volumen que se puede conseguir en una muestra de suelo, logrando esto por compactación, y para lograr una máxima compactación se necesita la humedad óptima, pasando de estado seco a plástico, aplicando carga y reduciendo el volumen de aire en el suelo.

En los suelos arcillosos, por tener poros muy pequeños, el tiempo de secado que requieren es bastante prolongado, sin embargo, necesario para poder proceder a su pulverización (destrucción de los grumos de arcilla). Solo con una buena pulverización es posible obtener buenas mezclas en que el cemento sea bien distribuido en toda la masa del suelo. Puede considerarse hasta cierto punto una contradicción el que al ser extraído el suelo, el mismo tenga en la naturaleza la cantidad de agua necesaria para obtener una buena mezcla; sin embargo, con esta humedad tan elevada es prácticamente imposible obtener una mezcla homogénea de suelo-cemento. En otras palabras, no queda más remedio que secar al aire el suelo arcilloso y proceder a su pulverización. En suelos granulares donde predomina la fracción gruesa esta operación es mucho más rápida y efectiva. A continuación se presenta la relación entre la densidad, la humedad y la energía de compactación. Estos tres factores son los de mayor importancia para alcanzar las resistencias necesarias, el mínimo de absorción de agua y la mayor durabilidad del suelo-cemento.

En la Figura 10 se muestra como varía la densidad máxima y la humedad óptima con la variación de la energía. Esta variación sigue una curva muy bien definida y tiene una gran significación cuando en la construcción, se emplean tecnologías cuyas energías no corresponden ni con la del Proctor estándar ni con la del modificado.

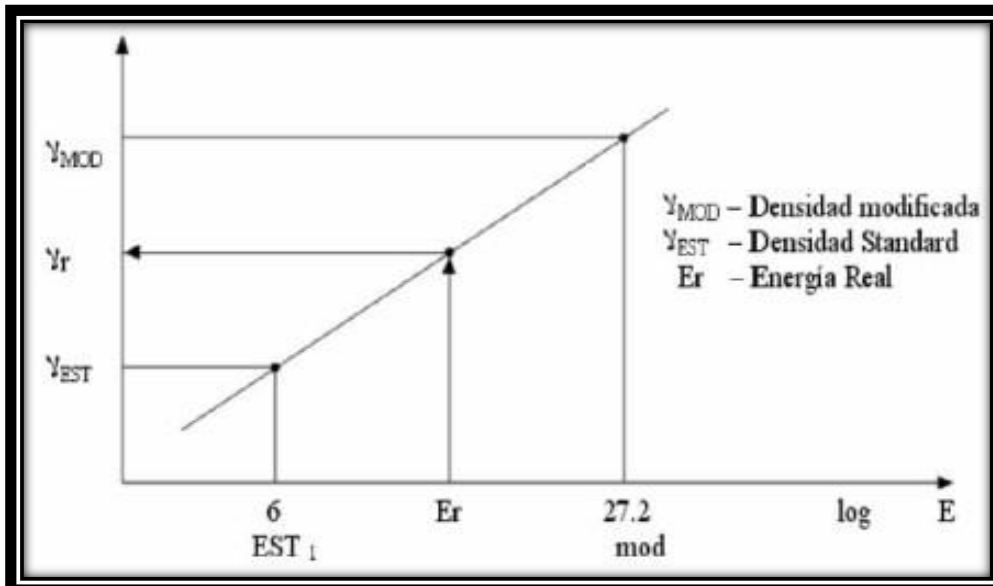
Figura 10: Curva del Ensayo Proctor



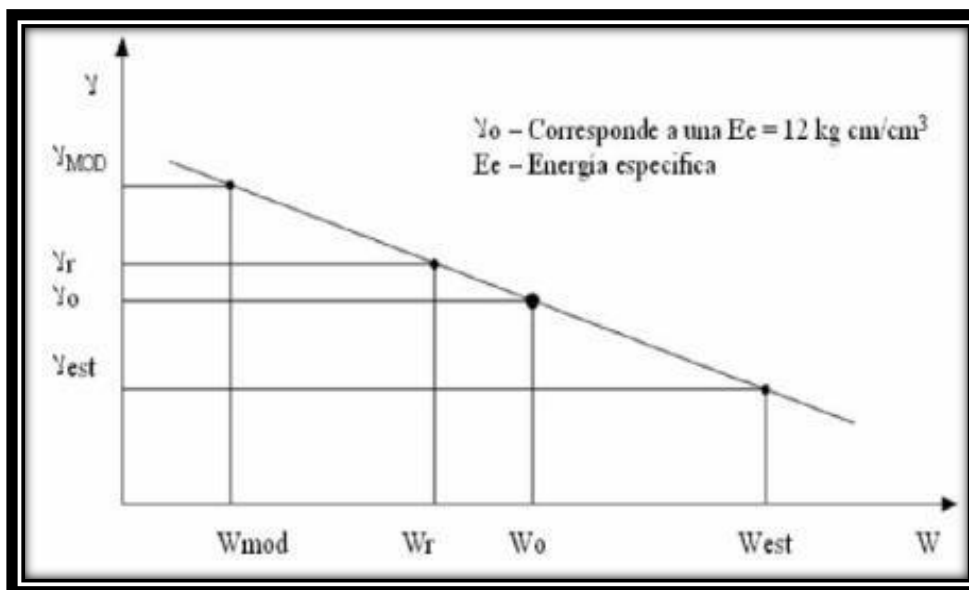
FUENTE: (Toirac Corral, 2008)

En la Figura 11 se muestra cómo es posible determinar la densidad máxima que se debe obtener, en función de la energía de compactación que aporte la tecnología con que se cuenta. Con la densidad máxima real, se puede ir a la curva Y vs. W obtenida con dos ensayos Proctor, uno estándar y otro modificado, para conocer la humedad óptima que se debe emplear en la mezcla se utiliza la Figura 12

Figura 11: Curva Energía vs. Densidad



FUENTE: (Toirac Corral, 2008)

Figura 12: Curva de Humedad vs. Densidad

FUENTE: (Toirac Corral, 2008)

Para obtener una curva más representativa se puede realizar un tercer ensayo Proctor con una energía mayor al Standard pero inferior al del modificado por medio de la ecuación siguiente:

$$Ee = \frac{Nnwh}{V}$$

Donde:

Ee = Energía de compactación en Kg-cm/cm³.

N = Número de golpes por capa.

n = Número de capas de suelo.

w = Peso del pisón (martillo).

En resumen, cuando se requiere diseñar la mezcla de acuerdo a una determinada tecnología cuya energía no corresponde con los valores del Proctor estándar o modificado se procede a realizar tres ensayos Proctor: uno con energía estándar, otro con energía modificada y un tercero con energía intermedia. Se plotean los resultados densidad vs energía y se determina el valor de la densidad máxima que se debe obtener con la tecnología real que se tiene. El valor de la humedad óptima se halla ploteando los valores de densidad máxima y humedad óptima de los tres ensayos en un gráfico aritmético, donde se entra con la densidad máxima real obtenida y se halla el valor de la humedad óptima a emplear.



