



|

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la
región de Malacatos.**

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTOR: Sánchez Quezada Luis René

DIRECTOR: Zúñiga Suárez, Alonso Rodrigo, Ing. M.Sc.

LOJA-ECUADOR

2016



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2016

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ingeniero, MSc.

Alonso Rodrigo Zúñiga Suárez

DOCENTE DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

De mi consideración:

Que el presente trabajo de titulación, “Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de Malacatos” realizado por: Sánchez Quezada Luis René; ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, septiembre del 2016

f).....

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Luis René Sánchez Quezada declaro ser autor del presente trabajo de titulación: “Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de Malacatos”, de la titulación de Ingeniero Civil, siendo M.Sc. Alonso Rodrigo Zúñiga Suárez Director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f).....

Autor: Sánchez Quezada, Luis René.

CI: 1104065477.

DEDICATORIA

A Dios

Por haberme dado la vida y la salud para poder llegar a este punto de mi vida y obtener mi meta de ser Ingeniero Civil.

A mi madre

Por enseñarme a crecer, estar en los momentos más difíciles de mi vida y apoyarme siempre. Mis triunfos son los tuyos mamita.

A mi padre

Porque no existen palabras para describir la grandeza de la persona que eres, te dedico este título por no dudar nunca y motivarme a pesar de todo.

A mi familia

Especialmente a mis forajidos por ser mi motivación para superarme.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por guiarme durante todo el camino de mis estudios y haberme permitido culminar esta etapa de mi vida.

A mi madre por ser el pilar fundamental que estuvo junto a mí durante toda mi carrera soportando cada tropiezo y victoria, enseñarme los valores como el de la responsabilidad y apoyarme por sobre todas las cosas.

A mi padre por motivarme y enseñarme a superarme siempre a mí mismo, por ser la cabeza de nuestra querida familia

A mis queridos hermanos por estar siempre presentes, a mi familia que lo es todo, un ejemplo de unidad y lucha constante para alcanzar nuestras metas personales y colectivas.

Al Ingeniero Alonso Zúñiga, por compartirme sus conocimientos y sus experiencias, y por ser un amigo y guía durante el desarrollo de este proyecto.

A la Universidad Técnica Particular de Loja por permitirme ser parte de la prestigiosa carrera de Ingeniería Civil. A través de ésta a sus autoridades y docentes por instruirme en el transcurso de mi formación profesional para adquirir los conocimientos y valores necesarios para servir dignamente a la sociedad

Y finalmente a todas las personas, amigos y empresas que directa o indirectamente ayudaron para la realización y culminación de este proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenido

CARÁTULA	i
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	4
1.1. <i>El ladrillo.</i>	5
1.1.1. Historia del ladrillo.	5
1.1.2. Definición de ladrillo.	6
1.1.3. Geometría del ladrillo.	7
1.1.4. Muestreo de ladrillos.	7
1.1.5. Propiedades de los ladrillos.....	8
1.1.5.1. Propiedades físicas-estéticas.	8
1.1.5.2. Propiedades ingenieriles.....	9
1.1.6. Clasificación de la mampostería de acuerdo a la normativa ecuatoriana.	9
1.1.6.1. Ladrillos macizos.....	9
1.1.6.1.1. Ladrillo tipo A.	10
1.1.6.1.2. Ladrillo tipo B.....	10
1.1.6.1.3. Ladrillo tipo C.....	10
1.1.6.2. Ladrillos Huecos.	10
1.1.6.2.1. Ladrillo tipo D.	11
1.1.6.2.2. Ladrillo tipo E.....	11

1.1.6.2.3.	Ladrillo tipo F.....	11
1.1.7.	Impacto ambiental debido a la generación de escombros (desechos de ladrillos).	12
1.2.	<i>Arcillas</i>	13
1.2.1.	Generalidades.	13
1.2.2.	Definición.	13
1.2.3.	Características de las arcillas.....	14
1.2.4.	Propiedades de las arcillas.	14
1.2.4.1.	Tamaño de las partículas.	15
1.2.4.2.	Plasticidad.....	15
1.2.4.3.	Contracción.....	15
1.2.4.3.1.	Contracción por secado al aire.	16
1.2.4.3.2.	Contracción por cocción o quema.....	16
1.2.4.3.3.	Contracción total.....	16
1.2.4.4.	Refractariedad.	16
1.2.4.5.	Porosidad.....	16
1.2.4.6.	Color.....	17
1.2.5.	Clasificación de las arcillas.	17
1.2.5.1.	Según su origen.....	17
1.2.5.1.1.	Arcillas primarias.	17
1.2.5.1.2.	Arcillas secundarias.	18
1.2.5.2.	Según el grupo mineralógico.	19
1.2.5.2.1.	Grupo Illita.....	20
1.2.5.2.2.	Grupo Caolinita.....	21
1.2.5.2.3.	Grupo de la Montmorilonita.	22
1.2.6.	Sustancias que acompañan a las arcillas.....	23
1.2.6.1.	La sílice.....	23
1.2.6.2.	La alúmina.....	24
1.2.6.3.	Cal.	24
1.2.6.4.	Óxido de Hierro.....	24
1.2.6.5.	Feldespatos.....	25
1.2.6.6.	Materia orgánica.....	25
1.2.7.	Impacto ambiental debido a la extracción de materia prima.	25
CAPÍTULO II: ZONA DE ESTUDIO.....		39
2.1.	<i>Generalidades</i>	40
2.2.	<i>Localización geográfica</i>	40
2.3.	<i>Geología del sitio</i>	43
2.4.	<i>Acceso a la región de Malacatos</i>	43
2.5.	<i>Mina Ceibopamba</i>	45
2.6.	<i>Mina Cangahua</i>	46
2.7.	<i>Potencial mina Chinguilamaca</i>	47
2.8.	<i>Potencial mina Palanda</i>	48

2.9.	<i>Mina de Arena</i>	49
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS		50
3.1.	<i>Materiales</i>	51
3.1.1.	Acilla de Ceibopamba.....	51
3.1.2.	Arcilla Cangahua.....	52
3.1.3.	Arcilla Chinguilamaca.....	52
3.1.4.	Arcilla Palanda.....	53
3.1.5.	Arena fina.....	53
3.2.	<i>Metodología</i>	53
3.2.1.	Caracterización de la materia prima.....	55
3.2.1.1.	Generalidades.....	55
3.2.1.2.	Usos.....	56
3.2.1.3.	Extracción de la materia prima.....	56
3.2.1.4.	Muestreo.....	56
3.2.1.5.	Control por atributos y ensayos físicos.....	58
3.2.1.5.1.	Color.....	58
3.2.1.5.2.	Sensación al tacto.....	62
3.2.1.5.3.	Consistencia.....	63
3.2.1.5.4.	Textura.....	64
3.2.1.5.5.	Impurezas.....	66
3.2.1.5.6.	Análisis granulométrico.....	67
3.2.1.5.7.	Límites de Atterberg.....	68
3.2.1.5.7.1.	Límite líquido.....	69
3.2.1.5.7.2.	Límite plástico.....	69
3.2.1.5.7.3.	Índice de plasticidad.....	70
3.2.1.5.8.	Densidad.....	70
3.2.1.5.9.	Gravedad específica.....	71
3.2.1.6.	Ensayos de carácter químico.....	71
3.2.1.6.1.	Presencia de la materia orgánica.....	72
3.2.1.6.2.	Determinación de carbonatos.....	73
3.2.1.6.3.	Potencial hidrógeno.....	75
3.2.1.6.4.	Superficie específica.....	76
3.2.1.6.5.	Fluorescencia de rayos X (FRX).....	77
3.2.1.6.6.	Difracción de rayos X (DRX).....	81
3.2.1.6.7.	Análisis termogravimétrico (TGA) y (DSC).....	82
3.2.2.	Diseño experimental.....	83
3.2.2.1.	Importancia del estudio.....	83
3.2.2.2.	Compresión diametral.....	84
3.2.2.2.1.	Equipos.....	85
3.2.2.3.	Diseño experimental.....	86
3.2.2.4.	Primera dosificación.....	87
3.2.2.4.1.	Generalidades.....	89
3.2.2.4.2.	Preparación de la mezcla.....	90
3.2.2.4.3.	Hidratación y amasado.....	91

3.2.2.4.4.	Moldeo	92
3.2.2.4.5.	Secado	92
3.2.2.4.6.	Cocción de discos	94
3.2.2.4.7.	Ensayo de compresión diametral	95
3.2.2.4.8.	Factor de optimización	96
3.2.2.5.	Segunda dosificación	97
3.2.2.5.1.	Proceso de elaboración de discos	98
3.2.2.5.2.	Ensayo de compresión diametral para discos quemados a 500 °C y 700°C	99
3.2.3.	Elaboración y caracterización convencional del ladrillo artesanal con mezclas óptimas.	100
3.2.3.1.	Generalidades.	100
3.2.3.2.	Factor de optimización	101
3.2.3.3.	Dosificación de las mezclas óptimas	101
3.2.3.4.	Mezclado.....	102
3.2.3.5.	Amasado	102
3.2.3.6.	Moldeo.....	103
3.2.3.7.	Secado.....	104
3.2.3.8.	Cocción.....	105
3.2.3.9.	Caracterización convencional de ladrillos con mezclas óptimas	106
3.2.3.9.1.	Absorción.....	106
3.2.3.9.2.	Densidad Aparente	107
3.2.3.9.3.	Porosidad.....	108
3.2.3.9.4.	Capilaridad.....	111
3.2.3.9.5.	Compresión simple	112
3.2.3.9.6.	Variación dimensional	114
3.2.4.	Ladrillos producidos artesanalmente.	114
3.2.4.1.	Generalidades	114
3.2.4.2.	Extracción de la materia prima.	115
3.2.4.3.	Preparación de la materia.....	115
3.2.4.4.	Hidratado y amasado.....	116
3.2.4.5.	Moldeo.....	116
3.2.4.6.	Secado.....	117
3.2.4.7.	Cocción.....	117
3.2.4.8.	Caracterización convencional de ladrillos artesanales	118
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN		119
4.1.	<i>Resultados de ensayos por atributos y físicos.</i>	<i>120</i>
4.1.1.	Análisis granulométrico.....	121
4.2.	Resultados de los ensayos químicos.....	123
4.2.1.	Ensayo de contenido de materia orgánica, carbonatos. Superficie específica y potencial hidrógeno (pH).	123
4.2.2.	Ensayo de fluorescencia de rayos X (FRX).	124
4.2.3.	Ensayo de difracción de rayos X.....	126
4.3.	<i>Resultados del análisis térmogravimétrico.</i>	<i>133</i>
4.4.	<i>Ensayo de compresión diametral.</i>	<i>139</i>

4.4.1. Resistencia a la compresión diametral y temperatura.....	146
4.5. Resultados de la caracterización convencional de ladrillos producidos con mezcla óptima.....	148
4.6. Resultados de la caracterización convencional para los ladrillos producidos artesanalmente en la región de Malacatos.....	150
4.7. Discusión.	151
CONCLUSIONES.....	155
RECOMENDACIONES.....	157
BIBLIOGRAFÍA.....	158
ANEXOS.....	164
ANEXOS.....	165
Anexo 1. Ensayos realizados a la materia prima.....	165
Anexo Carta de plasticidad.....	174
Anexo 1. Ensayos realizados a la materia prima. Químicos.....	179
Anexo 2. Ensayos de compresión diametral.....	207
Anexo 2. Ensayos a ladrillos con mezclas óptimas.....	208
Anexo 3. Ensayos a ladrillos hechos a mano por productores de la región.....	212

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Número de ladrillos mínimos a ensayar por cada lote de producción.....	7
Tabla 2. Requisitos de resistencia mecánica y absorción a la humedad que deben cumplir los ladrillos cerámicos (Ecuador)	12
Tabla 3. Características de las arcillas primarias.....	18
Tabla 4. Características de las arcillas primarias.....	19
Tabla 5. Componentes y proporciones para la elaboración de un buen ladrillo	23
Tabla 6. Sensación al tacto. Clasificación del suelo	62
Tabla 7. Clasificación de la consistencia	63
Tabla 8. Textura del suelo.....	65
Tabla 9. Primera dosificación de discos para ensayo de compresión diametral.....	88
Tabla 10. Tabla para segunda dosificación.....	98
Tabla 11. Mezclas con mejores factores de optimización	101
Tabla 12. Resultados de los ensayos por atributos	121
Tabla 13. Resumen de los resultados del ensayo de granulometría, límites de Atterberg y densidad de los suelos	122
Tabla 14. Clasificación de los suelos de acuerdo a la SUCS y la ASSTHO.....	122
Tabla 15. Resultados del ensayo de pH y.....	124
Tabla 16. Resumen del ensayo de fluorescencia de rayos X para cada muestra. Elementos destacados.	125
Tabla 17. Resumen de los resultados del análisis de difracción de rayos X.	132
Tabla 18. Compresión diametral y contracción para la mezcla: Ceibopamba (MCB) y Cangahua (MCA).	139
Tabla 19. Compresión diametral y contracción para la mezcla: Ceibopamba (MCB) y Arena Fina (MAF).....	140
Tabla 20. Compresión diametral y contracción para la mezcla: Ceibopamba (MCB) y Palanda (MPL).....	141
Tabla 21. Compresión diametral y contracción para la mezcla: Palanda (MPL) y Arena fina (MAF).....	142
Tabla 22. Compresión diametral y contracción para la mezcla: Ceibopamba (MCB) y Chinguilamaca (MCH).	143
Tabla 23. Compresión diametral y contracción para la mezcla: Chinguilamaca (MCH) y Arena fina (MAF).	144
Tabla 24. Mezclas con mejores factores de optimización (F.O). Resultado de la compresión diametral.	146
Tabla 25. Resultados de la caracterización convencional de las mezclas óptimas.	149
Tabla 26. Resultados de la caracterización convencional de ladrillos artesanales.	150
Tabla 27. Resumen de caracterización de materia prima.	152
Tabla 28. Resumen comparativo de la caracterización convencional entre Mezclas óptimas y Productores artesanales	154

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Nomenclatura de las partes de un ladrillo: a) Caras y b) Aristas.....	7
Figura 2. Propiedades de los ladrillos.....	8
Figura 3. Ladrillo macizo artesanal.....	10
Figura 4. Ladrillo perforado.....	11
Figura 5. Propiedades de las arcillas.....	14
Figura 6. Estructura molecular del mineral Illita.....	20
Figura 7. Estructura del mineral caolinita.....	21
Figura 8. Estructura cristalina del mineral montmorilonita.....	22
Figura 9. Límites y relieve de la región de Malacatos.....	42
Figura 10. Mapa geológico de Malacatos.....	44
Figura 11. Ubicación geográfica de la Mina Ceibopamba y ruta desde la parroquia Malacatos.....	45
Figura 12. Ubicación geográfica de la Mina de Cangahua y ruta desde la parroquia Malacatos.	46
Figura 13. Ubicación geográfica de la Mina Chinguilamaca y ruta desde la parroquia Malacatos.	47
Figura 14. Relieve y ubicación geográfica de la Mina Palanda.....	48
Figura 15. Mina Ceibopamba.....	51
Figura 16. Mina Chinguilamaca.....	52
Figura 17. Mina potencial Palanda.....	53
Figura 18. Etapas de la metodología.....	54
Figura 19. Primera etapa de la metodología. Caracterización de la materia prima.....	55
Figura 20. Muestreo de materia prima: a) Mina Cangahua; b) Mina Chinguilamaca; c) Mina de arena fina d) Mina Palanda e) Mina Ceibopamba.....	58
Figura 21. Clasificación del color de la materia prima: a) Mina Ceibopamba.....	59
Figura 22. Clasificación del color de la materia prima: b) Mina Cangahua.....	60
Figura 23. Clasificación del color de la materia prima: c) Mina Chinguilamaca.....	60
Figura 24. Clasificación del color de la materia prima: d) Mina Palanda.....	61
Figura 25. Clasificación del color de la materia prima: e) Mina de arena fina.....	61
Figura 26. Sensación al tacto: a) Ceibopamba; b) Arena Fina; c) Chinguilamaca; d) Cangahua.	63
Figura 27. Ensayo de consistencia: a) Ceibopamba; b) Cangahua; c) Chinguilamaca; d) Palanda; e) Arena Fina.....	64
Figura 28. Ensayo de textura.....	66
Figura 29. Inspección visual de impurezas: a) Cangahua; b) Chinguilamaca c) Ceibopamba.....	67
Figura 30. Ensayo de granulometría por el método del hidrómetro.....	68
Figura 31. Equipo de casa grande para límite líquido.....	69
Figura 32. Determinación del límite plástico.....	70
Figura 33. Determinación de la densidad.....	70
Figura 34. Equipo para ensayo de determinación materia orgánica.....	72