2.2.3.3 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA CON RESIDUOS

2.2.3.3.1 Proceso de Fabricación

2.2.3.3.1.1 Consideraciones Básicas

Para (Toirac Corral, 2008) toda tecnología de producción estará compuesta de los siguientes pasos:

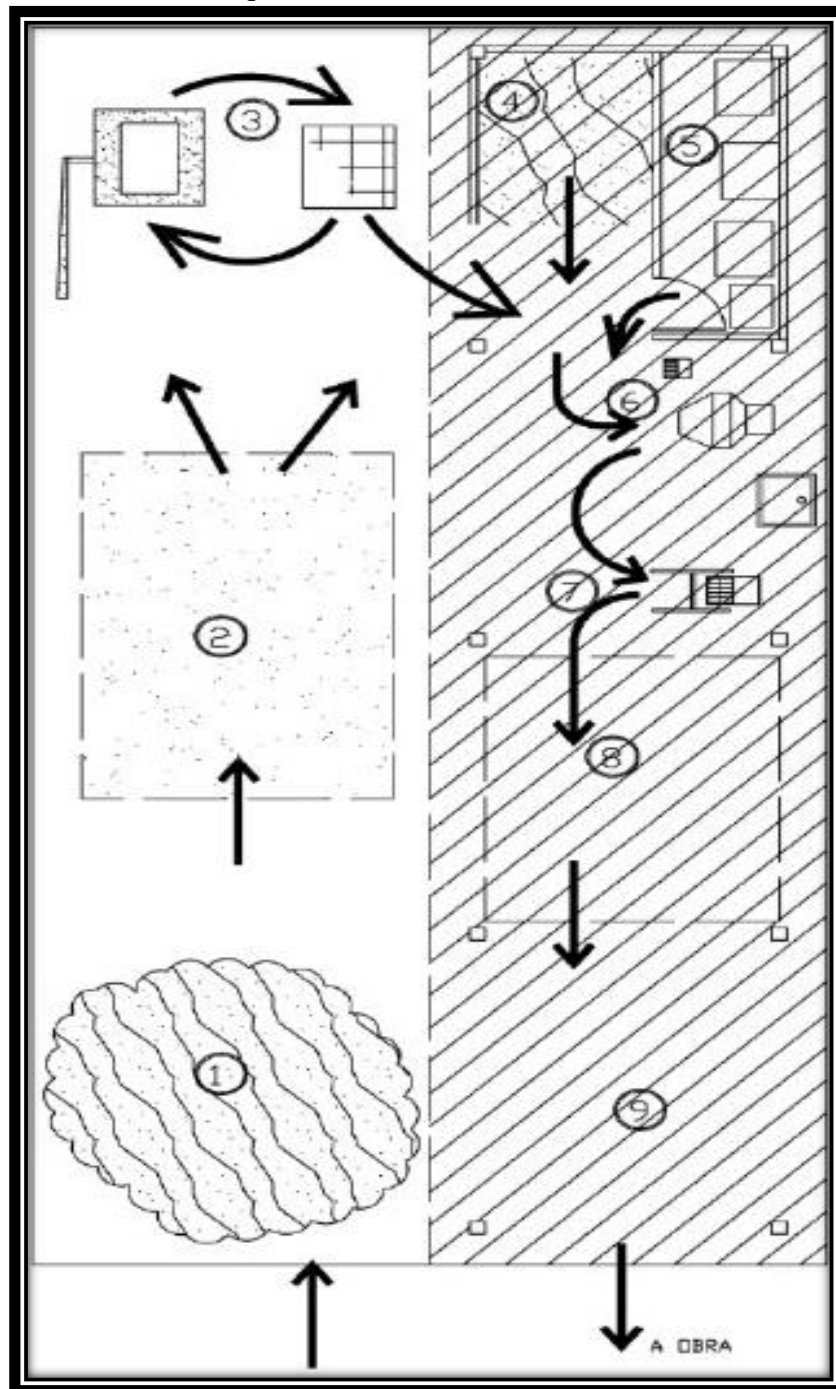
- Preparación de los materiales: Suelo (residuos sólidos), cemento y agua
- Dosificación de los componentes.
- Mezclado.
- Conformación de la mezcla: a) En máquinas. b) En moldes (manualmente).
- Transporte de los productos a zona de curado y almacén.
- Curado

Además para una buena organización en la producción se deben tomar en cuenta los siguientes elementos básicos:

- a) Determinación de la cantidad de elementos: Esto estará en dependencia de la maquinaria, moldes o encofrados disponibles.
- b) Estimación de las necesidades de materiales, para la escala seleccionada de producción, así como otros insumos necesarios.
- c) Listado de equipamiento necesario, que incluye desde las excavaciones hasta el almacenamiento.
- d) Listado de requerimiento de trabajadores y personal técnico.
- e) Necesidad de préstamo de suelo, terreno para el área de producción, área de curado y almacenamiento.
- f) Cálculo de los costos iniciales de puesta en marcha de las instalaciones y de su operación por un período dado de tiempo.

Existen varios criterios para la ubicación de la planta o taller de producción, pudiendo estar en las cercanías del contorno seleccionado o en el área de construcción, tratándose siempre que la misma preste servicio a una zona de construcción en un radio no mayor de 500 m a partir de la planta.

Figura 13:
Esquema del Taller de Producción



FUENTE: (Toirac Corral, 2008)

El área de producción comprende:

- 1) Área para acopio de suelo, la cual debe estar plana y nivelada con capacidad para almacenar volúmenes de suelo extraído sin procesar. Deben preverse accesos vehiculares.
- 2) Espacio para secado del suelo al sol antes de su molienda o clasificación.
- 3) Área de trituración y/o clasificación del suelo seco, donde se separa el material grueso.

- 4) Área de acopio de suelo clasificado, donde se almacena el suelo procesado, seco y listo para ser mezclado. Esta debe estar bajo techo.
- 5) Almacén de cemento, cerrado para protegerlo del ambiente húmedo y preservar su calidad.
- 6) Área de mezclado, donde se hace la dosificación seca y húmeda, se realiza la unión entre el suelo y el estabilizante (dosificación seca) con equipo mecánico o a mano y luego se le agrega agua en forma de goteo esparcido (dosificación húmeda), mezclándolo alrededor de 3 o 4 min hasta que alcance su consistencia de trabajo. Esta área debe estar vinculada con el almacén de cemento y permitirá el acceso. Preferentemente techada.
- 7) Área de conformación o moldeo, donde se encontrará la maquinaria para estos fines o los moldes, si es posible bajo techo. Existen dos métodos básicos para la conformación: a presión constante y a volumen constante.
- 8) Área de curado húmedo, donde se colocan los elementos recién producidos cubriéndolos con cualquier material que permita la mejor hidratación y reacción del cemento a edades tempranas. Este proceso dura alrededor de 3 días como mínimo. Se recomienda un área techada.
- 9) Área de almacenamiento de productos terminados, donde se colocan los elementos después de su curado en alturas de estibas apropiadas para su manipulación manual y rotación en el tiempo.

2.2.3.3.1.2 Etapas de Fabricación

2.2.3.3.1.2.1 Selección del Suelo

La selección del suelo se realiza con las especificaciones e indicaciones citadas anteriormente.