Figura 35. Ensayo de determinación de materia orgánica: a) Ceibopamba; b) Cangahua; c) Chinguilamaca; d) Arena fina.	73
Figura 36. Equipo para determinación de carbonatos.....	74
Figura 37. Ensayo de determinación de carbonatos: a) Ceibopamba; b) Cangahua; c) Chinguilamaca; d) Palanda; e) Arena fina.....	75
Figura 38. Medición de pH.	76
Figura 39. Equipo para pulverizar muestras (izq); Equipo para ensayo de F.R.X (der).	78
Figura 40. Resultados de fluorescencia de rayos X de la mina Ceibopamba. Elementos más trascendentes.....	78
Figura 41. Resultados de fluorescencia de rayos X de la mina Cangahua. Elementos más trascendentes.....	79
Figura 42. Resultados de fluorescencia de rayos X de la mina Chinguilamaca. Elementos más trascendentes.....	79
Figura 43. Resultados de fluorescencia de rayos X de la mina Palanda. Elementos más trascendentes.....	80
Figura 44. Resultados de fluorescencia de rayos X de la mina de arena fina. Elementos más trascendentes.....	80
Figura 45. Equipo para difracción de rayos X.....	82
Figura 46. (a) Modo de carga del ensayo de tracción indirecta (b) Modo de ruptura.	85
Figura 47. Equipo Versa Tester para compresión diametral.	86
Figura 48. Segunda etapa de la metodología. Elaboración de mezclas.	87
Figura 49. Tercera etapa de la metodología. Procedo de determinación de mezclas óptimas. ...	89
Figura 50. Proceso de elaboración de moldes para discos de compresión diametral.	90
Figura 51. Tamizado de materia prima Ceibopamba.	90
Figura 52. Mezclado mecánico.	91
Figura 53. Hidratación de la mezcla en fundas cerradas herméticamente.	91
Figura 54. Moldeo de discos.....	92
Figura 55. (a) Estufa para secado de discos; (b) Colocación de discos debidamente etiquetados (c) Discos luego del secado.....	93
Figura 56. Programa de secado de los discos durante 1 día.....	93
Figura 57. (a) Horno de cocción de discos; (b) Horno a 950° C; (c) Discos luego del proceso de cocción.	94
Figura 58. Contracción luego de la quema al horno.	95
Figura 59. Ensayo de compresión diametral.	95
Figura 60. Modos de ruptura del ensayo de compresión diametral.	96
Figura 61. Variación del color de los discos quemados a 500° C y 700°C.....	97
Figura 62. Mezclado y moldeo manual de discos a 500° C y 700° C.....	99
Figura 63. Cuarta etapa de la metodología. Elaboración de ladrillos mejorados y su comparación.	100
Figura 64. Ladrillo producido con la mezcla óptima de Ceibopamba y Cangahua en 80%/20% respectivamente.	102
Figura 65. Amasado a mano de ladrillos producidos con la mezcla óptima.	103

Figura 66. Dimensiones del molde para fabricar ladrillos artesanales.	103
Figura 67. Moldeo de ladrillos producidos con mezcla óptima.	104
Figura 68. Secado en la estufa de ladrillos con mezcla óptima.....	104
Figura 69. Programa de secado de ladrillos producidos con la mezcla óptima	105
Figura 70. Gráfica de temperatura de cocción de los ladrillos producidos con mezcla óptima ..	106
Figura 71. Sumersión de ladrillos con mezcla óptima durante 24 horas.....	107
Figura 72. Secado a la estura para obtener el peso sumergido de ladrillos con mezclas óptimas.	110
Figura 73. Ensayo de capilaridad para ladrillos.....	111
Figura 74.Prensa ACUTEK para el ensayo de compresión simple en ladrillos.	113
Figura 75.Medición de la longitud para el ensayo de variación dimensional.....	114
Figura 76. Apilamiento de la materia prima sin previa preparación.	115
Figura 77. Productores artesanales. (a) Hidratado de la materia prima; (b) amasado de la materia prima	116
Figura 78.Productores artesanales. (a) Molde de madera; (b) Moldeo de ladrillos	117
Figura 79. Secado de ladrillos artesanales al aire libre.....	117
Figura 80. Horno de cocción de ladrillos colocación y quemado.....	118
Figura 81. Muestreo de ladrillos de 5 productores artesanales de Malacatos.	118
Figura 82.Ensayo de FRX. Resumen de la composición química de la materia.	126
Figura 83. Difractograma de rayos X. Mina Cangahua.	127
Figura 84. Difractograma de rayos X. Mina Cangahua.	128
Figura 85.Difractograma de rayos X. Mina Chinguilamaca.	129
Figura 86.Difractograma de rayos X. Mina Palanda.	130
Figura 87.Difractograma de rayos X. Mina de arena fina.	131
Figura 88.Termogramas TGA (verde), DSC (azul) y D2-DSC (café) de la muestra de Ceibopamba	134
Figura 89. Termogramas TGA (verde), DSC (azul) y D2-DSC (café) de la muestra de Cangahua	135
Figura 90. Termogramas TGA (verde), DSC (azul) y D2-DSC (café) de la muestra de Chinguilamaca.	136
Figura 91.Termogramas TGA (verde), DSC (azul) y D2-DSC (café) de la muestra de Palanda.	137
Figura 92.Termogramas TGA (verde), DSC (azul) y D2-DSC (café) de la muestra de Arena fina.	138
Figura 93.F.O de la mezcla de Ceibopamba y Cangahua.....	140
Figura 94. F.O de la mezcla de Ceibopamba y Arena fina.....	141
Figura 95.F.O de la mezcla de Ceibopamba y Palanda.	142
Figura 96.F.O de la mezcla de Palanda y Arena fina.	143
Figura 97. F.O de la mezcla de Ceibopamba y Chinguilamaca.	144
Figura 98.F.O de la mezcla de Chinguilamaca y Arena fina.	145
Figura 99.Variación del esfuerzo de tracción indirecta en función de la temperatura. Tres Mezclas con sus porcentajes respectivos.(ID: 1,2,3)	147

Figura 100.Variación del esfuerzo de tracción indirecta en función de la temperatura. Tres Mezclas (ID: 4,5,6) con sus porcentajes respectivos.	147
Figura 101. Resultados del ensayo de compresión simple para ladrillos con mezclas óptimas.	149
Figura 102.Resistencia a la compresión de ladrillos producidos artesanalmente.	151

RESUMEN

La presente investigación busca mejorar la calidad de ladrillos de arcilla producidos artesanalmente en la región de Malacatos, en Loja. La finalidad es habilitarlo para el uso en la industria local de la construcción y formular procesos de fabricación más amigables al ambiente, para mitigar el impacto ambiental que su producción acarrea debido a la explotación intensiva de recursos no renovables como arcilla. Para ello se obtuvo cinco muestras de diferentes suelos y se realizó su caracterización: ensayos físicos, químicos y mineralógicos. Luego se consideró elaborar discos mediante combinaciones de suelos y variando los porcentajes de mezclas, éstos discos a ser ensayados mediante la prueba de compresión diametral. Con los mejores resultados del ensayo de éste ensayo se fabricaron ladrillos artesanales para su posterior caracterización convencional al igual que los ladrillos obtenidos mediante muestreos aleatorios de cinco productores de la región. Los datos muestran que la mezcla de Ceibopamba y Cangahua en porcentajes de 80% y 20% respectivamente, produjo una mejora del 409% en la resistencia a la compresión en comparación con los ladrillos artesanales producidos actualmente en la región.

Palabras claves: ladrillos, arcilla, optimización, compresión diametral, mezclas.

ABSTRACT

This research seeks to improve the quality of bricks of clay produced in Malacatos's region, in Loja. The purpose is to enable the brick for the use in the local industry of the construction and to formulate processes of the manufacture ecological to mitigate the environmental impact with the intensive exploitation of not renewable resources like clay. For it there were obtained five types of different soils and its was characterized with test: physical, chemical and mineralogical. Then it was considered prepare disks using combinations of soil and varying percentages of mixtures, these discs were tested by means of the test of diametrical compression. With the best test results handmade bricks were elaborated for his later conventional characterization, in the same way was got bricks of five region's productors through the random sampling, those bricks also was conventional characterization and later it was compared. The data show that the mixture Ceibopamba and Cangahua with percentages of 80% and 20% respectively, produced a 409% improvement in compressive strength compared to handmade bricks currently produced in the region.

Keywords: Bricks, clay, optimization, diametral compression test, mixtures.

INTRODUCCIÓN

El ladrillo de arcilla es un material de construcción que es fabricado a base de recursos no renovables que se extraen de las reservas de arcilla y es mezclado con agua; es elaborado a mano y de bajo costo de producción, por ende Bianucci (2009) lo define como el material más antiguo de construcción utilizado por la humanidad y usado en varias las regiones del mundo. López (2009) hace referencia a la utilización del mampuesto hace 9.000 años atrás en su forma más sencilla (adobe) y a través de la historia usados en grandes obras como los zigurats de Mesopotamia y en gran parte de la muralla China. El ladrillo de arcilla brinda a la estructura varias propiedades como la durabilidad, solidez, resistencia a cambios climáticos (ensayos de hielo-deshielo) y de temperatura, aislamiento acústico, alta resistencia al fuego (entre 30 y 240 minutos antes de colapsar), transmitancia térmica, entre otras (García, Zúñiga-Suárez, Márquez, Pérez, Fernández-Martínez, & Hernández-Olivares, 2016) . Sin embargo dada la variedad de propiedades que ofrece y el bajo costo de producción, el ladrillo tiene un amplio potencial de desarrollo tecnológico a pesar que se tiene poco conocimiento fundamental de la composición entre la microestructura y desempeño mecánico. Es por este motivo que existe el interés en desarrollar un nuevo ladrillo con mejores propiedades que cumplan con los desafíos de la industria de construcción. Sin embargo la producción de ladrillos genera un alto impacto ambiental resumido principalmente en consumo de recursos no renovables (canteras de arcilla), consumo de energía, generación de gases que contribuyen al efecto invernadero y generación de desechos (quema de leña para cocción) (Monteiro & Vieira, 2014) (Zhang, 2013) (Mukherjee & Ghosh, 2013). El impacto ambiental generado por el consumo de recursos no renovables para la elaboración de ladrillos artesanales está relacionado con la disponibilidad y la explotación intensiva sin medida de los suelos que deberían estar dispuestos para la conservación de la biodiversidad. En sur américa existen una variedad de familias que tienen como actividad primordial de desarrollo económico la elaboración de ladrillos, sin embargo trabajan con una dosificación de 90% de material arcilloso y 10% de material arenoso, la cual ha sido heredada por sus antecesores. Pero la proporción adecuada depende de las características de la materia prima disponibles en cada sitio, además hay que tener presente que los requisitos por preservar el medio ambiente crecen a continuamente y el desarrollo de una mezcla óptima contribuye de manera efectiva para mitigar el impacto ambiental que la extracción de materia prima para la elaboración de ladrillos artesanales acarrea (Monteiro & Vieira, 2014) (Arsenović, Pezo, Stanković, & Radojević, 2015).

Chamba y Moreno (2011) registran 24 ladrilleras en la región de Malacatos que trabajaron durante 15 años con conocimientos heredados de sus antecesores familiares, manteniendo una producción de entre 5.000 y 10.000 ladrillos mensualmente y de esta manera colaboraron con el desarrollo económico del sector. En la actualidad se ha reducido el número y existen alrededor de 15 productores artesanales únicamente, de acuerdo con los datos proporcionados por el proyecto de eficiencia energética en ladrilleras artesanales de Loja (EELA) y aún se mantiene con los mismos procesos de fabricación arcaicos. Partiendo de estos antecedentes nos preguntamos si es posible encontrar una proporción adecuada entre materiales de la zona para elaborar ladrillos de mejor calidad y que cumplan con la normativa ecuatoriana vigente. El objetivo del presente trabajo de investigación es de mejorar las propiedades del ladrillo tales como la resistencia a la compresión, absorción y variación dimensional y consecuentemente su calidad, con la finalidad de mejorar la producción de ladrillos artesanales de la región y poder formular un proceso de fabricación más amigable al ambiente, que sirva para mitigar el impacto ambiental que su producción acarrea debido a la explotación intensiva e indiscriminada de materia prima (arcilla), esto se logrará mediante la optimización de las mezclas entre materiales de la zona. Para ello nuestros objetivos específicos consisten en realizar la caracterización geológica de las fuentes naturales de arcilla y arenas de la región, determinar la mezcla óptima para la producción de ladrillos artesanales, producir ladrillos a través de la cocción y/o sinterizado de la mezcla óptima, caracterización convencional (porosidad, densidad, absorción de agua, y resistencia a la compresión) de ladrillos producidos con la mezcla óptima, caracterización de ladrillos elaborados por productores artesanales de la región y comparación de resultados.

Para cumplir con los objetivos primero se extrajo un total de cinco muestras de suelos cercanos a la región. Segundo se caracterizó la materia prima, para esto se realizaron los ensayos físicos: color, sensación al tacto, consistencia, textura, impurezas, granulometría por el método del hidrómetro, límites de Atterberg, y densidades; los ensayos químicos de determinación de materia orgánica, determinación del contenido de carbonatos, superficie específica, potencial hidrógeno, fluorescencia de rayos X (FRX), difracción de rayos X (DRX) y análisis termogravimétrico que se lo realizó en la Universidad Politécnica de Madrid al no contar con los equipos necesarios en nuestra localidad. Tercero se realizó un diseño de 21 combinaciones entre las 5 materias obtenidas (ver Tabla 9). Posteriormente se utilizó el ensayo de compresión diametral (test Brasileño) para determinar las mejores mezclas; para ello se elaboraron 3 por cada mezcla, se quemaron a 950 °C y fueron ensayados; luego se determinaron las mejores

mezclas en función de la menor contracción que sufre un disco y el mayor valor del factor de optimización similar a la eficiencia descrita por Del Coz Díaz, García Nieto, Álvarez Rabanal y Lozano Martínez-Luengas (2011). De este ensayo se obtuvo un total de seis combinaciones con mejores indicadores y con estas mezclas se elaboraron discos para ser quemados a 500 °C (3 discos por cada muestra) y 700 °C (3 discos por cada muestra) y de esta manera obtener la temperatura de cocción con mejores propiedades de resistencia a compresión diametral (ver Figura 99). En cuarto lugar se elaboró ladrillos con las 6 combinaciones óptimas, siguiendo el proceso de mezclado, hidratado, moldeado, secado y horneado teniendo mucho cuidado en cada parte del proceso para evitar fisuras y daños al mampuesto Finalmente se realizó lo que denominamos como caracterización convencional de los ladrillos, que consiste en los ensayos de absorción, variación dimensional y compresión simple principalmente (INEN 297, 1977) y adicionalmente también porosidad, densidad aparente y capilaridad.

La presente investigación permite determinar varias mezclas entre materiales de la zona para elaborar ladrillos que cumplan con los requisitos descritos en la normativa ecuatoriana para ladrillos hechos a mano y formular un proceso de elaboración más amigable al medio ambiente que su producción acarrea. Existe una substancial mejora en la calidad del ladrillo resumido en sus propiedades especialmente en la resistencia a la compresión aunque no se investiga a fondo acerca de la coloración del ladrillo.

En el capítulo 1 se describe el marco teórico: la historia, definiciones, propiedades y clasificación del ladrillo de igual manera que la arcilla y sus elementos que la componen, propiedades y sus diferentes clasificaciones. En el capítulo 2 se describe la zona de estudio: generalidades, las coordenadas de cada mina, geología del sitio y su accesibilidad. El capítulo 3 es la descripción de la metodología utilizada en esta investigación, desde el muestreo y caracterización de la materia prima hasta la elaboración de ladrillos artesanales con las mezclas óptimas y su caracterización convencional. En el capítulo 4 se detalla el análisis resultante de cada ensayo descrito en la metodología y una breve discusión de las partes más importantes. Finalmente se realizan las conclusiones pertinentes y unas recomendaciones para futuras investigaciones.

CAPÍTULO I
MARCO TEÓRICO

1.1. El ladrillo.

1.1.1. Historia del ladrillo.

El ladrillo de arcilla es uno de los materiales de construcción más antiguos utilizados por el hombre. En principio se fabricaban los adobes, puesto que contaban con la materia prima de fácil acceso (“material arcilloso”) y los nativos se dieron cuenta que al mezclar con agua se formaba una pasta que luego de un tiempo de secado se endurece, obteniendo mediante este proceso el ladrillo crudo (ver figura 1). Sin embargo el adobe al ser atacado por la influencia de las precipitaciones se deforma y erosiona por lo que en distintas regiones, se empezó a desarrollar métodos de cocción, con lo cual el ladrillo artesanal adquiere una estabilidad importante como material de construcción. El hombre en la antigüedad desarrolló muchas técnicas para la elaboración del ladrillo artesanal utilizando elementos de la madre naturaleza como: la tierra y el agua (mezclado y amasado), el aire (secado) y el fuego (cocción); sin embargo hasta la actualidad se ha realizado muy pocas variantes tecnológicas (Bianucci, 2009).

El ladrillo posee características como la facilidad de elaboración y colocación, bajo coste de producción, rigidización de los mampuestos etc., siendo probablemente estas varias de las razones para que a lo largo de la historia, no se pueda determinar una fecha exacta del origen, y tampoco el lugar en que se inició con el uso del ladrillo. Sin embargo Mediante investigaciones realizadas se ha podido estipular que el uso del ladrillo se remonta a las antiguas civilizaciones de Medio Oriente, específicamente a lo que hoy en día conocemos como Irak e Irán, pero probablemente, las caravanas de los pueblos nómadas, las conquistas de Alejandro Magno, las rutas comerciales de Marco polo y las conquistas del imperio romano contribuyeron entre otras costumbres a la expansión del uso del ladrillo (Bianucci, 2009).

Bianucci define al ladrillo como “una piedra artificial” con forma geométrica, que al ser mezclada la materia prima (arcilla) con agua, y luego de un proceso de secado y cocción, adquiere una gran dureza. Es por esta razón, la regularidad de la forma, la facilidad de producción y colocación que hicieron que poco a poco los pueblos antiguos vayan cambiando el uso de la piedra por el ladrillo en las pequeñas y grandes construcciones (Bianucci, 2009).

La Basílica de Santa Sofía en Turquía es un ejemplo del crecimiento para el uso extendido del ladrillo en la antigua Europa, siendo utilizado no solamente como decorativo, sino también como elemento estructural. Ésta construcción contribuye a la popularización del ladrillo en la

región, promocionándose como característica principal la facilidad de producción y colocación (Bianucci, 2009).

Ya para el siglo XX los países que más contribuyeron en el desarrollo tecnológico del ladrillo artesanal son Italia y España. (Bianucci, 2009). España es también influida por la cultura musulmana para el uso del ladrillo en Andalucía, Aragón y Castilla. (López P. , 2011) En Centroamérica se utilizaba adobes de grandes dimensiones para las casas, pero para las grandes edificaciones se utilizaba la piedra tallada. Del mismo modo en América no se encuentran vestigios del uso del ladrillo en las grandes construcciones, únicamente el uso de la piedra escuadrada y pulimentada. A la llegada de los conquistadores se extendió el uso del ladrillo, ya sea crudo (adobe) o cocido, puesto que los incas únicamente utilizaban la piedra en el altiplano y el adobe en las regiones costeras (Bianucci, 2009).

En los párrafos antecesores se ha tratado de resumir en gran medida una breve reseña histórica del ladrillo para resaltar la antigüedad y el poco desarrollo de las tecnologías de este gran material de construcción. Sin embargo existen muchas más obras en los que el ladrillo ha sido pieza fundamental, es por esto que destacamos la importancia de la optimización, no solo de procesos sino de una caracterización técnica para una mezcla adecuada de materiales.

1.1.2. Definición de ladrillo.

La norma técnica ecuatoriana de la construcción INEN 607, 1981, define al ladrillo como un elemento prismático-rectangular de dimensiones normalizadas, teniendo en cuenta que en la fabricación se debe emplear métodos actualizados para su utilización y por ende en la fabricación (INEN 607, 1981).

La norma técnica peruana de la construcción define al ladrillo como un elemento de albañilería que luego de ser procesado (moldeado, extruido o prensado y cocido en un horno), posee características de uniformidad en el caso de los ladrillos industriales mientras que los ladrillos artesanales presentan variaciones de unidad a unidad. Tancun (2008) define al ladrillo como material de construcción fundamental para la albañilería.

El ladrillo es un material de construcción de forma de paralelepípedo, que tiene como materia prima a las arcillas, que son moldeables cuando están en estado húmedo y se endurecen luego de la cocción. Su proceso de producción es sencillo, fundamentalmente consiste en: mezclado, moldeado, secado al aire y cocción. Posee propiedades de absorción, porosidad y resistencia a

la compresión, que lo hacen al ladrillo cerámico un elemento atractivo de construcción además de su bajo coste de producción.

1.1.3. Geometría del ladrillo.

Existen distintas denominaciones tanto para las caras del ladrillo como para sus dimensiones, sin embargo en este documento nos referiremos de acuerdo al gráfico. Así las dimensiones de largo, ancho y espesor, se las denomina sogá, grueso y tizón, respectivamente. De la misma manera las caras del ladrillo son: tabla, canto y testa, de mayor superficie a menor respectivamente (Barreto, 2013).

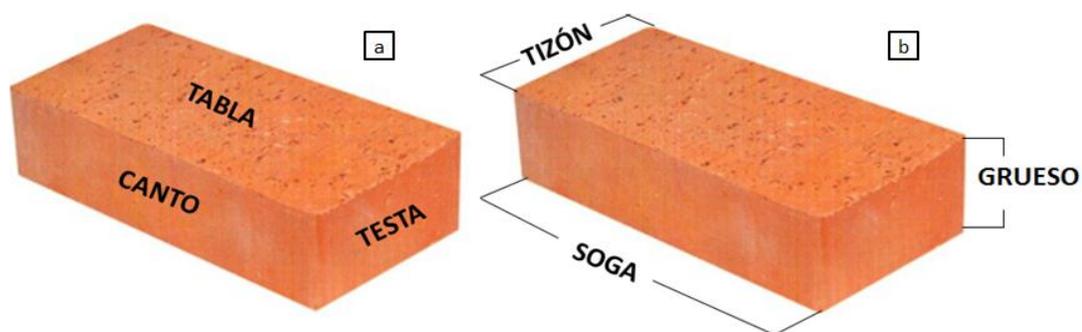


Figura 1. Nomenclatura de las partes de un ladrillo: a) Caras y b) Aristas
Fuente: Barreto (2013)

1.1.4. Muestreo de ladrillos.

El muestreo de los ladrillos es parte importante en el proceso para la caracterización de la producción, es por ello que se debe realizar con mucha responsabilidad y teniendo en cuenta la normativa vigente ecuatoriana, la cual establece varios planes de muestreo para ladrillos no refractarios producidos de arcilla moldeada, debiendo ser muestreado cada ladrillo de acuerdo a su condición. Para ello se presenta la Tabla 1 de criterios de aceptación y rechazo de los lotes inspeccionados de ladrillos cerámicos.

Tabla 1. Número de ladrillos mínimos a ensayar por cada lote de producción

Tamaño del lote	Unidades de muestreo
1 200 o menor	3
Desde 1 201 hasta 35 000	5
Mayor de 35 000	8

Fuente: INEN 292 (1977)
Elaborado: El autor.

1.1.5. Propiedades de los ladrillos.

Existen muchas propiedades que se pueden analizar en los ladrillos cerámicos de arcilla, puesto que son utilizados en la construcción, entre las propiedades más utilizadas son: la resistencia a la compresión y absorción de agua. (Nelso Afanador García, 2012). La mayoría de autores realizan una caracterización previa de la materia prima utilizada para la elaboración de ladrillos (arcillas), para luego contrastar la información con los ensayos en los ladrillos.

En general existen dos grandes clasificaciones de las propiedades de los ladrillos cerámicos teniendo en cuenta que van a ser utilizados en la albañilería, las cuales se muestran en la Figura 2 así:



Figura 2. Propiedades de los ladrillos.
Fuente: García (2012) y Gallegos (2005)

1.1.5.1. Propiedades físicas-estéticas.

- Dimensión.- Las dimensiones son variadas y dependen del uso del ladrillo, en general se tiende a guardar una relación alrededor de 2 a 1 entre la soga (largo) y el tizón (ancho)
- Color.- El color depende fundamentalmente de dos factores: el tipo de arcilla, siendo el óxido de hierro un elemento fundamental para dar el color rojizo al ladrillo; y la temperatura de cocción determinándose gradientes de temperatura para un ladrillo mal cocido.
- Textura.- En función del uso y colocación del ladrillo, la textura puede ser lisa o rugosa. La primera se utiliza para los denominados ladrillos de vista y la segunda para brindar una mayor adherencia con el mortero.

1.1.5.2. Propiedades ingenieriles.

Gallegos (2005), clasifica como propiedades ingenieriles, a las relacionadas con la resistencia estructural y la durabilidad.

- Propiedades relacionadas con la resistencia estructural
 1. Resistencia a la compresión.- Se determina mediante un ensayo técnico específico para los ladrillos y muestra la resistencia de los mismos ante un esfuerzo de compresión.
 2. Peso.- En lo posible deben tener el menor peso posible para reducir cargas muertas y de esta manera alivianar estructuras.
 3. Variabilidad dimensional.- Relacionada con los cambios de cada una de las dimensiones del ladrillo, largo, ancho y espesor
 4. Alabeos.- Se determina ya sea convexo o cóncavo en las caras del ladrillo, especialmente en la tabla.
- Propiedades relacionadas con la durabilidad
 1. Absorción de humedad.- Medida que se la expresa en porcentaje de acuerdo a la norma ecuatoriana (INEN296, 1977), y es la propiedad de un sólido de retener agua en estado líquido.
 2. Resistencia al fuego.- Propiedad que permite al ladrillo cerámico, no sufrir daños ante el ataque de altas temperaturas.
 3. Aislamiento térmico.- Propiedad de los ladrillos de brindar baja conductividad térmica, por lo tanto evita la transferencia de calor.

1.1.6. Clasificación de la mampostería de acuerdo a la normativa ecuatoriana.

La norma técnica ecuatoriana (NEC) de la construcción clasifica al ladrillo cerámico de arcilla en dos grandes grupos: los ladrillos macizos y los ladrillos huecos. (INEN 297, 1977)

1.1.6.1. Ladrillos macizos.

Se distinguen tres tipos de ladrillos macizos, tipo A, tipo B y tipo C, de acuerdo a la clasificación realizada por la normativa ecuatoriana de la construcción.



Figura 3. Ladrillo macizo artesanal.
Fuente: El autor.

1.1.6.1.1. Ladrillo tipo A.

Cuya característica es de ser un ladrillo de alta calidad con una resistencia a la compresión mínima de 20 MPa por unida de ladrillo. Aristas y ángulos rectos, no debe poseer eflorescencias y en general debe ser un ladrillo de alta calidad que se logra principalmente mediante reprensado (INEN 297, 1977).

1.1.6.1.2. Ladrillo tipo B.

A diferencia del ladrillo tipo A, éste puede ser fabricado a mano pudiendo tener imperfecciones en sus caras exteriores y por tal razón existe una tolerancia de hasta 5 mm en sus aristas, de color rojizo y una resistencia a la compresión mínima de 14 MPa (INEN 297, 1977)

1.1.6.1.3. Ladrillo tipo C.

Cuya resistencia a la compresión simple mínima es de 6 MPa , de similares características que el ladrillo tipo B, diferenciándose esencialmente en el límite permisivo para la variación de sus aristas, con un valor de máximo 5 mm (INEN 297, 1977).

1.1.6.2. Ladrillos Huecos.

Deberán ser elaborados a máquina, que no posean deformaciones en sus aristas y ángulos rectos y de color rojizo. Existen tres tipos de ladrillos huecos que la norma distingue los cuales son: tipo D, tipo E y tipo F (INEN 297, 1977).

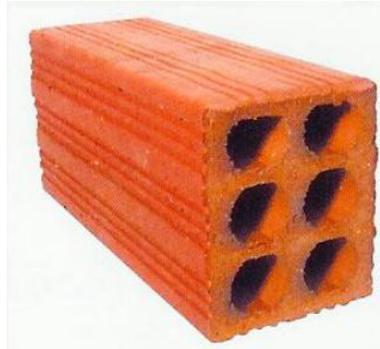


Figura 4. Ladrillo perforado.
Fuente: Quillupangui (2011).

1.1.6.2.1. *Ladrillo tipo D.*

Los ladrillos tipo D deberán poseer una resistencia a la compresión simple mínima de 5 MPa por unidad de ladrillo y ser fabricados para ser utilizados en tabiques divisorios no soportantes, relleno de losas alivianadas de hormigón armado y principalmente en la construcción de muros soportantes, teniendo en cuenta siempre la definición de ladrillos huecos (INEN 297, 1977).

1.1.6.2.2. *Ladrillo tipo E.*

En función de la utilización del ladrillo y teniendo en cuenta como definición que todo ladrillo hueco debe ser elaborado de buenas características, el ladrillo tipo E podrá ser utilizado solo en el relleno de losas alivianadas de hormigón armado y en la construcción de tabiques divisorios no portante, y poseer una resistencia a la compresión simple mínima de 4 MPa por unidad de ladrillo (INEN 297, 1977).

1.1.6.2.3. *Ladrillo tipo F.*

Posee por ser el último tipo de ladrillo hueco la única funcionalidad de ser utilizado como relleno de losas alivianadas de hormigón armado, con una resistencia a la compresión simple mínima de 3 MPa por unidad de ladrillo (INEN 297, 1977).

A continuación se muestra una tabla de requisitos mínimos de resistencia a la compresión y absorción para los diferentes tipos de ladrillos cerámicos de acuerdo a la N.T.E (INEN 297, 1977), y para el muestreo de cada lote de ladrillos se debe utilizar la norma INEN 292.

Tabla 2. Requisitos de resistencia mecánica y absorción a la humedad que deben cumplir los ladrillos cerámicos (Ecuador)

TIPO DE LADRILLO	Resistencia mínima a la compresión (Mpa)		Absorción máxima de humedad %
	Promedio de 5 unidades	Individual	Promedio de 5 unidades
Macizo tipo A	25	20	16
Macizo tipo B	16	14	18
Macizo tipo C	8	6	25
Hueco tipo D	6	5	16
Hueco tipo E	4	4	18
Hueco tipo F	3	3	25
Método de ensayo	INEN 294		INEN 296

Fuente: INEN 297 (1977).

Elaborado: El autor.

1.1.7. Impacto ambiental debido a la generación de escombros (desechos de ladrillos).

Los productores de ladrillos artesanales generan impacto ambiental debido a la generación de desechos. Estos escombros nacen al momento de retirar los ladrillos del horno y observar que no todos los ladrillos poseen buenas características para ser comercializados. En la región de Malacatos la generación de escombros obtiene hasta un valor de 8.33% (en relación a su producción mensual) debido a que no se seleccionan los materiales adecuados ni las mezclas idóneas para la elaboración de los ladrillos. (Chamba & Moreno, 2011). Casado (2005) en su artículo de procesos de producción más limpias en ladrilleras en el Cuzco, también explora valores de desechos de ladrillos que van desde el orden del 5% hasta un 15% que registran contaminación ambiental.

La contaminación ambiental se da puesto que no existe un lugar definido para acumular los residuos de ladrillos cocidos y sumado a la desinformación y falta de cultura ambiental de los habitantes de la región de Malacatos, arrojan los desechos a las orillas del río o en lugares que generan impacto visual desagradable, que va en contra con la belleza natural de la región.

1.2. Arcillas.

1.2.1. Generalidades.

La mayoría de las arcillas, materia prima para elaborar el ladrillo, químicamente es conocida con el nombre de silicato hidratado de alúmina ($Al_2O_3 - 2SiO_2 - 2H_2O$). Sin embargo dependiendo del tipo de arcilla, la topografía y el lugar donde se extrae, pueden contener cantidades de óxidos de calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro, etc., siendo éste último el que brinda el color característico rojizo a los ladrillos cocidos (Hornbostel, 2000).

En la industria, la arcilla es muy valiosa por sus características tanto de localización como de su plasticidad. Cuando es humedecida, es fácilmente moldeable, mientras que luego de un proceso de secado, adquiere gran dureza, razón fundamental en la aplicabilidad para la construcción. Las arcillas poseen diferentes composiciones y puesto que provienen de rocas aluminosas y silicosas están formadas por minerales característicos arcillosos como el grupo caolinita, grupo de la montmorilonita y el grupo illita, pero también poseen minerales propios como los feldespatos y cuarzo (Hornbostel, 2000). Rhodes (1990), establece que la corteza terrestre está conformada en gran parte por rocas feldespáticas cuyo componente principal es el mineral feldespato, y mediante el envejecimiento de la tierra se produce la descomposición de éstas rocas formando así las arcillas.

1.2.2. Definición.

La arcilla es un material de textura terrosa, cuyos componentes principales son los silicatos y el aluminio. (Del río, 1975). (Del Busto, 1991). Sin embargo la mayoría de los autores coinciden en que las arcillas son producto de la descomposición rocosa, producida por los agentes medioambientales (Del Busto, 1991) (Kohl, 1975).

Para efectos de este proyecto de investigación resumiremos a la arcilla como la materia prima para la elaboración de ladrillos, teniendo en cuenta que es producto de una descomposición de las rocas feldespáticas, cuya característica de plasticidad es determinada por la distribución y el tamaño de las partículas que la componen. Los tamaños de las partículas del material arcilloso definen a las propiedades físico mecánico porosidad, absorción y resistencia a la flexión.

1.2.3. Características de las arcillas.

A continuación se presentan varias características de las arcillas que se determinan mediante ensayos químicos y que influyen en el producto terminado:

- Cuarzo.- Determina el grado de refractariedad. También podemos decir que el contenido de cuarzo es inversamente proporcional al grado de plasticidad y retracción.
- Sílice.- Contribuye en el producto terminado con una mejora en la resistencia a la compresión y aumenta la plasticidad de la materia prima.
- Óxido de hierro.- Contribuye directamente al color rojizo del ladrillo, actúa como corrector o fundente y reduce la temperatura de fusión.
- Feldespatos.- Similar al óxido de hierro disminuye la temperatura de cocción.
- Filosilicatos.- Pueden ser de manganeso, hierro y aluminio, y ayudan a las propiedades plásticas de las arcillas (Del Busto, 1991).

1.2.4. Propiedades de las arcillas.

A continuación se definen varias de las propiedades de las arcillas, haciendo un enfoque en las arcillas utilizadas para la elaboración de ladrillos de acuerdo a la Figura 5.