Se empleara el residuo solido triturado

2.2.3.3.1.2.2 Extracción del suelo

La tierra o suelo a emplear para la elaboración de suelo cemento puede ser comprada en canteras y trasladarse hasta la planta de elaboración de piezas de suelo cemento comprimido, o bien puede extraerse tierra del lugar donde se va a efectuar el moldeo, con el consiguiente ahorro en costes del material, traslado y descarga. (Gatani, 2000).

En este caso se utilizara los residuos sólidos indistintamente ya sea ladrillos rotos con mal cocción, quebradas, distinto color, etc. todas de ladrilleras artesanales del Distrito de San Jerónimo de la Ciudad del Cusco.

2.2.3.3.1.2.3 Secado

Es muy probable que el suelo extraído tenga un gran porcentaje de humedad; con excesiva humedad, resulta muy difícil realizar el tamizado, debido a la cohesión entre partículas; para lo cual es necesario esparcir la tierra uniformemente, con un espesor no mayor de 30 cm para que el aire y el sol penetren en la totalidad del volumen de tierra, sobre una superficie plana y seca, como, por ejemplo, una platea de concreto. (Gatani, 2000)

2.2.3.3.1.2.4 Tamizado

Con el objetivo de eliminar partículas superiores a 5 mm, es recomendable pasar el suelo por una criba o un tamiz. Esta tarea no solo asegurará una eficiente compactación sino que promoverá el correcto uso y mantenimiento de los equipos utilizados. Si bien el tamizado más corriente que se realiza es en forma manual, se puede realizar mediante una máquina trituradora de terrones y tamizadora de suelo. (Gatani, 2000)

Es necesario tamizar el suelo con el fin de desarmar los terrones producidos por la humedad, esta etapa tiene efectos importantes en la calidad del ladrillo producido, ya que evitará la presencia de grumos. Para realizar el tamizado, el suelo debe estar seco. (Gatani, M, 2002)

Indican que el suelo debe pasar por un tamiz de una abertura de 4 mm a 6 mm. (Garcia Martinez, Lopez, Porras Aguirre, Garcia Tapia, & Soriano Lopez, 2011)

El suelo debe ser pulverizado y cernido con una malla de 5 mm. (Rodriguez.H, 2004)

2.2.3.3.1.2.5 Mezclado de componentes en seco

La cantidad de aglutinante necesario para la estabilización, dependerá de las características del suelo y del mecanismo de compactación seleccionado. Es muy importante que el suelo y el cemento sean premezclados en seco, previo a la adición de agua, hasta obtener una mezcla de color uniforme. Es conveniente realizar la operación de mezclado de los componentes en una mezcladora mecánica. (Gatani, 2000)

Se mezclan las partes de suelo y cemento hasta que el conjunto tome el mismo color. Se logran mezclas con la mezcladora de paletas con eje horizontal; las mezcladoras de tambor



giratorio no se aconsejan, ya que la mezcla humedecida forma grumos al golpear en las paredes del tambor. (Gatani, M, 2002)

La mezcla del suelo con el cemento puede realizarse manualmente o con la ayuda de medios mecánicos. Se añade el suelo, mezclándolos hasta obtener una coloración uniforme. (Rodriguez.H, 2004)

2.2.3.3.1.2.6 Adición de Agua

Según (Gatani, 2000) La incorporación de agua es necesaria porque activa la acción cohesiva de las arcillas. Actúa como lubricante para mejorar la compresión y activa la reacción con el cemento.

Una vez lograda la mezcla íntima de suelo y cemento en seco, se le agrega agua en forma de lluvia con una regadera o similar, hasta conseguir que la humedad se distribuya uniformemente con la mezcla.

Se continúa mezclando por unos minutos, y mediante un ensayo de campo conocido como la “prueba de la muñeca”, se determina, en forma práctica, la humedad óptima de la mezcla: Se toma un puñado de la mezcla, se aprieta con la mano y se deja caer desde la altura de 1 metro. El resultado de la observación puede determinar las siguientes situaciones:

- a) Si la mezcla no se rompe y, al caer se aplasta, dejando parte de la mezcla pegada en la mano, hay exceso de agua,
- b) La mezcla se desintegra en una cantidad considerable de terrones, semejante a la mezcla original, la humedad es óptima.
- c) La mezcla se desmorona sin conservar la forma de la mano, hay insuficiencia de agua.

Los componentes del suelo cemento pueden ser mezclados hasta que el material constituya una masa húmeda, de color uniforme, próximo al color del suelo utilizado, sin embargo levemente oscurecido debido a la presencia del agua. Es importante que la cantidad de agua sea correcta. (Garcia Martinez, Lopez, Porras Aguirre, Garcia Tapia, & Soriano Lopez, 2011)

2.2.3.3.1.2.7 Compactación y moldeo

Según (Gatani, 2000) La compactación se realiza para aumentar la resistencia a la compresión, y proveer de mayor capacidad higroscópica.

Mediante la operación de compactación, la mezcla suelta se comprime, hasta un cierto límite, disminuyendo su volumen inicial y transformándose en una masa más compacta y con un



mínimo de vacíos. Existen diversas maneras de realizar la compactación, ya se trate de moldes manuales o máquina moldeadoras.

El procedimiento manual se asemeja más a una técnica tradicional de moldeo de adobe que a una producción con calidad técnica de mampuestos de suelo cemento, debido a lo artesanal de su procedimiento: baja compactación, baja productividad y calidad discontinua.

Entre las máquinas moldeadoras existe la conocida CIMVA-RAM, CERATEC o HYDRAFORM. Esta máquina produce ladrillos y bloques de suelo cemento de excelente calidad, cuyo esquema de funcionamiento está basado en la fuerza de compresión que produce un hombre a través de una palanca.

La mezcla se coloca en la prensa y después de la conformación del ladrillo o bloque se extraen los mismos, colocándolos sobre una plancha rígida para trasladarlos al área de curado. Los ladrillos o bloques deben ser colocados a la sombra, sobre una superficie plana. (Rodríguez.H, 2004)

2.2.3.3.1.2.8 Acopio y curado

Para (Gatani, 2000) asegurar el fraguado eficiente de los ladrillos, estos deben ser almacenados con una adecuada protección frente al sol y la lluvia. Al igual que las piezas moldeadas en cemento, durante las primeras 24 horas de fabricación de los ladrillos debe controlarse que no se produzcan pérdidas bruscas de humedad.

Ello se logra cubriendo la producción del día de la siguiente manera:

Se coloca un manto de polietileno de modo tal que se asegure que no se va a permitir infiltración de aire por los bordes, apoyando ladrillos secos en el perímetro. Al día siguiente, se deben humedecer con una regadera y volver a tapar con polietileno. Es conveniente mantener el riego hasta los 8 días de edad, formando con polietileno una cámara de curado. Los ladrillos podrán ser empleados en construcción a partir de los 21 días de fabricación. Al término de ese tiempo habrán alcanzado una resistencia muy cercana a la máxima.

Después de 4 a 6 horas de haberse fabricado los ladrillos o bloques debe iniciarse el proceso de curado. El curado se realiza como mínimo durante 7 días, humedeciendo con agua los elementos 3 a 4 veces durante el día con la ayuda de una regadera, nunca con un chorro directo. Cuando no existan condiciones para el curado bajo techo, se deben proteger los elementos con una lona o material similar.