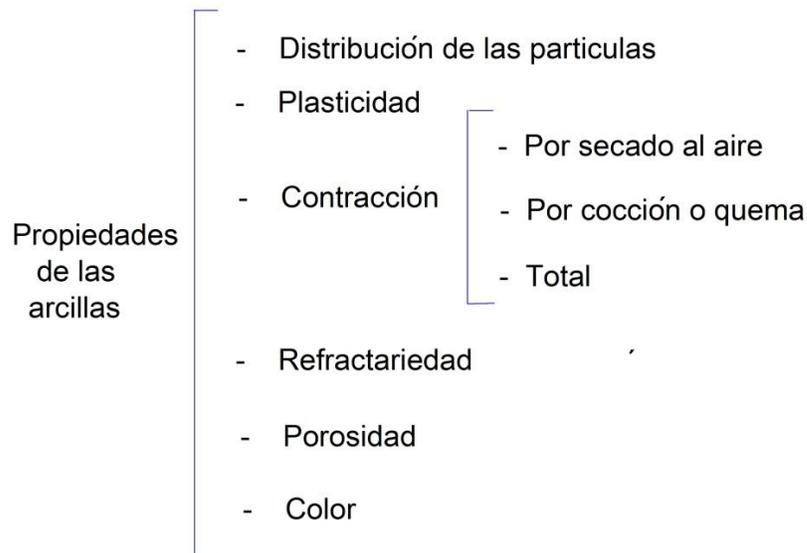


Figura 5. Propiedades de las arcillas.
Fuente: Barranzuela (2014) y Del río (1975)

1.2.4.1. Tamaño de las partículas.

El sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) describe a los suelos de acuerdo a su tamaño, en arenas para aquellos suelos cuya distribución granulométrica se encuentre entre 4.75 mm a 0.075mm, mientras que debajo de 0.075 mm de diámetro en arcillas. Al mezclarse las arcillas adquieren una característica de amplia área superficial por unidad de volumen, aunque existen grandes cantidades de arcilla cuya distribución de las partículas muestra un porcentaje elevado de partículas con diámetro menor a 0.001mm. Éste tipo de mezcla entre varias arcillas ya sea por efecto de la sedimentación o transporte, hacen que las arcillas aprovechen el cuarzo y feldespatos de otros suelos ricos en estos minerales (Barranzuela, 2014).

1.2.4.2. Plasticidad.

Es la propiedad principal de las arcillas que al ser mezcladas con la cantidad suficiente de agua, puede ser moldeada y tomar la forma que el artesano desee.

La plasticidad técnicamente se produce al humedecer la arcilla y al tener ésta las partículas pequeñas, con textura alargada, plana y delgada, se forma una película alrededor de las partículas que hacen que se adhieran a las partículas consecuentes. El contenido de carbón y la atracción química son dos componentes que también influyen directamente en la plasticidad, sin embargo la forma de medición se limita al tacto o a los límites de Atterberg (Barranzuela, 2014). Cada arcilla posee su plasticidad característica, debido a que la estructura interior varía según el tipo de arcilla juntamente con el contenido de materias extrañas (Del río, 1975).

1.2.4.3. Contracción.

Es la propiedad que tienen las arcillas humectadas de reducir sus dimensiones al ser expuestas a un proceso de incremento de temperatura. Este proceso inicia con la hidratación de la pasta que posee un alto contenido de humedad y luego de ser secada pierde agua, consecuentemente disminuye sus dimensiones.

Debido a que la contracción está supeditada a la acción de la elevación de temperaturas para la evaporación del agua, la contracción se clasifica en: contracción por secado al aire, cocción o quema y contracción total.

1.2.4.3.1. *Contracción por secado al aire.*

La contracción por secado al aire se produce inmediatamente luego del amasado-moldeado del ladrillo y antes de introducirlo al horno de cocción. Se determina una variación dimensional, la cual no debe ser de mayor consideración para efectos de calidad.

1.2.4.3.2. *Contracción por cocción o quema.*

Se produce durante la etapa de cocción del ladrillo, la cual se inicia una vez que el ladrillo posea las características suficientes de manejabilidad y dureza, ósea luego del secado al aire.

1.2.4.3.3. *Contracción total.*

Es una medida que se toma para observar y determinar la variación dimensional entre el volumen al momento de ser moldeado el ladrillo y el volumen luego de la cocción o quema.

Cabe indicar que en cualquier exceso, ya sea del secado al horno o la quema, producirá fisuras en los ladrillos.

1.2.4.4. *Refractariedad.*

Es una propiedad que está directamente relacionada con los contenidos de Alúmina y Sílice, cuyas características se refieren a la resistencia que le brindan a las arcillas para resistir al incremento de temperatura, debiendo saber que todas las arcillas poseen esta propiedad (Barranzuela, 2014).

1.2.4.5. *Porosidad.*

Es una propiedad de las arcillas que es directamente proporcional con el tamaño de las partículas de arcilla, así mientras mayor sea el tamaño, mayor será la porosidad y viceversa. Por obvias razones mientras más pequeñas sean las partículas, ocuparan los espacios de la unidad de mampostería y evitarán que los ocupe el agua de amasado, que luego del secado se convertirán en vacíos (poros).

1.2.4.6. Color.

Frecuentemente las arcillas se presentan de colores como el gris, rojo y amarillo, sin embargo existen diversidad de colores y tonalidades para las diferentes tipos de arcilla. Aunque las arcillas con mayor grado de pureza son de color blanco (Del río, 1975). Esta coloración se da en función de la química de la arcilla, así por ejemplo el óxido de hierro brinda a la arcilla un color rojizo.

1.2.5. Clasificación de las arcillas.

Las arcillas usualmente son usadas ampliamente en la industria de la cerámica, siendo un pilar fundamental como materia prima para la elaboración de ladrillos, sin embargo no se conoce a profundidad, ni se ha realizado estudios acerca de su geología, mineralogía o desarrollo tecnológico (De liberto, 1964). Es por esta razón que creemos importante realizar una breve clasificación de las arcillas para tener un criterio técnico de las aplicabilidades de acuerdo a sus minerales.

Las arcillas al igual que muchos materiales son clasificados de acuerdo al criterio del autor; para efectos del presente proyecto de investigación se ha creído conveniente clasificarlas en función de la composición mineralógica y del origen de las mismas

1.2.5.1. Según su origen.

1.2.5.1.1. Arcillas primarias.

Del Río (1975) y Gallegos (2005) coinciden en que las arcillas provienen de las rocas primarias, mediante la degradación y erosión de las rocas ígneas y los feldespatos y particularmente poseen los depósitos más puros y escasos de encontrar.

Lo que contamina a las arcillas son las impurezas y los agentes que adquieren al ser transportados por el aire o por el agua. Las arcillas primarias poseen la particularidad de no haber sufrido por éste proceso, por lo que son altamente puras. En muchos depósitos se encuentran fracciones de roca inalterada y normalmente se acostumbra a observar que las arcillas primarias tienen una baja plasticidad y tamaños grandes de granos en su distribución granular (Hamilton, 1989).

A pesar del alto grado de pureza de las arcillas primarias o también denominadas residuales, es muy difícil encontrar depósitos con un 100% de pureza, puesto que también son contaminadas al mezclarse con otras arcillas y adquirir sus minerales (Barranzuela, 2014).

A continuación se muestra un resumen dado por Barranzuela, (2014) de las características principales como color, pureza, plasticidad y temperatura de cocción de las arcillas primarias

Tabla 3. Características de las arcillas primarias

Propiedad	Descripción
Color	Blanco.- Producto de su bajo contenido de impurezas
Pureza	Alta
Refractariedad	Alta.- Puesto que se funde a 1750° C
Plasticidad	Baja

Fuente: Barranzuela (2014).
Elaborado por: el autor.

1.2.5.1.2. *Arcillas secundarias.*

Las arcillas secundarias o sedimentarias son las que se encuentran con mayor facilidad, puesto que abundan a lo largo de la corteza terrestre, debido a que son producto del transporte de la arcilla, por acción del aire, agua o hielo (Del río, 1975).

Se denominan arcillas sedimentarias puesto que no se encuentran localizadas en el mismo lugar en el que fue desintegrada la roca madre, sino que han sido transportadas por acción de algún agente. Lo más común es el transporte por agua, se derivan en dos fases, durante la primera las partículas de arcilla sufren un desgaste por acción del rozamiento y en la segunda fase las partículas se separan por sedimentación. (Barranzuela, 2014).

Aunque los depósitos se encuentran con facilidad, el grado de pureza de las arcillas secundarias se ve afectado al ser obtenidas mediante el mezclado de varias arcillas y la erosión de las rocas, es por esta razón que es muy característico encontrar contenidos de cuarzo, hierro y mica. Sin embargo existe un tipo de arcillas que posee un nivel superior de pureza entre este tipo de arcillas, se les denomina “arcillas de bola” (Barranzuela, 2014).

A continuación se detallan las características de las arcillas secundarias del mismo modo como se realizó para las arcillas residuales o primarias.

Tabla 4. Características de las arcillas primarias

Propiedad	Descripción
Color	Diversos en función de los elementos que lo componen (ej. hierro – rojizo)
Pureza	Baja
Plasticidad	Generalmente alta, aunque depende de la distribución de las partículas

Fuente: Barranzuela (2014).

Elaborado por: El autor

1.2.5.2. Según el grupo mineralógico.

Las investigaciones acerca de la mineralogía de las arcillas se inicia hace relativamente poco tiempo, en los años 1930, en función de su antigüedad como tal. La causa podría ser que posee una amplia gama de formaciones mineralógicas que dependen de muchos agentes. La determinación del grupo mineralógico es de suma importancia e influencia en las propiedades físicas (Badillo, 2005).

En general las arcillas están constituidas por silicatos de aluminio hidratados, aunque también en ocasiones se presentan silicatos de magnesio hidratado y de hierro también hidratados. etc., los cuales se encuentran en las rocas metamórficas y rocas ígneas y pasan por procesos de descomposición química. Por lo regular estos minerales hidratados poseen una estructura de cristales bien definida y sus átomos están dispuestos en láminas (alumínica y silícica) (Badillo, 2005).

La lámina silícica forma un tetraedro, y para ello utiliza cuatro átomos de oxígeno y en el centro un átomo de silicio. Éstos tetraedros se disponen en forma hexagonal para lo cual un átomo de oxígeno le sirve a la estructura como unión entre cada tetraedro.

Las estructura laminar alumínica está formada por octaedros, los cuales están formados por seis átomos de oxígeno dispuestos alrededor de un átomo de aluminio; un átomo de oxígeno sirve como unión entre cada octaedro para formar la estructura. (Badillo, 2005).

Existen diversas tipos, pero Badillo (2005) clasifica a los minerales de arcilla en función de su estructura reticular, y define a tres grandes grupos: las illita, caolinitas y la montmorilonita.

1.2.5.2.1. Grupo Illita.

Posee características especiales que dependiendo del uso, son favorables o no para la actividad comercial. Así el grupo de arcillas illita tiene una tendencia a la formación de terrones en su estructura interna, lo cual reduce la exposición de la superficie al agua por unidad de volumen, y posee una baja expansión. (Badillo, 2005)

La illita es un filosilicato, con un sistema cristalográfico monoclinico y se encuentra dispuesto en la arcilla como agregados muy pequeños de colores que van desde grises a blancos.

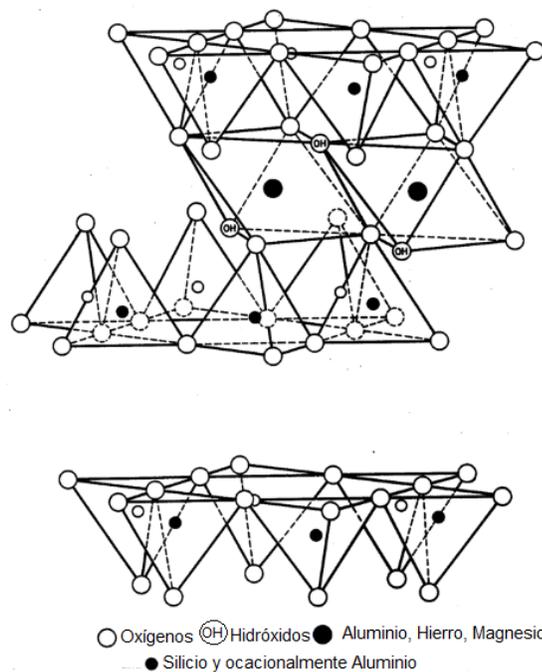


Figura 6. Estructura molecular del mineral illita.
Fuente: García y Suárez (2016)

Su fórmula química es:



Es difícil de precisar una cantera de arcilla illita puesto que para su identificación se requiere de difracción de rayos X. Se forman en altos ambientes de temperatura y precipitaciones y son comunes de suelos sedimentarios principalmente y rocas metamórficas (Ibáñez).

1.2.5.2.2. Grupo Caolinita.

Las arcillas pertenecientes al grupo de las caolinitas son bastante estables, al momento en que se encuentran en medios acuosos, puesto que poseen dos láminas: aluminica y silícica, que se intercalan indefinidamente haciendo que la unión entre las retículas sea lo suficientemente firme para adquirir muy buenas propiedades de adsorción (Badillo, 2005).

El término caolinita es procedente de la provincia de Kiangsi – China, donde se encuentra un importante yacimiento de este material y su significado es: “alta montaña” (Bartolomé, 1997).

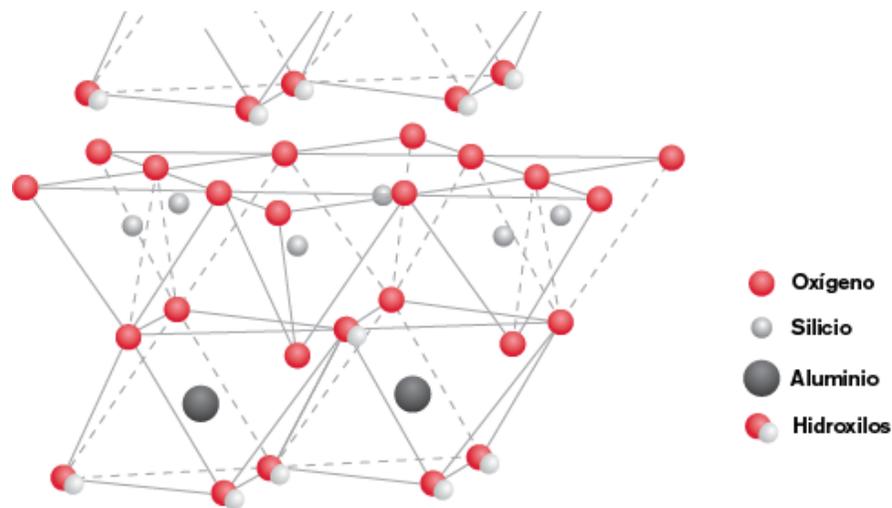
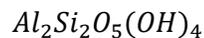


Figura 7. Estructura del mineral caolinita.
Fuente: García (2014)

La aplicabilidad del caolín al proceso de fabricación de éstos materiales y específicamente del ladrillo, es porque posee propiedades tales como: resistencia mecánica luego de la cocción, elevada refractariedad, disponibilidad y bajo coste (Bartolomé, 1997).

De acuerdo a Bartolomé (1997) la fórmula estructural de la caolinita es:



Las arcillas caoliníferas son de origen sedimentario con alto contenido de caolinita mezclados con otros minerales como: óxidos de hierro, micas y feldespatos. Puesto que son de origen refractario se las utiliza en la fabricación de cerámicas sin tratamiento previo alguno (Bartolomé, 1997).

En general Bartolomé (1997) clasifica a las arcillas caoliníferas con tres grupos: ballclays, Fireclays, Flintclays y underclays, las cuales poseen características específicas de acuerdo al color, plasticidad, granulometría y minerales que las acompañan. Las fireclays son las arcillas cuyas características son de contener altas cantidades del mineral caolinita desordenada y bajos contenidos de óxido de hierro, sin embargo no son muy rentables puesto que también poseen cantidades de titanio. Las Flintclays son por el contrario mucho más comerciales puesto que son muy resistentes y con buena densidad luego de la calcinación (Bartolomé, 1997).

1.2.5.2.3. Grupo de la Montmorilonita.

Están formadas por dos láminas silícicas y una lámina aluminica entrelazadas y superponiéndose indefinidamente. Al contrario de las caolinitas el agua puede penetrar con relativa facilidad puesto que la unión entre las retículas es débil, esto conlleva a que los cristales que conforman la arcilla se expandan. Cabe indicar que la montmorilonita al estar en contacto con el agua presenta inestabilidad. Un grupo de este tipo de arcilla es la bentonita, que entre sus características principales es su alta plasticidad, sin embargo hay que tener muy presente que su expansividad es muy aguda, lo que afecta directamente en el comportamiento mecánico (Badillo, 2005).