La edad mínima recomendada para el empleo de los ladrillos o bloques en la construcción es de 21 días, luego que ha ocurrido la mayor parte de la retracción del material. (Rodríguez.H, 2004)

2.2.3.4 ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LAS UNIDADES DE ALBAÑILERÍA

2.2.3.4.1 ENSAYOS CLASIFICATORIOS

2.2.3.4.1.1 Determinación del Peso

Se determinará el peso de las unidades y secas. La balanza a utilizar tendrá una capacidad no menor de 3000 g y una aproximación de 0.5 g. En el informe se indicará separadamente el peso de cada unidad y el promedio de todas las unidades ensayadas con una aproximación a 0.1 g. (NTP 399.613, 2005)

2.2.3.4.1.2 Medida del Tamaño

Se medirán las unidades individualmente con una regla de acero graduada de 30 cm, con divisiones de un milímetro, o un calibrador que tenga una escala de 25 mm a 300 mm, y tenga cabezales paralelos.

Se deben medir las unidades enteras y secas. Estas unidades serán representativas e incluirán los extremos de los rangos e color y tamaño, según se determina por una inspección visual.

Se mide el ancho a través de los dos extremos y en ambas, desde el punto medio de los bordes que limitan las caras. Se registran estas cuatro medidas con una aproximación de 1 mm y se registra como ancho el promedio de las medidas, con una aproximación de 0.5 mm.

Medir la altura a través de ambas caras y ambos extremos desde los puntos medios de los bordes que limitan las caras. Se registra estas cuatro medidas con una aproximación de 1 mm, y se registra como altura, su promedio con una aproximación de 0.5 mm. Repetir el ensayo con el mismo método cuando sea necesario. Se reporta el promedio del ancho, largo y alto de cada espécimen ensayado con una aproximación de 1 mm. (NTP 399.613, 2005)

2.2.3.4.1.3 Variación Dimensional

La prueba de variación dimensional es necesaria para determinar el espesor de las juntas de la albañilería. Es importante notar que por cada incremento de 3 mm en el espesor de las juntas horizontales (adicionales al mínimo requerido de 10 mm), la resistencia a compresión de la

albañilería disminuye en un 15%; asimismo, disminuye la resistencia al corte. (San Bartolome, Quiun, & Silva, 2011)

Los aparatos necesarios son una regla graduada al milímetro, de preferencia de acero inoxidable, de 300 mm de longitud o un calibrador de mordazas paralelas provistas de una escala graduada entre 10 mm y 300 mm y con divisiones a 1 mm.

La muestra estará constituida por ladrillos secos enteros, el procedimiento se realizará midiendo en cada espécimen el largo, ancho y alto, con la precisión de 1 mm. Cada medida se obtiene como promedio de las cuatro medidas entre los puntos medios de los bordes terminales de cada cara, se calcula la variación en porcentaje de cada dimensión restante de cada dimensión especificada en valor obtenido de promediar la dimensión de todas las muestras, dividiendo este valor por la dimensión especificada y multiplicando por 100:

$$V = \frac{DE \cdot MP}{DE} \times 100$$

En donde:

V: Variación de dimensión, en porcentaje.

DE: Dimensión especificada, en milímetros.

MP: Medida promedio en cada dimensión, en milímetros.

Se indica como variación de dimensión del lote de ladrillos de porcentaje de variación de todas y cada una de las dimensiones sin decimales. (NTP 399.613, 2005)

2.2.3.4.1.4 Alabeo

El mayor alabeo (concavidad o convexidad) del ladrillo conduce a un mayor espesor de la junta. Asimismo, puede disminuir el área del contacto con el mortero al formarse vacíos en las zonas más alabeadas; o incluso, puede producir fallas de tracción por flexión en la unidad por el peso existente en las hiladas superiores de la albañilería. (San Bartolome, Quiun, & Silva, 2011)

Los aparatos a utilizar serán dos cuñas de acero graduadas a medio milímetro. La muestra estará constituida por ladrillos secos enteros, para el procedimiento se considerará que el alabeo se presenta como concavidad o convexidad.

Para la medición de la concavidad se coloca el borde recto de la regla ya sea longitudinalmente o sobre una diagonal de una de las caras mayores del ladrillo, se introduce



la cuña en el punto correspondiente a la flecha máxima y se efectúa la lectura con la precisión de 1 mm y se registra el valor obtenido.

Para la medición de la convexidad se coloca el borde recto de la regla ya sea sobre una diagonal o bien sobre dos aristas opuestas de una de las caras mayores del ladrillo, se introduce en cada vértice una cuña y se busca el punto de apoyo de la regla sobre la diagonal, para el cual en ambas cuñas se obtenga la misma medida o se puede apoyar el ladrillo por la cara a medir sobre una superficie plana, se introduce cada una de las cuñas en dos vértices opuestos diagonalmente o en dos aristas, buscando el punto para el cual en ambas cuñas se obtenga la misma medida. Se indica el promedio de los valores correspondientes a concavidad y/o convexidad obtenidos en milímetros enteros. (NTP 399.613, 2005)

2.2.3.4.1.5 Resistencia a la Compresión de la unidad de albañilería.

En el cálculo de la resistencia a compresión (f^b) antiguamente (Norma Técnica E.070, 1982) se trabajaba con el área neta de la unidad. Ello daba cabida a que las fábricas produzcan ladrillos huecos, lo cual elevaba la resistencia a la compresión. Actualmente, la resistencia se calcula con el área bruta, con lo cual esas unidades huecas se clasifican en un rango inferior. Debe remarcarse que las unidades huecas son muy frágiles.

De acuerdo a la Norma E.070, la resistencia característica (f^b) es el resultado promedio menos una desviación estándar. El quitarle una desviación estándar estadísticamente significa que por lo menos el 84% de las unidades ensayadas tendrán una resistencia mayor al valor característico (f^b), o que es aceptable tener un 16% de unidades defectuosas.

Debe hacerse notar que la resistencia a compresión (f^b) expresa solo la calidad de la unidad empleada, ensayada bajo las mismas condiciones. Por ejemplo, a mayor resistencia se obtendrá mayor densidad y una mejor durabilidad de la unidad. Esto se debe a que el valor f^b depende de la altura de la probeta (a menor altura, mayor resistencia), del capping empleado y de la restricción al desplazamiento lateral impuesto por los cabezales de la máquina de ensayos. (San Bartolome, Quiun, & Silva, 2011)

Se ensayarán medias unidades secas, de ancho y altura equivalente a las de la unidad original, y una longitud igual a media unidad \pm 25 mm. Si la capacidad de resistencia del espécimen excede la capacidad de la máquina, se podrá ensayar piezas menores, con altura y espesor de la unidad original y longitud no menor de $\frac{1}{4}$ de la longitud total de la unidad, y con un área de sección horizontal bruta no menor de 90 cm². El espécimen de prueba se obtendrá por



cualquier método de corte que produzca un espécimen con extremos aproximadamente planos y paralelos, sin astillas ni rajaduras. Eventualmente se podrá utilizar para el ensayo de compresión, unidades enteras, en cuyo caso deberá efectuarse la corrección en el valor promedio de resistencia, mediante un coeficiente que responde a la correlación obtenida en las investigaciones de laboratorio.

$$R_{ue} = 0.92 \times R_{mu}$$

Donde:

R_{ue} = Resistencia a la compresión en unidad entera.

R_{mu} = Resistencia a la compresión en media unidad.

Si las superficies de contacto del espécimen son ahuecadas o apaneladas, llenar las depresiones con un mortero compuesto por una parte, en peso, de mortero de cemento Portland y dos partes, en peso, de arena, incorpore un aditivo o cloruro de calcio en porcentaje no mayor de 0.2%. Dejar reposar los especímenes por lo menos 48 horas antes de aplicar el refrentado. Cuando las cavidades excedan 13 mm, usar un fragmento de ladrillo o una sección de teja o placa metálica como relleno en el núcleo.

Para refrentar los especímenes se cubren las caras opuestas de contacto del espécimen con goma laca. Una vez completamente secos, cubrir una de las superficies con una capa delgada de yeso calcinado (yeso hemihidrato), que ha sido distribuida sobre una placa no absorbente y aceitada, tal como vidrio o metal procesado. La placa para la superficie de refrentado debe ser plana con margen de 0.08 mm en 400 mm y suficientemente rígida y apoyada de tal manera que no tenga deformación durante el proceso. Se cubre ligeramente con una capa de aceite u otro material apropiado. Se repite esta operación con la otra superficie de contacto de los especímenes. Cuidar de tener las superficies de contacto, así conformadas, aproximadamente paralelas entre sí y perpendiculares al eje vertical del espécimen y que los espesores de refrentado sean aproximadamente los mismo sin exceder de 3 mm. Se dejará reposar el refrentado por lo menos 24 horas antes de ensayar los especímenes.

Se ensayan los especímenes de ladrillo sobre su mayor dimensión (esto es, la carga será aplicada en la dirección de la profundidad de ladrillo). Se centran los especímenes debajo del apoyo esférico superior con un margen de 2 mm.



El apoyo superior será un bloque metálico endurecido, asentado esféricamente y firmemente fijo en el centro del cabezal superior de la máquina (rótula). El centro de la rótula se alineará con el centro de la superficie del bloque en contacto con el espécimen. La rótula tendrá la libertad de girar en cualquier dirección y su perímetro tendrá por lo menos 6 mm libres del cabezal para permitir su uso con especímenes cuyas superficies de contacto no sean exactamente paralelos a la placa. El diámetro de la superficie de contacto será al menos de 130 mm. Usar un bloque de contacto de metal endurecido debajo del espécimen para minimizar el desgaste de la placa inferior de la máquina. Las superficies del bloque de apoyo destinadas a contactar

Los especímenes tendrán una dureza no menor de 60 HRC (HB620). Estas superficies serán planas con una tolerancia de 0.03 mm y con espesor igual a 1/3 de la distancia del extremo del apoyo esférico a la esquina más distante entre el bloque apoyado esféricamente y el espécimen con cobertura. Estas planchas serán de la misma calidad y tendrán una longitud y ancho que por lo menos exceda 15 mm que la longitud y ancho del espécimen y serán de una dureza similar a los planos de apoyo.

Se aplica la carga, hasta la mitad de la máxima carga esperada, con cualquier velocidad adecuada, después de lo cual se ajustan los controles de la máquina de manera tal que la carga remanente sea aplicada con una velocidad uniforme en no menor de un minuto ni más de dos minutos.

Se calcula la resistencia a la compresión de cada espécimen con la ecuación que se indica a continuación, debiendo darse los resultados con aproximación a 0.01 MPa:

$$f'_b = C = W / A$$

Donde:

$f'_b = C$ = Resistencia a la compresión del espécimen, Mpa.

W = Máxima carga en N, indicada por la máquina de ensayo.

A = Promedio del área bruta de las superficies de contacto superior e inferior del espécimen, mm². (NTP 399.613, 2005)



2.2.3.4.2 ENSAYOS NO CLASIFICATORIOS

2.2.3.4.2.1 Resistencia en Compresión de Prismas

2.2.3.4.2.1.1 Construcción de Prismas

Según (NTP 399.605, 2013) Se construirán los prismas con unidades representativas. Si las unidades tienen pestañas, estrías o nervaduras que se proyecten 12.5 mm o más de la superficie de la unidad, se removerán esas salientes mediante corte con sierra. Se construirá una muestra de prismas para cada combinación de materiales y cada edad de ensayo a la cual se requiere determinar la resistencia en compresión de la albañilería. Se construirá cada prisma en una bolsa abierta con humedad adecuada lo suficientemente grande como para encerrar y sellar el prisma completo. Se debe construir cada prisma con las unidades asentadas en forma de pila (una sobre la otra).

Se debe construir los prismas con las unidades de longitud de tamaño completo o reducido. Cualquier corte requerido con sierra se llevará a cabo en las unidades antes de la construcción del prisma. El contenido de humedad de las unidades utilizadas deberá ser representativo. La longitud mínima de los prismas será de 100 mm. Se fabricarán los prismas de albañilería con capas completas de mortero, colocando mortero en todo el perímetro y en las almas interiores de las unidades huecas. Se usarán las juntas de mortero que se cortan al ras. Se fabricarán los prismas con una altura mínima de dos unidades, con una relación alto – espesor, hp/ht , entre 1.3 y 5.0. Inmediatamente después de la construcción del prisma, sellar la bolsa ajustándola para mantener la humedad alrededor del prisma.

Después de las primeras 48 h de curado de los prismas construidos, mantener los prismas en bolsas en una zona con una temperatura de $24^{\circ}\text{C} \pm 8^{\circ}\text{C}$. Dos días antes de la prueba, retire las bolsas de humedad apretada y continuar el almacenamiento a una temperatura de $24^{\circ}\text{C} \pm 8^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa inferior al 80%. Los prismas no serán secados en horno o de lo contrario se expone a temperaturas superiores a los requisitos de temperatura de almacenamiento en cualquier momento antes de la prueba. No debe haber humedad visible en la superficie de los prismas en el momento de la prueba, se debe prolongar el tiempo de almacenamiento, según sea necesario para asegurar las condiciones secas de la superficie de los prismas en el momento de la prueba.

Se ensayarán los prismas a la edad de 28 días o a la edad solicitada para el ensayo. Se ensayará una muestra de prismas para cada edad. La edad del prisma se determinará a partir del momento del asentado de las unidades.



2.2.3.4.2.1.2 Procedimiento del ensayo

Se deben medir los prismas con una aproximación de 1 mm, la longitud y el ancho en ambos bordes de las caras superior e inferior de los prismas. Determinar la longitud y el ancho del prisma promediando las cuatro medidas de cada dimensión. Se mide la altura del prisma del centro de cada cara con una aproximación de 1 mm. Se determina la altura del prisma promediando las cuatro medidas.

Se deben considerar unidades de albañilería cuya área neta de sección transversal es por lo menos 75% del área bruta de la sección transversal como 100% sólido. El procedimiento de refrentado se realiza en forma similar al ensayo de resistencia a la compresión.