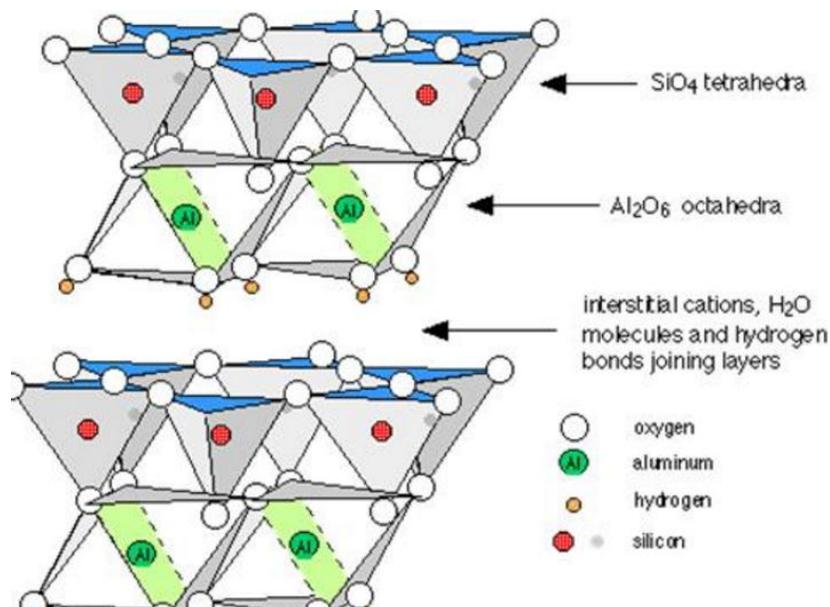
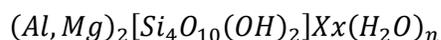


Figura 8. Estructura cristalina del mineral montmorilonita.
Fuente: QuimiNet (2014).

Ibáñez define al grupo de la montmorilonita como hidrosilicatos mezclados con varios elementos entre los cuales se encuentra el magnesio y el aluminio. Pertenece a un sistema cristalográfico monoclinico y cuya subclase es el filosilicato, habitualmente encontrado en cortezas y agregados granulares.

Su fórmula química es:



1.2.6. Sustancias que acompañan a las arcillas.

Los suelos que mayor se adaptan para la elaboración de ladrillos son las arcillas, ya que están compuestas por silicatos de alúmina hidratados y acompañados de carbonatos de calcio, óxido de hierro, etc.

Quillupangui (2011) propone una tabla donde muestra los compuestos y los porcentajes óptimos para la arcilla que va a ser empleada en la elaboración de un buen ladrillo.

Tabla 5. Componentes y proporciones para la elaboración de un buen ladrillo

COMPONENTE	PORCENTAJE
Sílice	50 – 60%
Alúmina	20 – 30%
Cal	10%
Magnesia	< 1%
Óxido de hierro	< 7%
Álcalis	< 10%

Fuente: Quillupangui (2011).
Elaborado por: El autor.

A continuación se describe un resumen de las funciones que cumplen algunas de las sustancias características de los ladrillos.

1.2.6.1. La sílice.

La sílice es un compuesto presente en la mayoría de tierras, comúnmente lo observamos en forma de cuarzo, y está formado por oxígeno y silicio. Se puede usar la sílice como base para la elaboración de cemento, cerámicas, vidrio, etc., y también posee la propiedad de eliminar la humedad donde la encuentre (Quillupangui, 2011).

La sílice le brinda al ladrillo cocido tres propiedades fundamentales: durabilidad, la capacidad de conservar su forma y previene los cambios excesivos volumétricos; sin embargo el exceso de cantidad de sílice sin mezclar no siempre es deseable (Quillupangui, 2011).

1.2.6.2. La alúmina.

La alúmina juntamente con el dióxido de silicio (sílice) son los elementos con mayor porcentaje constituidos de la arcilla que brindan al ladrillo su característica de resistencia y sus componentes son el oxígeno y el aluminio. Al unirse el óxido y el aluminio (alúmina) adquieren un mayor punto de fusión que el aluminio mismo y mejoran significativamente su dureza (Quillupangui, 2011).

La refractariedad es otra característica que se obtiene cuando la alúmina está presente en las arcillas en altas cantidades, absorbiendo agua y ganando plasticidad (Quillupangui, 2011).

1.2.6.3. Cal.

La cal es de procedencia sedimentaria y a los yacimientos de cal se los denomina “caliches”. La fórmula química es CaO y es conocido también como óxido de calcio. (Quillupangui, 2011)

El óxido de calcio (CaO) al contacto con el agua, eleva la temperatura de ésta haciendo que se llegue hasta los $90\text{ }^{\circ}\text{C}$, punto en el cual se forma el hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$, sin embargo hay que tener mucho cuidado puesto que al ponerlo en contacto con algún ser vivo deshidrata sus tejidos (Quillupangui, 2011).

Comúnmente la cal se encuentra en las arcillas en porcentajes por debajo del 10%, y contribuye en la adherencia, aunque un incremento producirá que el ladrillo pierda sus propiedades de forma (Quillupangui, 2011).

1.2.6.4. Óxido de Hierro.

Normalmente el óxido de hierro tiene como función fundamental dar coloración al producto terminado, sin embargo una excesiva cantidad producirá un color azul. Está formado por oxígeno y Hierro (FeO) (Quillupangui, 2011).

Los suelos arcillosos generalmente poseen menos del 7% de hierro, que aporta a propiedades como la durabilidad e impermeabilidad, le brinda al ladrillo resistencia, tiende a reducir el punto de fusión y sobre todo contribuye en la durabilidad del producto terminado (Quillupangui, 2011).

1.2.6.5. Feldespatos.

La importancia del estudio de los feldespatos radica en que forman parte de un gran número de rocas y puesto que su estudio permite determinar características relacionadas con la formación de la litósfera (Garcés).

1.2.6.6. Materia orgánica.

El grado de plasticidad de las arcillas está dado en función del contenido de materia orgánica de un yacimiento, así, el contenido de materia orgánica es un indicador para conocer la pérdida de masa de las arcillas una vez que han sido extraídas de la mina. Por lo regular se espera que no sobre pase índices bajos de hasta un 2%, sin embargo en ocasiones pudieran obtenerse contenidos de materia orgánica de hasta un 10% (Swisscontac, 2011).

1.2.7. Impacto ambiental debido a la extracción de materia prima.

El impacto ambiental que se genera también está enfocado debido a la mala extracción de materia prima. Los productores de ladrillos utilizan materia prima indiscriminadamente para la elaboración de los mismos, puesto que su conocimiento sobre las propiedades y características de las arcillas es casi nulo, siendo el traspaso de información ancestral la única fuente confiable para ellos. Es por esto que no siempre se extrae la materia prima idónea restringiendo así zonas que podrían ser destinadas a asentamientos o en su defecto para la agricultura (Chamba & Moreno, 2011).

Según Chamba y Moreno (2011) el impacto ambiental que produce la extracción de arcillas en la región de Malacatos es la producción de polvo. Esto se debe a la explotación indiscriminada, irracional y sin ningún tipo de medida de seguridad industrial.

CAPÍTULO II:
ZONA DE ESTUDIO

2.1. Generalidades.

Malacatos es una parroquia situada a 33 Km del cantón Loja, con un área superficial de 208.66Km^2 , un clima subtropical-seco y una temperatura promedio de $20,6\text{ }^\circ\text{C}$. Tiene una población de 7 114 habitantes de acuerdo al censo realizado por el INEC (2010) (Municipio de Loja, 2016).

Las actividades que sostienen económicamente a la parroquia de Malacatos son la agricultura y ganadería; sirviéndose también de actividades de construcción, comercio y manufactura. Ésta última está íntimamente relacionada con la producción de aguardiente, panela y ladrillos. (GAG Malacatos, 2013).

Según la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (2013) y los estudios realizados por las empresas Swisscontact y DEPROSUR, el sector productivo ladrillero cuenta con 16 fábricas artesanales, las cuales producen un total de 86 750 unidades mensualmente; la producción de ladrillos depende de la temporada y de la rapidez para ser comercializados (no se producen ladrillos mientras haya en stock) y su comercialización depende de la calidad de los mismos. El precio fluctúa entre valores desde 160 hasta 180 dólares el lote de 1 000 unidades, siendo nuevamente el factor determinante, la calidad del ladrillo.

La mano de obra para la manufactura del ladrillo es fundamentalmente de carácter familiar, ya sea de forma directa (los hombres) o de forma indirecta (las mujeres para actividades que no requieren de fuerza). La mayoría de las ladrilleras utilizan hornos propios con capacidad para 5 000 y 10 000 ladrillos obteniéndose un promedio de la capacidad de los hornos de 7 500 ladrillos. La materia prima utilizada por los productores artesanales de la región de Malacatos para la elaboración de los ladrillos artesanales es de una sola clase.

2.2. Localización geográfica.

La parroquia de Malacatos se encuentra delimitada al norte por la parroquia El Tambo y la ciudad de Loja; al este por la parroquia Sabanilla y el cantón Zamora; al sur por la parroquia San Pedro de Vilcabamba y Vilcabamba; y al oeste por la parroquia de Purunuma y parte del cantón Quilanga. Ver Figura 9.

Malacatos posee un relieve variado, desde los 1 360 hasta los 2 931 msnm., pero una altura promedio de 1 790 msnm. Está ubicada en la zona UTM S17 al sur del cantón Loja. El centro de la parroquia posee coordenadas X: 693 217 e Y: 9 533 451 (GAG Malacatos, 2013).

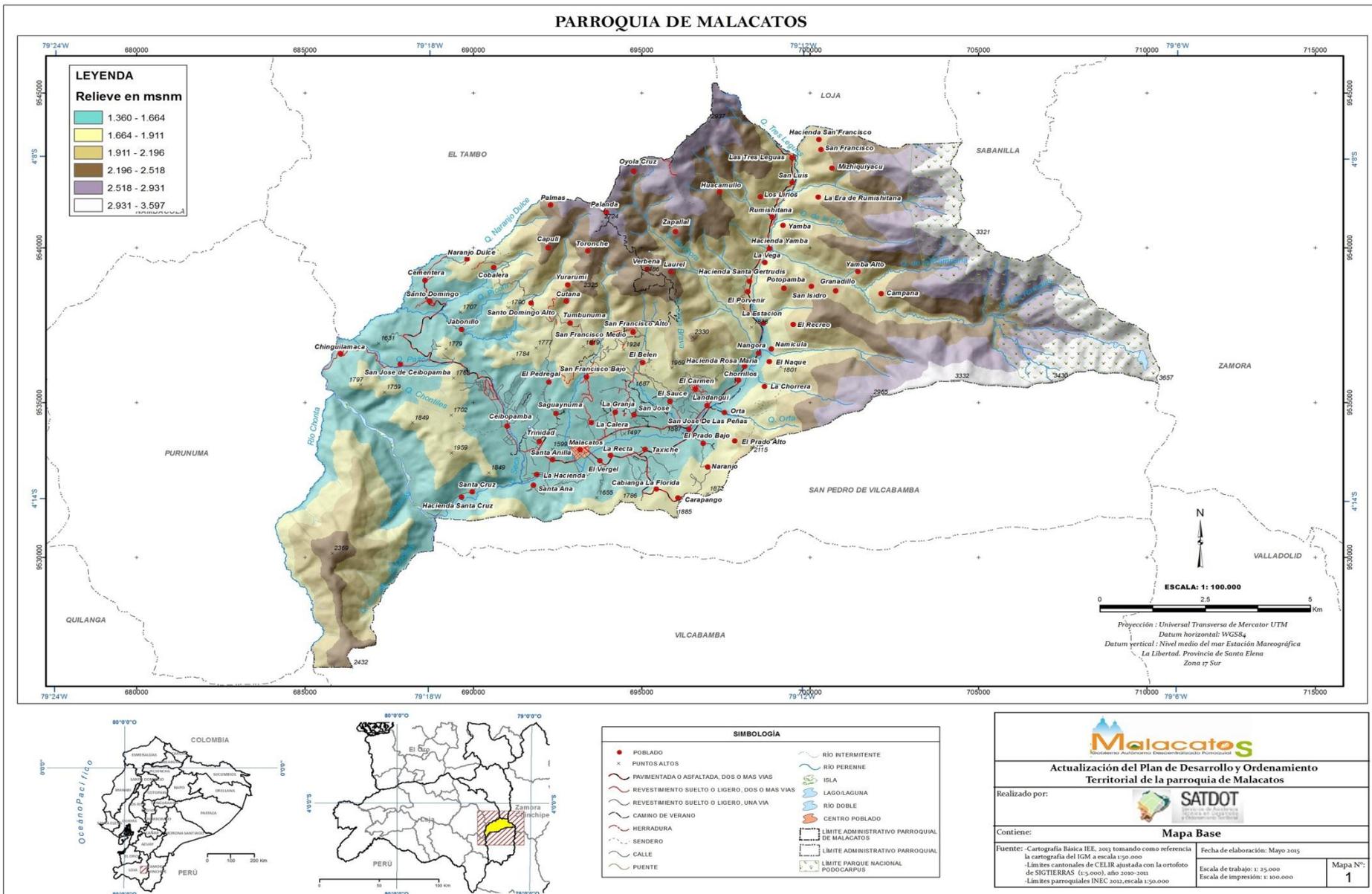


Figura 9. Límites y relieve de la región de Malacatos.
Fuente: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (2013).

2.3. Geología del sitio.

En términos geológicos la región de Malacatos que está atravesada por el río de su mismo nombre, se encuentra ubicada en una depresión (llamada “depresión andina”) entre la cordillera real, la cual en su mayoría posee rocas metamórficas, y la cordillera occidental, que está formada por rocas volcánicas (GAD Malacatos, 2015).

Malacatos está constituida por las siguientes formaciones: trigal, loma blanca, serie Zamora, Quillollaco, San Cayetano y varios depósitos aluviales (GAD Malacatos, 2015) . En la Figura 10 se detalla la ubicación de las formaciones geológicas del sector de Malacatos. Así por ejemplo el sector de Ceibopamba se encuentra formando parte de la formación Sacapalca cubierta de tobas andesíticas.

2.4. Acceso a la región de Malacatos.

La región de Malacatos se encuentra a 33 Km de distancia desde el cantón Loja. Se puede acceder vía terrestre por medio de traslado vehicular, aunque existe un sendero dispuesto para realizar un recorrido en bicicleta o a pie.

Dentro de la parroquia de Malacatos los productores se movilizan por medio de volquetas para el transporte del material y haciendo uso de camiones para la distribución de los ladrillos, lo cual significa un esfuerzo adicional que aumenta los costos de producción por unidad de ladrillo.

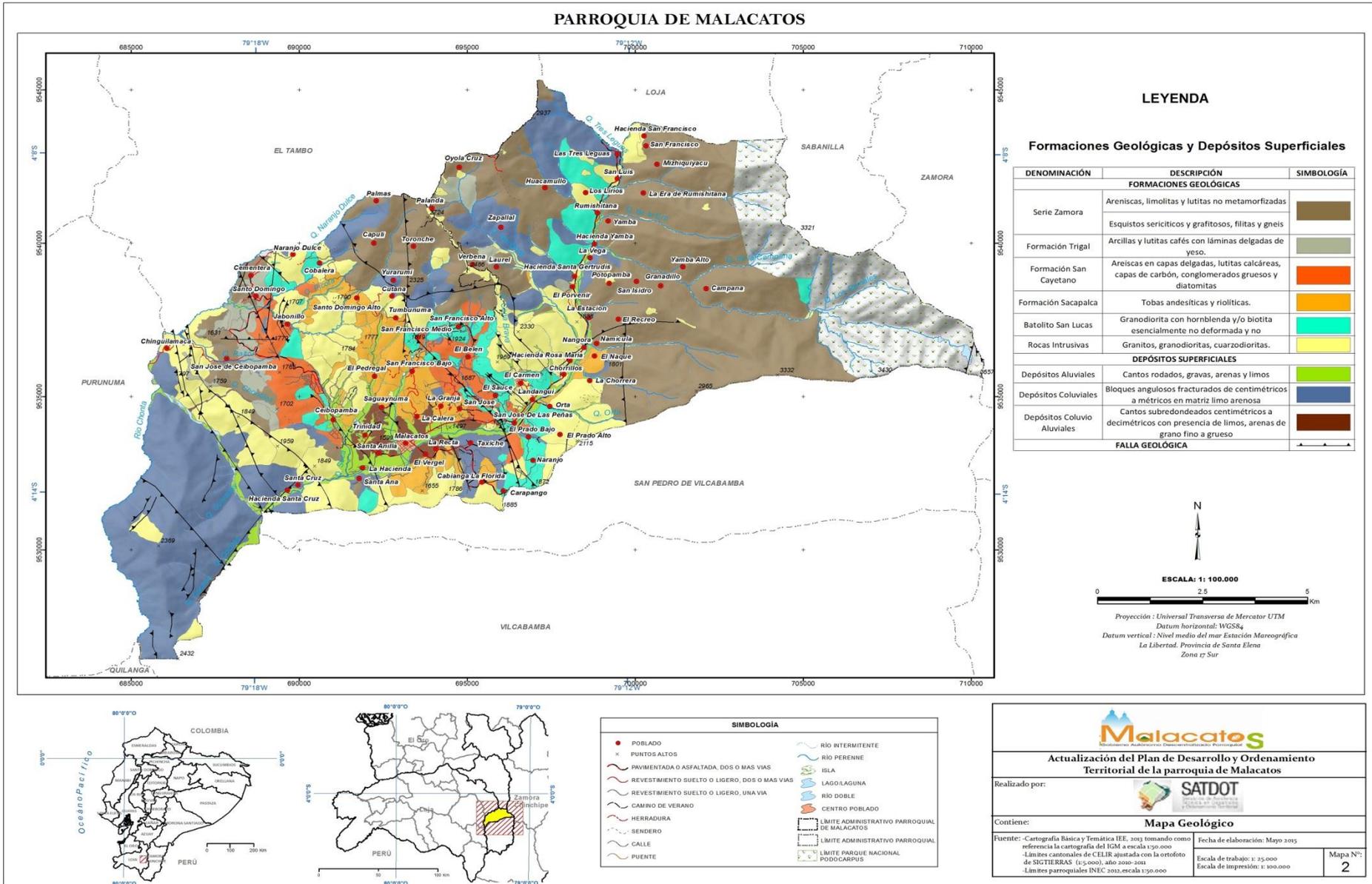


Figura 10. Mapa geológico de Malacatos.
Fuente: GAD Malacatos (2013).