La máquina de ensayo tendrá una precisión de más o menos 1% sobre el rango de carga anticipado. La placa superior será un bloque asentado esférico, de metal endurecido firmemente en el centro de la cabeza superior de la máquina. El centro de la esfera se encuentra en el centro de la superficie del lugar en su asiento esférico, pero es libre de girar en cualquier dirección, y su perímetro deberá estar al menos 6.3 mm de la cabeza para dar cabida a especímenes cuyas superficies del cojinete no son paralelas. El diámetro de la parte superior del rodillo será de al menos 150 mm. No es obligatorio el empleo de una placa de metal endurecido utilizado debajo de la muestra, pero se ha encontrado que reduce al mínimo el desgaste de la placa inferior de la máquina.

Cuando el área de soporte de la placa superior o inferior de la platina no es suficiente para cubrir el área de la muestra, una placa de acero de un solo cojinete, con un espesor de al menos igual a la distancia desde el borde del plato a la esquina más lejana de la muestra se colocará entre la placa y la muestra refrentada. La longitud y el ancho de la placa de acero deben ser al menos de 6 mm mayor que la longitud y el ancho de los prismas.

Las superficies de la platina o placa destinada para estar en contacto con la muestra deberán tener una dureza no menor a 60 HRC. Las superficies de la placa no se deben apartar de las superficies planas en más de 0.03 mm en cualquier dimensión de 150 mm.

Se limpian las caras de carga de los platos de la máquina, las placas de apoyo y el prisma de ensayo. Colocar el prisma de ensayo sobre el plato de carga inferior o placa de apoyo. Alinear ambos ejes centroidales del espécimen con el centro de aplicación de carga de la máquina. Mientras el plato superior esférico o placa se acerca para apoyarse sobre el prisma, se rotará la

porción móvil de la platina superior suavemente con las manos, para obtener un apoyo uniforme.

Se debe aplicar una carga inicial al prisma de la mitad de la carga total esperada, luego se aplica la carga remanente a una tasa uniforme en no menos que 1 y no más que 2 minutos.

Si el modo de falla no se puede determinar una vez que la carga máxima sea alcanzada, continúe cargando la muestra hasta que el modo de falla se pueda identificar. Se registra la carga máxima y el modo de falla.

Se calcula la resistencia de cada prisma de albañilería dividiendo la carga de cada prisma de la compresión máxima soportada entre el área neta de sección transversal de ese prisma, y expresar el resultado con una precisión de 10 PSI (69 KPa)(0,7036 Kg f/cm²). Para calcular la resistencia a la compresión de la albañilería se calculará para cada prisma.

La relación **hp/tp** entre la altura (hp) y la menor dimensión lateral (tp) de ese prisma. Se determinará el factor de corrección de la Tabla N° 16. Determinar el factor de corrección correspondiente por interpolación lineal entre los valores dados.

Tabla 16: Factores de Corrección Altura/Espesor para la Resistencia en Compresión de Prismas de Albañilería

hp/tp	1.3	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
Factor de Corrección	0.75	0.86	1.00	1.04	1.07	1.15	1.22

FUENTE: (NTP 399.605, 2013)

Se multiplica la resistencia del prisma de albañilería por el factor de corrección del prisma correspondiente

Se multiplica por el incremento por edad de f'_m de la (Norma Técnica E.070 , 2006) donde nos da valores para pilas de ladrillos de arcilla y bloques de concreto de : 1.10 para 14 días y 1.00 para 21 días y se calcula la resistencia a la compresión de albañilería, f_{mt} , para cada conjunto de prismas promediando los valores obtenidos. (NTP 399.605, 2013)

2.2.3.4.2.2 Módulo de Rotura

Al igual que la resistencia a compresión, la resistencia a la flexión f_r , solo constituye una medida de la calidad de la unidad. Su evaluación debería realizarse cuando se esté en la incertidumbre de utilizar unidades de la misma clase, pero provenientes de fábricas distintas,

o cuando se tenga un alto alabeo que puede conducir a la unidad a una falla de tracción por flexión durante el asentado. (San Bartolome, Quiun, & Silva, 2011)

Los especímenes de ensayo consistirán de unidades enteras y secas. Apoyar el espécimen de ensayo sobre su base (esto es, aplicar la carga en la dirección de la altura del espécimen). La carga debe aplicarse en el centro del tramo con aproximación de 2 mm de dicho centro. Si el espécimen tiene cavidades o depresiones, colocar el espécimen de manera tal que las cavidades o depresiones estén en sus caras inferiores. Los apoyos para las especímenes serán barras de acero sólido de $12.7 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ de diámetro, colocadas a $13 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ de cada extremo. La longitud de cada apoyo será por lo menos igual al ancho del espécimen.

Se aplica la carga sobre su superficie superior del espécimen a través de una plancha de soporte de acero de 6 mm de espesor y 40 mm de ancho y con una longitud por lo menos igual al ancho del espécimen.

La velocidad de la carga no excederá las 8896 N/minuto, este requerimiento puede considerarse como satisfecho si la velocidad del cabezal móvil de la máquina de ensayos inmediatamente antes de aplicarse la carga, no es mayor que 1.3 mm/minuto.

El módulo de rotura de cada espécimen se calcula con la expresión

$$f'_{r} = S = 3W (l/2 - X)/bd^2$$

Donde:

$f'_{r} = S$ = modulo de rotura del espécimen en el plano de falla (pa)

W=máxima carga aplicada con la maquina de prueba (N)

l=distancia entre apoyos (mm)

b= ancho neto (cara menos los huecos) del espécimen en el plano de falla (mm)

d=espesor del espécimen en el plano de falla(mm)

x= distancia promedio desde el centro del espécimen hacia el plano de falla (mm) (NTP 399.613, 2005)

El módulo de rotura del lote se determinara como el promedio de los módulos de rotura de los especímenes ensayados, con aproximación a 0.01 MPa. (NTP 399.613, 2005)

2.2.3.4.2.3 Absorción

Los equipos e instrumentos a utilizar son una balanza con una capacidad no menor de 2000 g y una aproximación de 0.5 g. Los especímenes de prueba consistirán en medias unidades. Se secan y ventilan los especímenes y se pesan cada uno de ellos. Se sumerge parcialmente al espécimen en agua limpia a temperatura entre 15.5 °C a 30°C por el tiempo especificado que puede ser 5 y 24 horas. Se retira el espécimen y se limpia el agua con un paño, se pesa el espécimen. Se deben pesar todos los especímenes dentro de los cinco minutos luego de ser retirados del agua.

El cálculo de la absorción de cada espécimen con la siguiente expresión:

$$\text{Absorción \%} = 100 (W_s - W_d)/W_d$$

Donde:

W_d = Peso seco del espécimen.

W_s = Peso del espécimen saturado, después de la sumersión en agua fría.

Se calcula el promedio de la absorción de todos los especímenes ensayados, con una aproximación a 0.1%. (NTP 399.613, 2005)

2.2.3.4.2.4 Absorción Máxima

Se realiza el ensayo de absorción en caliente para calcular para periodos de 1, 2 y 5 horas, se utiliza el espécimen que ha sido sometido en la prueba de sumersión en agua fría, se sumerge el espécimen en agua limpia a temperatura entre 15°C y 30°C, de tal manera que el agua circule libremente en todo el espécimen. Se calienta hasta el punto de ebullición en una hora, hervir por el tiempo especificado y luego se deja enfriar a una temperatura entre 16°C a 30°C. Se seca el espécimen y se limpia el agua superficial con un paño para luego pesar el espécimen. Pesar todos los especímenes antes de 5 minutos después de retirarlos del agua.