2.5. Mina Ceibopamba.

La mina Ceibopamba es la más utilizada por los productores artesanales de arcilla. El acceso a esta mina es relativamente sencillo y se lo observa en la Figura 11, puesto que para llegar a la mina desde el parque central de Malacatos, se debe utilizar la vía a El Tambo alrededor de 4,5 km y luego tomar un desvío hacia la mina (éste desvío se encuentra en mal estado). La vía a El Tambo se encuentra en proceso de reconstrucción, sin embargo la mayor parte del tramo que nos conduce a la mina se encuentra asfaltado.

La mina se encuentra situada en la zona 17 Sur.

Coordenadas UTM:

17 M 690961;

UTM 9535511

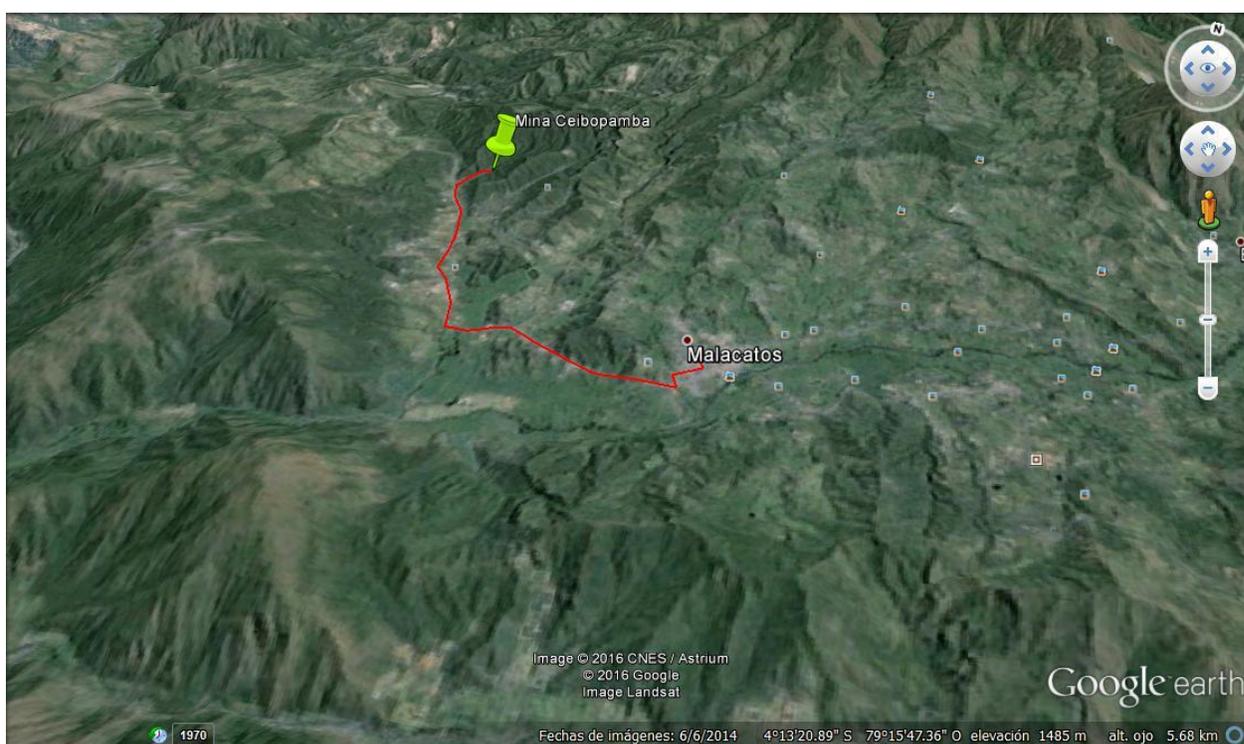


Figura 11. Ubicación geográfica de la Mina Ceibopamba y ruta desde la parroquia Malacatos.
Fuente: Google earth (2016).

2.6. Mina Cangahua.

Los productores que utilizan este material “arcilloso” Cangahua lo denominan puesto que la roca madre posee este nombre. Muy pocos productores artesanales ocupan este material puesto que tiene un valor adicional a la materia prima extraída de la mina de Ceibopamba debido a que sufre de un proceso de trituración. El acceso a esta potencial mina es aún más sencillo que la mina Ceibopamba, localizándose alrededor de 1,5 kilómetros del parque central de la parroquia Malacatos (ver Figura 12) y se puede ingresar mediante cualquier tipo de vehículo.

La mina se encuentra situada en la zona 17 Sur.

Coordenadas UTM:

17 M 692957;

UTM 9534552

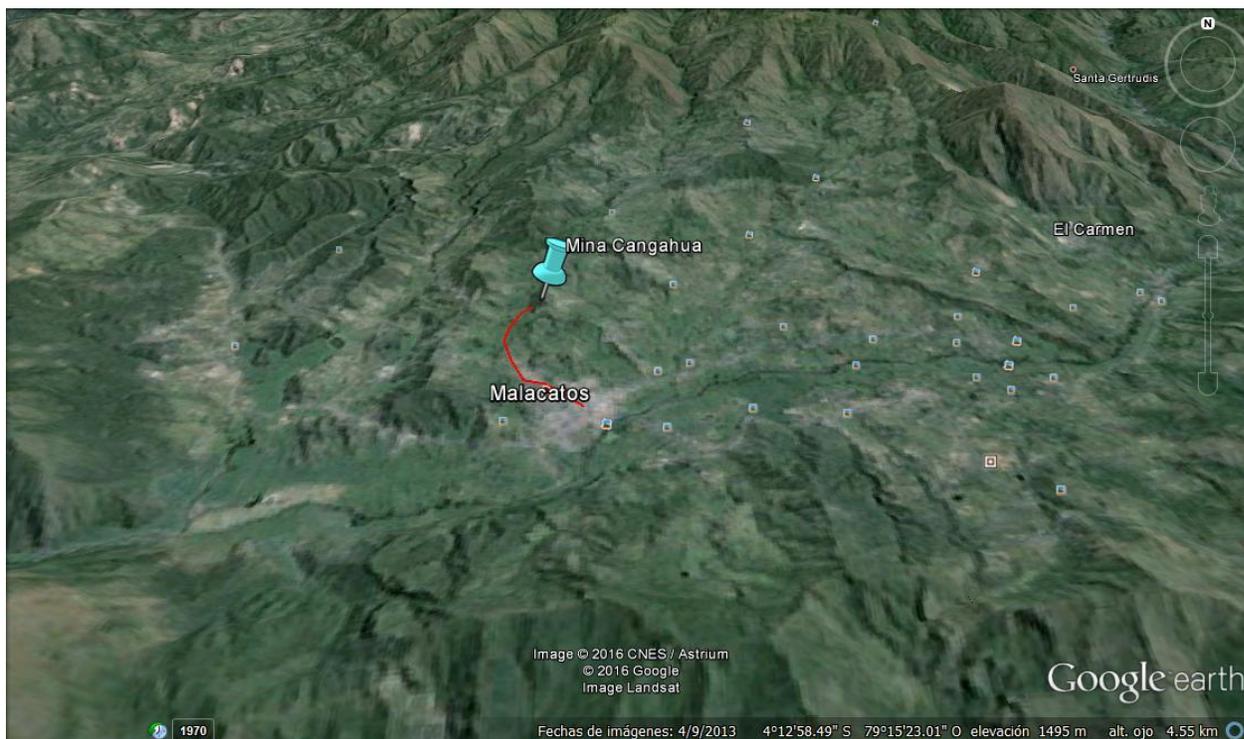


Figura 12. Ubicación geográfica de la Mina de Cangahua y ruta desde la parroquia Malacatos.
Fuente: Google earth (2016).

2.7. Potencial mina Chinguilamaca.

El nombre de la mina está dispuesto de acuerdo al sector en donde se encuentra. Los productores de ladrillos del sector muestran un interés en el potencial que posee la mina Chinguilamaca, este interés se basa únicamente en su experiencia. Sin embargo la utilización del materia “arcilloso” apto para la elaboración de ladrillos, merece un criterio técnico; es por esta razón que se ha tomado muestras de esta mina para sus análisis y determinación de la idoneidad del material existente en el sitio. Para efectos de este estudio lo hemos denominado “Potencial Mina Chinguilamaca” (MCH) y se encuentra ubicado a 8,74 km desde el centro de la parroquia de Malacatos (ver Figura 13).

El sector de muestreo de la materia prima se encuentra situada en la zona 17 Sur.

Coordenadas UTM:

17 M 692957;

UTM 9534552

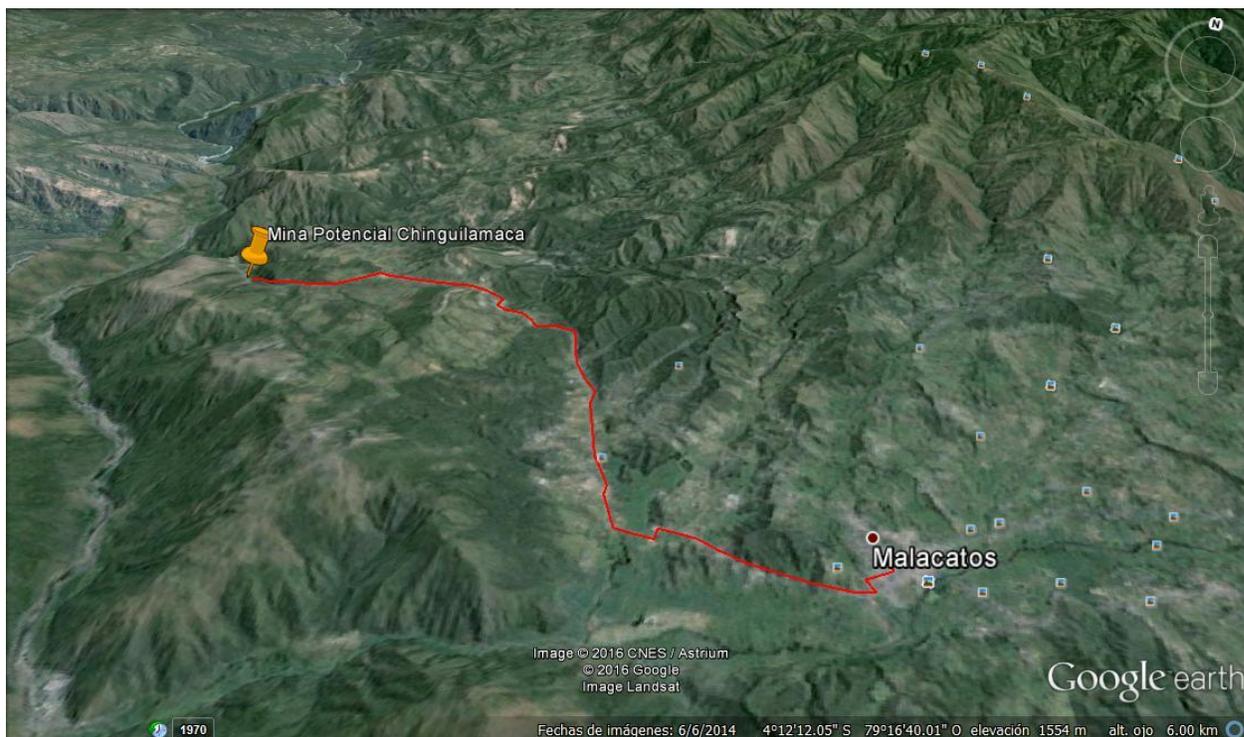


Figura 13. Ubicación geográfica de la Mina Chinguilamaca y ruta desde la parroquia Malacatos. Fuente: Google earth (2016).

2.8. Potencial mina Palanda.

El nombre de la potencial mina se debe al nombre del sector, de igual manera que la potencial mina Chinguilamaca, existe un interés entre los productores de ladrillos artesanales de la región de Malacatos y el proyecto de eficiencia energética en ladrilleras artesanales (EELA), puesto que el suelo del sector cuenta con un color característico rojizo lo que indica una presencia de hierro y pudiese ser un posible material de extracción de materia prima. Sin embargo el criterio técnico de la idoneidad del material para la elaboración de ladrillos artesanales lo determinaremos mediante la caracterización del material. La potencial mina se encuentra ubicada en el sector denominado Palanda y es por esta razón que lo hemos denominado “Mina Potencial Palanda” (MPL). Cabe indicar que el acceso a este sitio se debe realizar por medio de transporte especial (vehículos de tracción doble) debido a la irregularidad de la vía y se encuentra ubicada en la zona montañosa alta de Malacatos sobrepasando los 1 500 msnm (ver Figura 14).

El sector de muestreo de la materia prima se encuentra situada en la zona 17 Sur.

Coordenadas UTM:

17 M 692957;

UTM 9534552

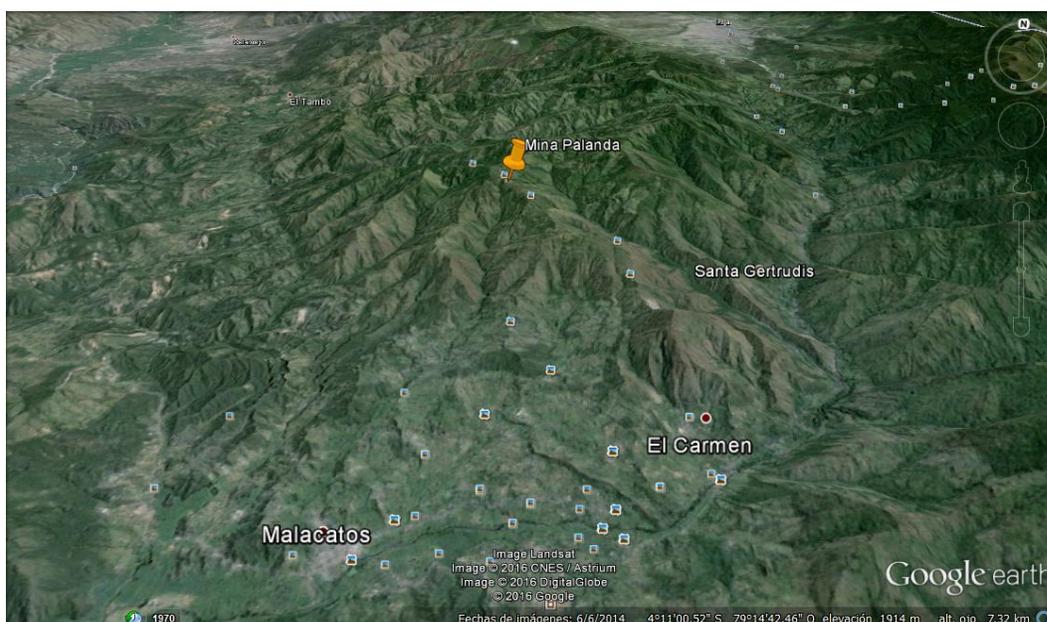


Figura 14. Relieve y ubicación geográfica de la Mina Palanda.

Fuente: Google earth (2016).

2.9. Mina de Arena.

El sector ladrillero en su mayoría utiliza únicamente la materia prima extraída desde la mina Ceibopamba. Sin embargo un sólo productor utiliza la arena, por lo que para efectos de esta investigación se ha considerado pertinente introducir las propiedades que la arena brinda al producto terminado. Existen en la región de Malacatos varios sectores de donde se extrae arena fina para la construcción, pero en este trabajo investigativo utilizamos la muestra proveniente del sector de Chinguilamaca cuyas coordenadas se encuentran definidas en el apartado 2.7.

CAPÍTULO III
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales.

Tradicionalmente los productores de ladrillos artesanales en el sector de Malacatos han utilizado una mezcla entre “material arcilloso” (90%) y “material arenoso” (10%), sin embargo en la actualidad los productores se encuentran utilizando únicamente “material arcilloso”.

Para el desarrollo de esta investigación se utilizaron cinco tipos de materiales: a) “arcilla Ceibopamba”, b) “arcilla Cangahua”, c) “arcilla Chinguilamaca”, d) “arcilla Palanda” y e) “arena fina”. La elección de estos tipos de materiales se lo hizo en función de los datos proporcionados por el Gobierno Provincial de Loja dentro del proyecto de eficiencia energética en ladrilleras artesanales (EELA) y conjuntamente con el apoyo de los productores artesanales del sector de Malacatos puesto que son los que están directamente relacionados con la materia prima.

3.1.1. Acilla de Ceibopamba.

Este “material arcilloso” extraído de la mina del sector de Ceibopamba es utilizado por todos los productores artesanales de la región de Malacatos puesto que existe a simple vista un gran potencial de extracción y de la misma manera la facilidad de acceso. Una buena razón para el uso de este material es su trabajabilidad. El ensayo de fluorescencia de rayos X muestra la presencia de sílice en mayor cantidad que otras minas (64,8%), Aluminio (Al) 22,1% y Hierro (Fe) 6,4%.



Figura 15. Mina Ceibopamba.
Fuente: El autor.

3.1.2. Arcilla Cangahua.

La arcilla Cangahua es un “material arcilloso” que es utilizado por un 10% de los productores de ladrillos artesanales, y lo mezclan conjuntamente con la el “material arcilloso” extraído de la mina de Ceibopamba. La baja demanda de este tipo de material se debe a que es triturado antes de ser utilizado (coste adicional) y los productores no poseen ningún tipo de criterio técnico para utilizar la cantidad necesaria, optimizar la mezcla y los costos de producción. Cabe indicar que al ser previamente tratado se observa un material muy fino. El ensayo de fluorescencia de rayos X muestra el material posee en mayor cantidad porcentajes de Silicio (Si) 62,5%, Aluminio (Al) 21,4% y Hierro (Fe) 6,99%.

3.1.3. Arcilla Chinguilamaca.

La arcilla del sector de Chinguilamaca es un “material arcilloso” de color amarillento, no posee mucha plasticidad a simple vista, por el contrario tiende a ser un material de tipo arenoso. Es un posible potencial de extracción materia prima, aunque se encuentre un poco más alejado del sector ladrillero, sin embargo la idoneidad del mismo se lo determinará mediante pruebas de laboratorio. El ensayo de fluorescencia de rayos X muestra el material posee en mayor cantidad porcentajes de Silicio (Si) 51,8%, Aluminio (Al) 18,1% y Calcio (Ca) 1,94%.



Figura 16. Mina Chinguilamaca.
Fuente: El autor.

3.1.4. Arcilla Palanda.

El “material arcilloso” extraído del sector Palanda posee un color característico rojizo, lo cual indica presencia de hierro el cual posee una propiedad especial de reducir la temperatura de cocción. Otra característica que posee a simple vista este material es la baja plasticidad, lo cual se determinará con certeza en los ensayos de laboratorio. El ensayo de fluorescencia de rayos X muestra el material posee en mayor cantidad porcentajes de Silicio (Si) 47,9%, Aluminio (Al) 31,2% y Hierro (Fe) 15,45%.



Figura 17. Mina potencial Palanda.
Fuente: El autor.

3.1.5. Arena fina.

Los productores de ladrillos artesanales de la región de Malacatos utilizaban hace varios años la arena fina y la extraían de diversos sitios. En la actualidad los productores han ido reduciendo este material puesto que supone un coste adicional al ladrillo terminado, sin embargo la arena fina brinda algunas propiedades por lo que se ha creído pertinente tomar en cuenta este tipo de material. El ensayo de fluorescencia de rayos X muestra el material posee en mayor cantidad porcentajes de Silicio (Si) 62,6%, Aluminio (Al) 10,7% y Potasio (k) 1,94%.

3.2. Metodología

Para mayor entendimiento del lector se ha dividido en 4 etapas el proceso de esta investigación (ver Figura 18). En la primera etapa se expone todo lo referente a la materia prima y su

caracterización tanto física como química. En la segunda etapa se describe el número de mezclas que se va a realizar con sus respectivos porcentajes (diseño de mezclas). En la tercera etapa se detalla el proceso y criterios de obtención de las mezclas óptimas. Finalmente se realizaron los ladrillos con las mezclas óptimas al mismo tiempo que se muestrearon ladrillos producidos artesanalmente para luego caracterizarlos mediante ensayos convencionales y comparar los resultados.



Figura 18. Etapas de la metodología.
Fuente: El autor.

PRIMERA ETAPA

En la primera etapa se expone todo lo referente a la materia prima y su caracterización tanto física como química (Figura 19).

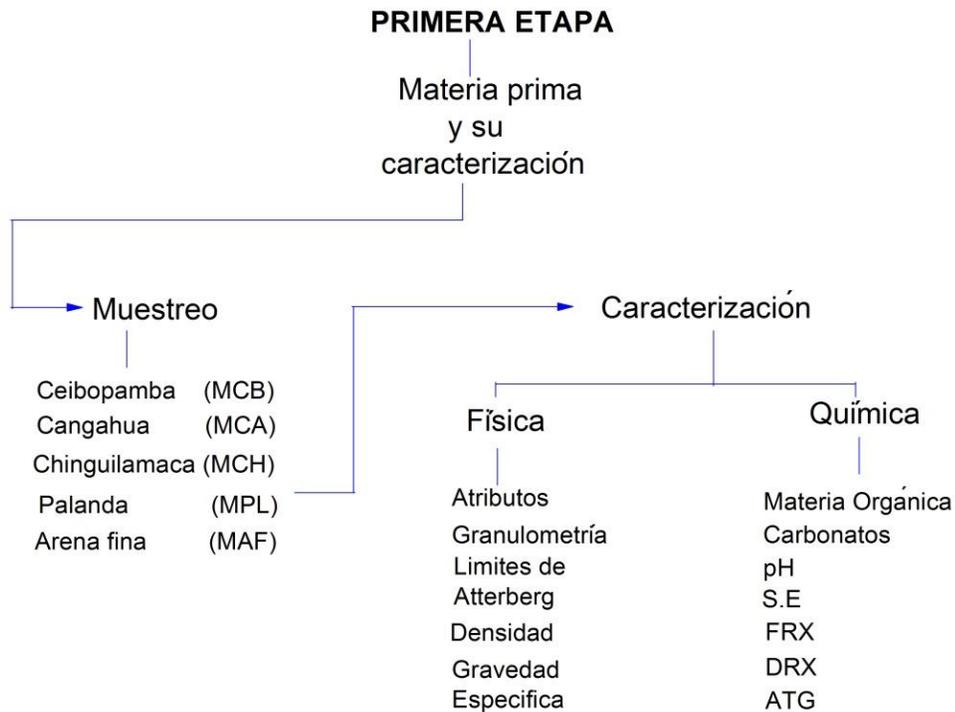


Figura 19. Primera etapa de la metodología. Caracterización de la materia prima.
Fuente: El autor.

3.2.1. Caracterización de la materia prima.

3.2.1.1. Generalidades

La arcilla es la materia prima para la elaboración del ladrillo artesanal, sin embargo a través de los tiempos ha existido un poco desarrollo tecnológico en los procesos para la elaboración del ladrillo, peor aún en la determinación de las características de la materia prima.

Se debe tener en cuenta que con una adecuada caracterización se pueden determinar elementos que juegan papeles fundamentales en los procesos de producción. Así por ejemplo, la determinación de la mineralogía juega un papel importante, puesto que una vez determinado el mineral predominante, se puede obtener la temperatura de cocción adecuada. Otro ejemplo claro es la obtención de los límites de Atterberg que nos dan una clara idea de la plasticidad y junto con ella la trabajabilidad del material que vamos a utilizar. La granulometría y la fluorescencia de rayos X, no dejan de ser importantes puesto que nos ayudan a determinar el tamaño de las partículas y la química respectivamente, con que están dispuesta la materia prima para la elaboración de los ladrillos artesanales

Sea cual sea el tipo de suelo, mientras mayor sea la información que se tenga mayor será criterio técnico para poder tomar decisiones. Cada uno de los ensayos se debe realizar con el mayor cuidado posible, y teniendo en cuenta las normas, ya sean éstas de carácter nacional o en su defecto internacional.

Una vez identificados los yacimientos y potenciales yacimientos se procede a iniciar con la investigación de la optimización de las mezclas para la elaboración de ladrillos artesanales en la región de Malacatos para lo cual es necesario como ya se explicó en párrafos anteriores empezar con la caracterización de las materias primas.

3.2.1.2. Usos.

Los productores artesanales de la región no recurren a la caracterización de ningún tipo de material que utilizan para la elaboración del ladrillo y a lo largo de los años tampoco lo han hecho, sin embargo como ya se ha descrito en párrafos anteriores es fundamental conocer la mayor parte de características que hacen única a cada materia prima. La caracterización de la materia prima se la puede utilizar también como medio para una comparación entre distintos materiales y poder observar sus semejanzas y diferencias, y de esta manera tomar decisiones de carácter técnico.

3.2.1.3. Extracción de la materia prima.

Los productores artesanales de la región extraen materia prima mediante la utilización de maquinaria pesada como tractores y para el transporte de la misma utilizan volquetes con capacidades de 5 y 7 m^3 . La frecuencia con que extraen el “material arcilloso” depende de su utilización y de la rapidez con que se pueda despachar el producto terminado.

3.2.1.4. Muestreo.

El muestreo es la actividad con la que se empieza la caracterización de la materia prima, y por definición se dice que es la actividad que sirve para obtener muestras representativas de una zona o área de interés. La obtención de las muestras deben seguir un plan de muestreo en el cual se debe tomar en cuenta: el área de interés, el acceso a la zona de estudio, la profundidad y el número de muestras a extraer, para obtener una cantidad de suelo que represente significativamente a la zona.

La región de Malacatos cuenta con una amplia variedad de suelos, sin embargo se realizó un enfoque a las minas descritas en el capítulo 2, definiendo a cada mina como un área específica de interés para la extracción de muestras de material arcilloso para la elaboración de ladrillos artesanales.

Procedimiento

1. Definir el objetivo.- El objetivo de muestrear a cada una de las minas elegidas es extraer una cantidad representativa de material, para determinar el mayor número de propiedades de cada una de las minas y poder caracterizarlas con precisión.
2. Ubicación y accesibilidad.- La accesibilidad a cada una de las minas se encuentra descrita en el capítulo 2, conjuntamente con su respectiva georeferenciación.
3. Tipo de muestreo.- Se eligió el tipo “muestreo aleatorio simple”, que consiste en la extracción de muestras de forma aleatoria y en el que todas las muestras tienen la misma probabilidad de ser elegidas.
4. Tipo de muestras.- Las muestras obtenidas son compuestas y de carácter superficial, puesto que se extrajeron de varios puntos (aleatorios) y luego fueron homogeneizadas.
5. Numero de muestras.- Se extrajo alrededor de 3 kg por cada punto y un total de 4 puntos por cada mina de acuerdo a la norma INEN 686.
6. Equipos de muestreo.- El equipo utilizado para la extracción de muestras fue: una pala, un pico, funda plástica, costales y baldes.
7. Almacenamiento y transporte.- Las muestras extraídas se colocaron en una funda y luego en un costal y fueron transportadas vía terrestre en vehículo de cada una de las canteras hacia el laboratorio.
8. Homogeneización de la materia prima.- Consiste en mezclar las muestras obtenidas de una mina y luego cuartearlas para obtener una porción representativa para cada uno de los ensayos; de esta manera se obtuvieron un total de 5 muestras homogeneizadas, una por cada mina.

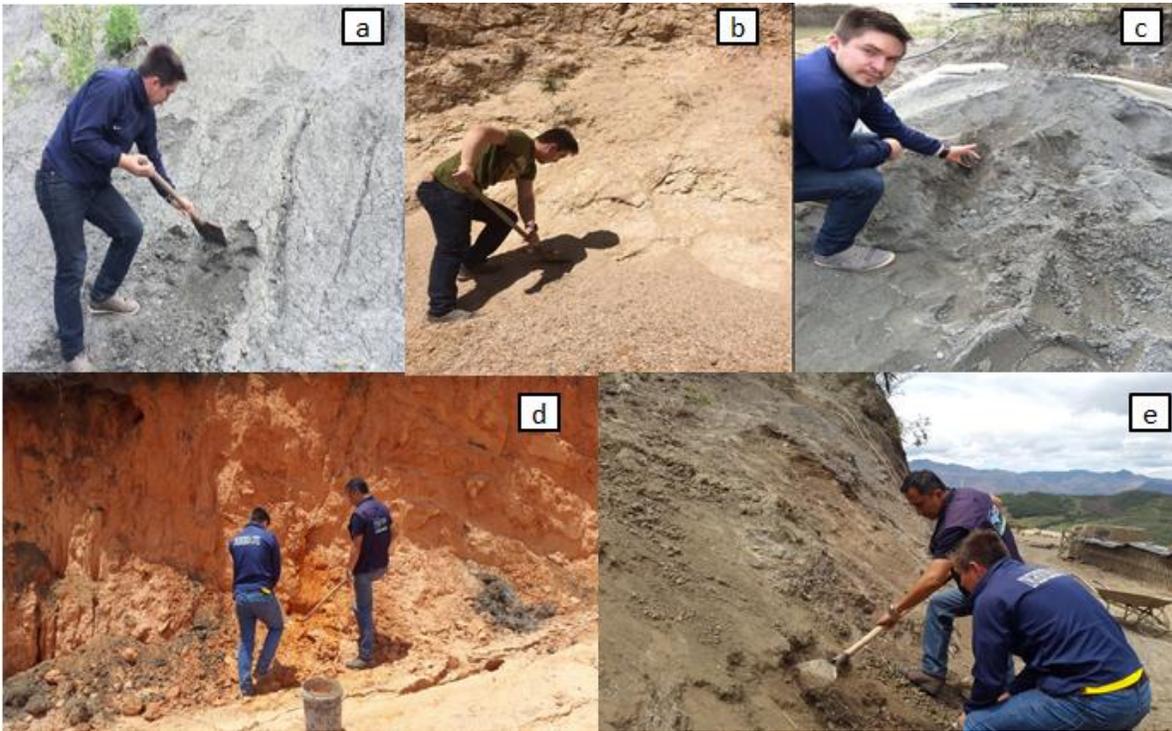


Figura 20. Muestreo de materia prima: a) Mina Cangahua; b) Mina Chinguilamaca; c) Mina de arena fina d) Mina Palanda e) Mina Ceibopamba.

Fuente: El autor.

3.2.1.5. Control por atributos y ensayos físicos.

Según Uribe (2014), en estos últimos años se ha venido observando la necesidad de desarrollar y ampliar las tecnologías referentes a la materia prima para la elaboración de cerámica, puesto que se evidencia directamente en los costos de producción y el descontento de los consumidores cuando no se controla sus características. Los primeros ensayos que se realizaron es el control por atributos puesto que son ensayos como color, sensación al tacto, consistencia, textura e impurezas; luego se hizo los ensayos físicos como: granulometría, límites de Atterberg y densidad.

3.2.1.5.1. Color.

El color es una propiedad inherente de las arcillas y permite la determinación a simple vista de características como la humedad, materia orgánica, minerales y óxidos (Uribe S., 2014).

Para la caracterización del color hemos tenido en cuenta la tabla de colores de Munsell dispuesta para suelos. La tabla de Munsell tiene tres variables, Matiz (Hue), claridad (Value) y la pureza (Chroma). La variable matiz (Hue) a su vez se subdivide en 5 matices básicos: rojo (R), azul (B), verde (G), amarillo (Y) y púrpura (P), normalmente en suelos se utiliza una quinta parte de toda la gama de colores que posee la tabla de Munsell, en ocasiones el color característico del suelo indica la presencia de minerales como cuarzo, yeso o hemática, sin embargo existen factores que pueden modificar el color. (Ovalles Viani, 2003)

Según Ovalles (2003) el color nos brinda una idea general de las características del suelo así por ejemplo, un suelo negro indica presencia de materia orgánica (útil para la agronomía) o el suelo rojizo indica la presencia de óxidos especialmente de hierro (Fe) con bajos niveles de pH.

Procedimiento

Para la determinación del color se cuarteó la muestra de cada mina y se obtuvo una porción representativa, como lo muestra la Figura 21 y se procedió a comparar las fotos en función de la tabla de Munsell.