El cálculo de la absorción de cada espécimen con la siguiente expresión:

$$\text{Absorción \%} = 100 (W_b - W_d)/W_d$$

Donde:

W_d = Peso seco del espécimen.

W_b = Peso del espécimen saturado, después de la sumersión en agua caliente.

Se calcula el promedio de la absorción de todos los especímenes ensayados, con una aproximación a 0.1%. (NTP 399.613, 2005)

2.2.3.4.2.5 Coeficiente de Saturación

(NTP 399.613, 2005) Para calcular el coeficiente de saturación de cada espécimen se utiliza la siguiente expresión, debiendo darse los resultados con una aproximación a 0.01:

$$\text{Coeficiente de Saturación} = W_{s^2} - W_d / W_b^5 - W_d$$

Donde:

W_d = Peso seco del espécimen.

W_{s^2} = Peso del espécimen saturado, después de 24 horas de sumersión en agua fría.

W_{s^5} = Peso del espécimen saturado, después de 5 horas de sumersión en agua caliente.

2.2.3.4.2.6 Periodo Inicial de Absorción (Succión)

Los aparatos a utilizar son bandejas y recipientes para agua, con una profundidad no menor de 25 mm, y de largo y ancho tales que la superficie de agua no sea menor de 2000 cm². La base de la bandeja debe ser plana cuando está apoyada convenientemente. Las dimensiones no serán menores a 200 mm de largo y 150 mm de ancho. Como soportes para los ladrillos se utilizarán dos barras de acero no corrosible, de 120 mm a 150 mm de longitud, de sección transversal triangular, semicircular o rectangular, de espesor aproximado de 6 mm. El espesor de las dos barras estará entre 0.03 mm y si las barras tienen sección transversal rectangular su ancho no excederá 2 mm. Se deberá incorporar a la bandeja un dispositivo que permita mantener el nivel de agua por encima de los soportes del ladrillo, incluyendo los dispositivos para agregar el agua a la bandeja en el momento de retirar los ladrillos. Un método adecuado para controlar el agua que se agrega en la bandeja consiste en: controlar que un ladrillo o medio ladrillo proporcionen completamente el ladrillo referencial no más de tres horas. Además, se utilizará una balanza con una capacidad no menor a 3000 g y una aproximación de 0.5 g, un horno de secado, una cámara de temperatura constante (21°C ± 2°C) y un dispositivo para la sincronización que puede ser un reloj o cronómetro, que indicará un tiempo de un minuto con una aproximación a 1 s. Los especímenes de prueba serán ladrillos enteros.



Se procede con el secado de los especímenes mediante el uso de un horno o en un ambiente aireado. Se mide con una aproximación de 1.27 mm la longitud y el ancho de la superficie plana del espécimen de prueba. Se pesa el espécimen con una aproximación de 0.5 g.

Se ajusta la posición de la bandeja de la prueba de absorción, de manera tal que el fondo de la misma este nivelado, debiéndose comprobar con un nivel de burbuja y fije el ladrillo referencial saturado encima de los soportes. Se agrega agua hasta que el nivel de la misma sea de $3 \text{ mm} \pm 0.25 \text{ mm}$ sobre los soportes.

Cuando el espécimen sea retirado, la profundidad del agua deberá ser de $3 \text{ mm} \pm 0.25 \text{ mm}$ más la profundidad de los soportes. Después de retirar el ladrillo referencial, sujetar el espécimen de prueba sobre los soportes, contando como tiempo cero el momento de contacto de ladrillo con el agua. Durante el periodo de contacto, $1 \text{ min} \pm 1 \text{ s}$, se mantendrá el nivel de agua entre los límites prescritos agregando agua si se requiere. Al final del tiempo de $1 \text{ min} \pm 1 \text{ s}$, retirar el espécimen y secar el agua superficial con un paño húmedo y volver a pesar el espécimen con una aproximación de 0.5 g. el secado del agua superficial se hará dentro de los 10 minutos siguientes luego de retirar el espécimen del agua, y deberá pesarse dentro de los siguientes 2 minutos.

La diferencia en el peso en g, entre el peso inicial y final es el peso del agua absorbida por el ladrillo durante el minuto de contacto con el agua. Si el área (largo x ancho) no difiere más de $\pm 2.5\%$ de 200 cm^2 , se corregirá el peso mediante la ecuación que se indica a continuación, con una aproximación a 0.1 g:

$$X = 200 W/LB$$

Donde:

X = Diferencia de pesos corregida, sobre la base de 200 cm^2 .

W = Diferencia de pesos del espécimen (g).

L= Longitud del espécimen (cm).

B= Ancho del espécimen (cm).

Se informa como la absorción inicial en un minuto el resultado de la succión corregida de espécimen (X), con aproximación a 0.1 g. Se calcula y reporta el promedio de la absorción



inicial de todos los especímenes ensayados, con aproximación a 0.1 g/min/200 cm². (NTP 399.613, 2005)

2.2.3.4.2.7 Eflorescencia

Los aparatos que se utilizan son una bandeja hecha de metal resistente a la corrosión u otro material que no genere sales solubles al ponerse en contacto con agua destilada que contenga cenizas de ladrillo. La bandeja será de dimensiones tales que provea no menos de 25 mm de profundidad de agua. Además, deberá proveer un área tal que el total del volumen de agua sea grande en comparación con la cantidad evaporada cada día, se dispondrá de un aparato adecuado para mantener un nivel constante de agua en la bandeja, una cámara de secado y un horno de secado. Los especímenes consistirán en ladrillos enteros, los cuales se distribuirán en pares, de manera tal que los especímenes de cada par tengan la misma apariencia tanto como sea posible.

Se remueve con una brocha todo polvo que esté adherido y que puede ser erróneamente considerado como eflorescencia. Se secan y se enfrían los especímenes. Se coloca un espécimen de cada uno de los pares, con un extremo parcialmente sumergido en agua destilada en aproximadamente 25 mm, por 7 días en el cuarto de secado. Cuando varios especímenes se ensayan en el mismo contenedor, separar cada uno de ellos con un espaciamiento no menor de 50 mm.

Se almacenan los segundos especímenes de cada uno de los pares en el cuarto de secado, sin contacto con el agua. Al terminar los siete días inspeccionar el primer conjunto de especímenes y luego secar ambos conjuntos en el horno de secado por 24 horas. Después del secado, se examina y compara cada par de especímenes, observando la parte superior y las cuatro caras de cada espécimen, desde una distancia de 2 metros, bajo una iluminación de 538.2 lm/m², según un observador de visión normal. Si ninguna diferencia es notoria bajo esas condiciones, indicar la clasificación como “No eflorescente”. Si se observa una diferencia perceptible debido a la eflorescencia bajo estas condiciones, indicar la clasificación como “Eflorescente”. Se registra el aspecto y la distribución de la eflorescencia. No existe ninguna información sobre precisión o desviación sobre el método de ensayo por eflorescencia, debido a que el resultado no es cuantitativo. (NTP 399.613, 2005)

3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según (Hernández, R.; Fernandez; Baptista, 2010) que, de acuerdo al tipo de enfoque será CUANTITATIVA, debido a que se evalúan parámetros que pueden ser medibles, replicables y que reproducidos en las mismas condiciones en cualquier momento y permite hacer el uso de datos numéricos.

Asimismo también desde el punto de la finalidad, se ceñirá al tipo APLICATIVO, ya que utiliza un conjunto de conocimientos para obtener un resultado dentro de una ciencia y resolver un problema.

3.1.2. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.

De acuerdo a los niveles de investigación científica, la presente tesis es una investigación DESCRIPTIVA, debido a que responde a las preguntas ¿Como?, ¿Cuanto(s)?, ¿Que?, etc. o sea nos describe y refiere sobre las características, cualidades internas y externas, propiedades o rasgos esenciales de los hechos.

3.1.3. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN.

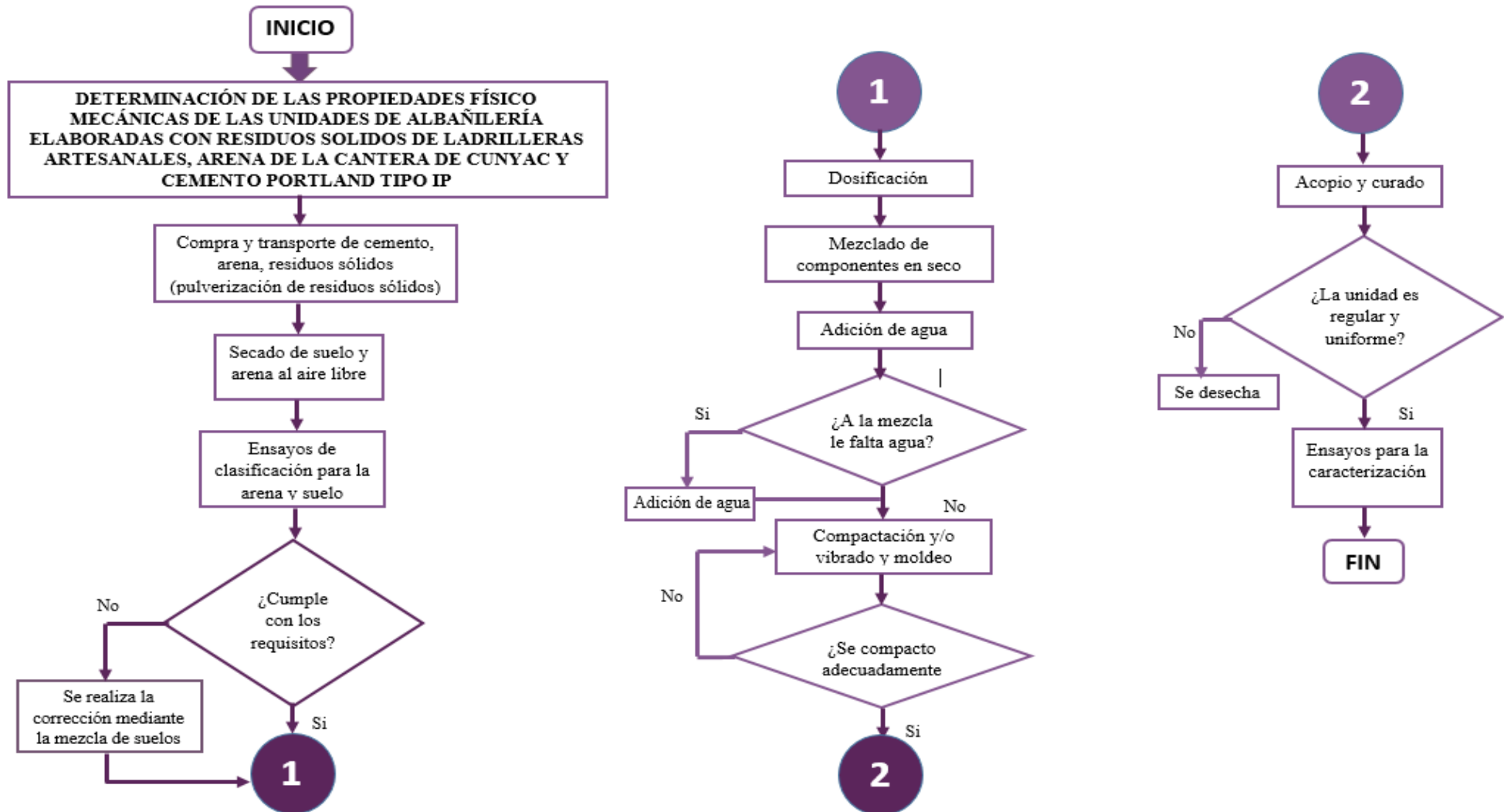
Se emplea el método científico, porque se debe llegar a una conclusión a partir de una idea HIPOTÉTICA – DEDUCTIVA. Entonces se han planteado lo siguiente: Las unidades de albañilería elaboradas con residuos sólidos de ladrilleras artesanales, arena de la cantera de Cunyac, y cemento portland tipo IP desarrollan propiedades físicas y mecánicas que permiten su utilización como un material de construcción alternativo en la ciudad del Cusco.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. DISEÑO METODOLÓGICO

De acuerdo a (Hernández, R.; Fernandez; Baptista, 2010), se considerará el diseño del tipo EXPERIMENTAL ya que se propiciará cambios intencionales en las variables estudiadas.

3.2.2. DISEÑO DE INGENIERÍA PROCEDIMIENTO DE DESARROLLO



FUENTE: Elaboración Propia



3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. POBLACIÓN

3.3.1.1. DESCRIPCIÓN DEL POBLACIÓN

La población es el conjunto de todos los elementos o unidades de análisis que pertenecen al ámbito espacial donde se desarrolla el trabajo de investigación. La población de la presente tesis está compuesta por unidades de albañilería manejables con una sola mano (ladrillos) elaborados a partir de residuos sólidos, arena y cemento portland IP en la ciudad del Cusco. (Hernández, R.; Fernandez; Baptista, 2010)

3.3.1.2. CUANTIFICACIÓN DE LA POBLACIÓN

Debido a que la población de la presente tesis es nueva ya que es un material de construcción que no es usado en la ciudad ni en la región, por lo que la población consta de 114 unidades de albañilería elaboradas con residuos sólidos, arena y cemento portland IP

3.3.2. MUESTRA

3.3.2.1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

La muestra es un subgrupo de la población, es un subconjunto de elementos que pertenecen al universo. (Hernández, R.; Fernandez; Baptista, 2010)

La muestra de la presente tesis son las unidades de albañilería fabricadas con residuos sólidos de ladrilleras artesanales del distrito de San Jerónimo de la ciudad del Cusco, arena de la cantera de Cunyac y cemento Portland tipo IP. Es coincidente con la población.

3.3.2.2. CUANTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

El tamaño de la muestra será de 114 unidades de albañilería de residuos sólidos, arena y cemento portland IP, las cuales se distribuirán de la siguiente forma:

- Ensayo de Determinación del Peso: 14 unidades (10 Mínimo, Norma NTP 399.613).
- Ensayo de Variación Dimensional: 14 unidades (10 Mínimo, Norma NTP 399.613).
- Ensayo de Alabeo: 14 unidades (10 Mínimo, Norma NTP 399.613).
- Ensayo de Resistencia a la Compresión: 14 unidades (5 Mínimo, Norma NTP 399.613).