Mina Ceibopamba

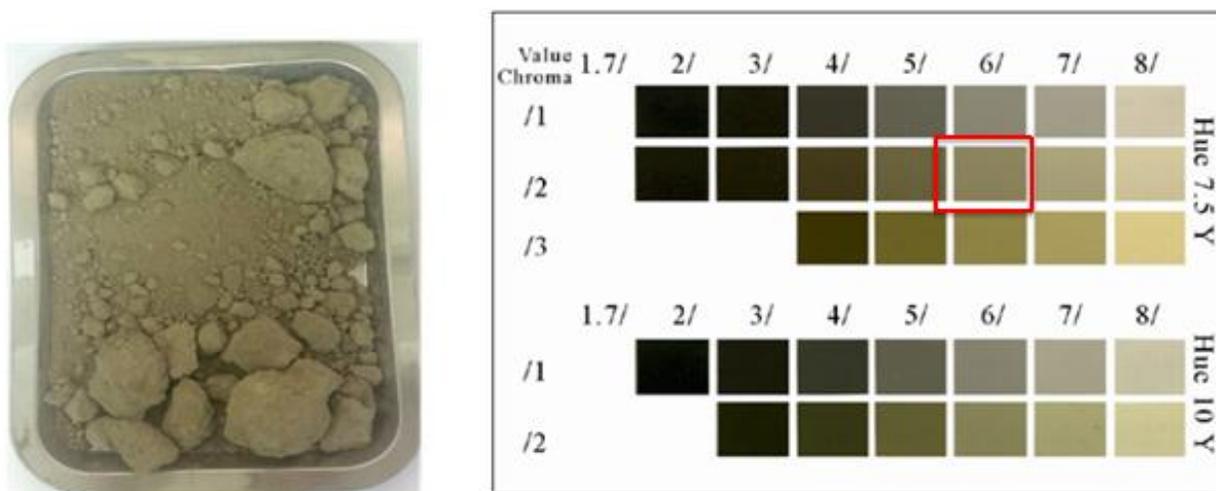


Figura 21. Clasificación del color de la materia prima: a) Mina Ceibopamba.
Fuente: El autor y Munsell (1990)

Mina Cangahua

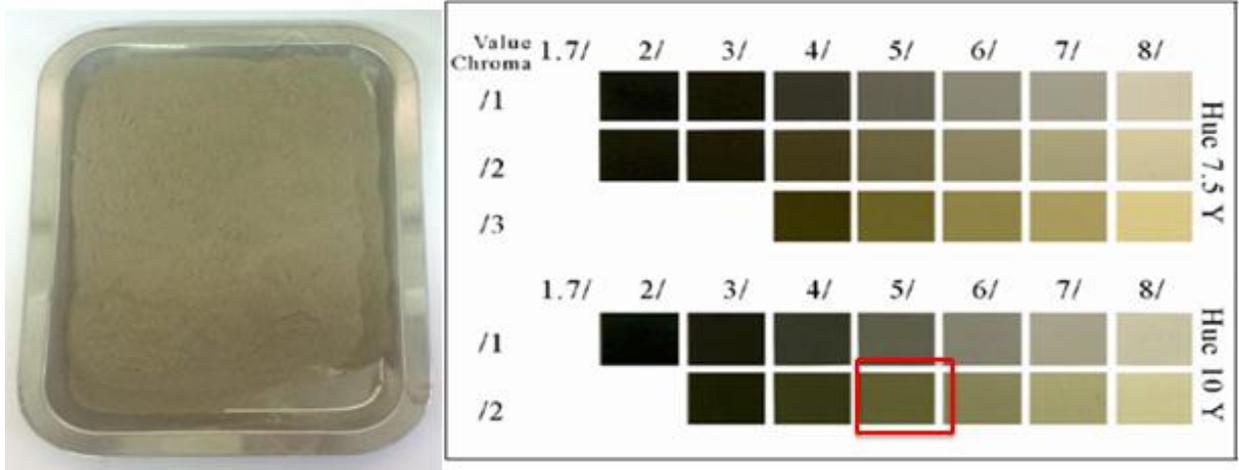


Figura 22. Clasificación del color de la materia prima: b) Mina Cangahua.
Fuente: El autor y Munsell (1990).

Mina potencial Chinguilamaca

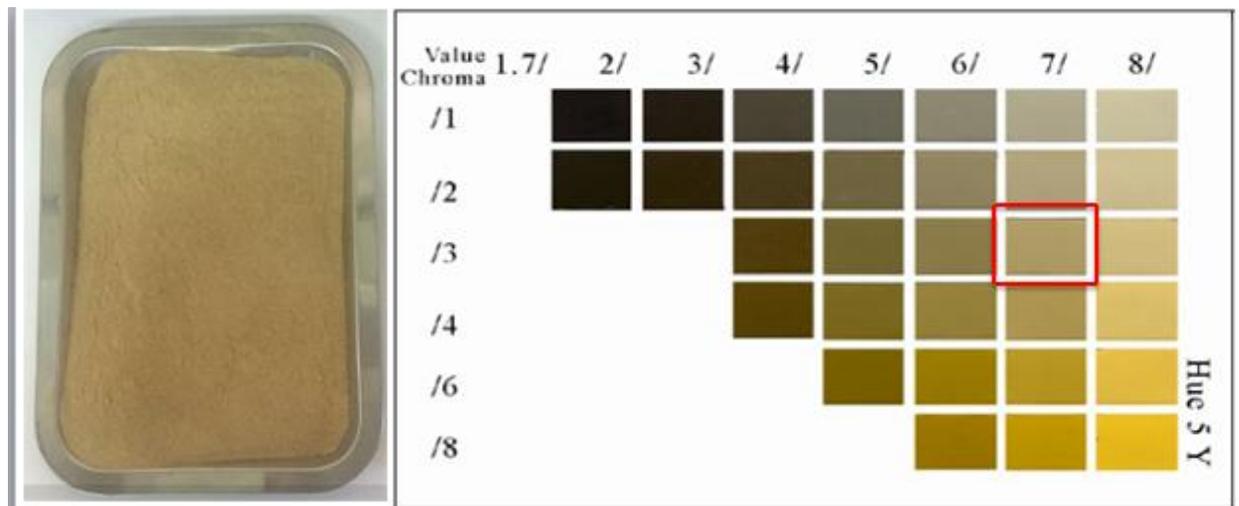


Figura 23. Clasificación del color de la materia prima: c) Mina Chinguilamaca.
Fuente: El autor y Munsell (1990).

Mina potencial Palanda

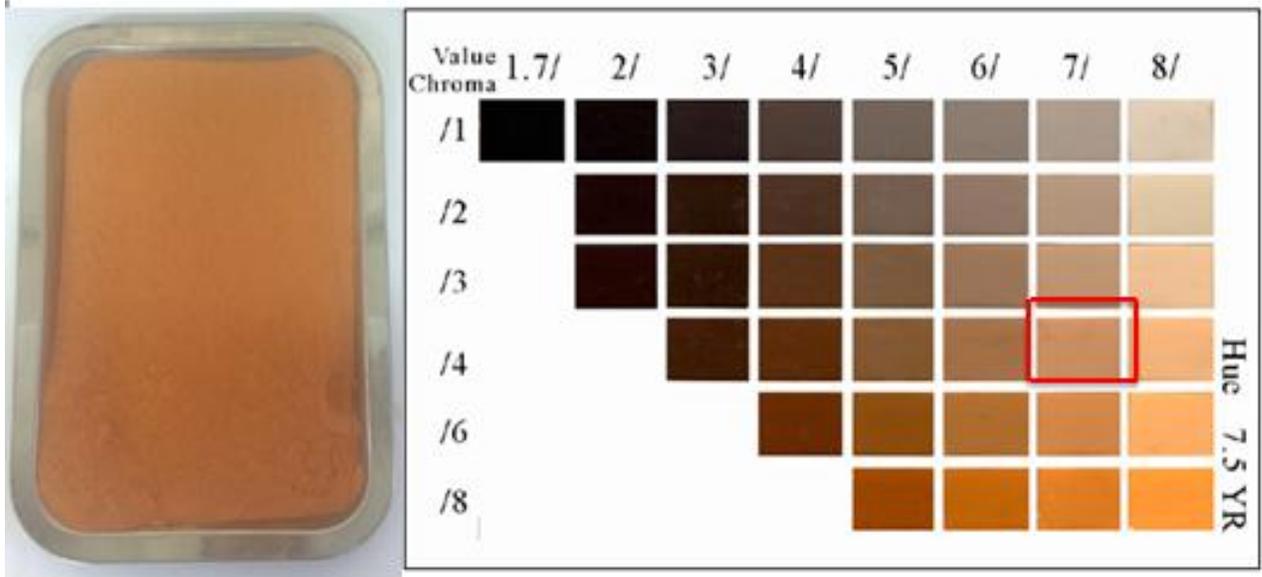


Figura 24. Clasificación del color de la materia prima. d) Mina Palanda.
Fuente: El autor y Munsell (1990).

Mina de arena Fina

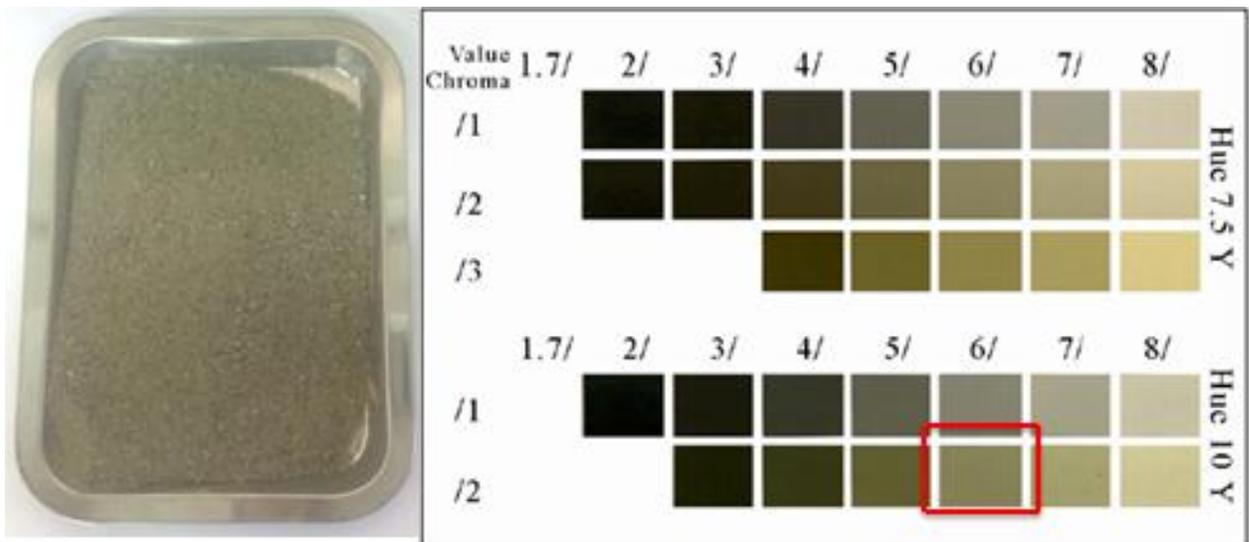


Figura 25. Clasificación del color de la materia prima: e) Mina de arena fina.
Fuente: El autor y Munsell (1990).

3.2.1.5.2. Sensación al tacto.

La sensación al tacto es un ensayo que nos brinda una idea general del tipo de suelo que estamos tratando, se lo puede determinar in situ o en laboratorio y aplicado de la manera correcta es muy confiable para la clasificación del suelo sin antes haber obtenido los límites de Atterberg.

Según Uribe (2014) los suelos en función del ensayo de sensación al tacto se clasifican: áridos, plásticos y Untuosos con diferentes porcentajes. Cabe indicar que no existe un procedimiento riguroso para la determinación de este parámetro, sin embargo hemos creído conveniente clasificar los cinco tipos de suelos mediante la Tabla 6.

Tabla 6. Sensación al tacto. Clasificación del suelo

Tipo de suelo	Descripción
Arena	No forma ningún tipo de cinta, no es manejable
Limo	Ligeramente forma cinta, manejabilidad media
Arcilla	Forma cinta, se siente el grado de plasticidad

Fuente: Uribe (2014).

Elaborado por: El autor.

A continuación en la Figura 26 se muestra un ejemplo de cuatro de los cinco materiales que se realizaron las pruebas de sensación al tacto.



Figura 26. Sensación al tacto: a) Ceibopamba; b) Arena Fina; c) Chinguilamaca; d) Cangahua.
Fuente: El autor.

3.2.1.5.3. Consistencia.

La consistencia se relaciona directamente con las fuerzas de adhesión y cohesión que actúan dentro de la materia prima teniendo en cuenta el contenido de humedad específico que posee cada material. En función de éstas fuerzas se comportará el material frente a la presión y adhesión a elementos raros (Uribe S., 2014). Para la clasificación de este ensayo se utilizó la Tabla 7.

Tabla 7. Clasificación de la consistencia

CONSISTENCIA	CARACTERÍSTICAS
Suelta	Su manipulación es trabajosa, la estructura se rompe antes de tomarla
Frágil	El pedazo de suelo se disgrega con una leve presión de los dedos.
Firme	El trozo se rompe bajo una moderada presión de los dedos, presenta una plasticidad moderada con una adecuada porción de humedad.
Extremadamente firme	El pedazo es muy resistente, difícil de romper.

Fuente: Uribe (2014).

Elaborado por: El autor.

La determinación de la consistencia para cada muestra se la realizó en el laboratorio, a continuación se describe los resultados del ensayo de consistencia para cada una de las muestras obtenidas de las minas.



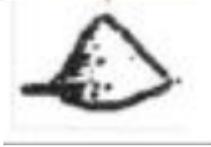
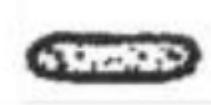
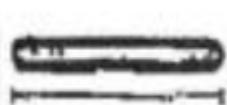
Figura 27. Ensayo de consistencia: a) Ceibopamba; b) Cangahua; c) Chinguilamaca; d) Palanda; e) Arena Fina.

Fuente: El autor.

3.2.1.5.4. Textura.

La textura es una propiedad de los suelos que está relacionada con los límites de Atterberg puesto que es el punto donde la materia prima se torna moldeable y manejable para darle la forma deseada (similar a la definición de los límites de Atterberg). Se clasifica mediante la Tabla 8.

Tabla 8. Textura del suelo.

Textura	Característica	Presentación
Arenoso	La arcilla permanece floja y separada, y solo puede juntarse dándole la forma de pirámide	
Franco Arenoso	La arcilla contiene bastante sedimento y partículas finas para mostrarse pegajosa y se le puede dar la forma de una bola fácil de partir en dos	
Franco Limoso	Similar al anterior pero a la arcilla se le puede dar forma de cilindro pequeño y corto	
Franco	Contiene casi la misma cantidad de arena, sedimento y arcilla. Puede manipularse hasta formar un cilindro de 6 pulgadas de largo que se rompe al doblarlo	
Franco Arcilloso	Similar al anterior, sin embargo este se puede doblar hasta darle una forma de U, sin forzarlo y sin que se rompa	
Arcillo Limoso	Se le puede dar la forma de anillo pero muestra algunas grietas	

Arcilloso Se le puede dar la forma de anillo sin que
 muestre grietas



Fuente: El autor.
Elaborado por: El autor.

La clasificación mediante la textura se la realizó en el laboratorio siguiendo el procedimiento descrito por Uribe 2014 y teniendo los cuidados necesarios para evitar contaminar la muestra.



Figura 28. Ensayo de textura.
Fuente: El autor.

3.2.1.5.5. *Impurezas.*

La determinación de impurezas al nivel de control de atributos, es un proceso simple que consiste en la determinación visual de la existencia de materiales como raíces ajenas a la muestra o terrones con coloración especial distintos al color característico del suelo en mención.

Para este ensayo se procedió a una inspección visual teniendo en cuenta el concepto de impurezas y se procedió a la toma respectiva de fotos para evidenciar el tipo de impurezas. Es importante realizar la inspección in situ y también en laboratorio.



Figura 29. Inspección visual de impurezas: a) Cangahua; b) Chinguilamaca c) Ceibopamba.
Fuente: El autor.

A continuación se detallan los procedimientos de los ensayos físicos realizados a la materia prima de las minas: Ceibopamba, Cangahua, Chinguilamaca, Palanda y Arena fina. Para la ejecución de estos ensayos se procedió de acuerdo a la normativa ecuatoriana vigente para cada propiedad, por ejemplo los límites de Atterberg y la granulometría aplicando el método ASTM D422.

3.2.1.5.6. *Análisis granulométrico.*

La granulometría o análisis granulométrico de los suelos es muy importante puesto que nos detalla la manera en que se encuentran distribuidas las partículas de cada muestra; nos ayuda a determinar los porcentajes que pasan y son retenidos mediante la aplicación de los tamices normalizados, sin embargo para nuestros materiales finos la norma establece aplicar la metodología de las partículas en suspensión (método del hidrómetro). La clasificación de los suelos finos de acuerdo a varios autores y a las normas internacionales, se obtiene fundamentalmente mediante el análisis granulométrico (consigue porcentajes de arena, arcilla y limo) y los límites de Atterberg.

Se aplicó la determinación de la granulometría por el método del Hidrómetro para las muestras del “material arcilloso”, puesto que las partículas son muy finas y la granulometría para agregado fino para la muestra de arena.

La norma ASTM D422 muestra a detalle los procedimientos a seguir y los cálculos para la obtención de la curva granulométrica.



Figura 30. Ensayo de granulometría por el método del hidrómetro.
Fuente: El autor.

3.2.1.5.7. Límites de Atterberg.

Los límites de Atterberg, denominados en honor al sueco Albert Atterberg, se basan en el concepto de que los suelos de granos finos poseen únicamente cuatro estados: sólido, semi-sólido, plástico y líquido, y los límites para pasar de un estado a otro, son los contenidos de humedad en estos puntos exactamente.

3.2.1.5.7.1. Límite líquido.

El límite líquido es un parámetro muy utilizado por los técnicos que trabajan con suelos y es el contenido de humedad óptimo para pasar del estado plástico al estado líquido de la materia prima.

Se obtiene mediante el uso del equipo de casa grande; el procedimiento que se utilizó se basa en lo detallado por la norma técnica ecuatoriana INEN 691.



Figura 31. Equipo de casa grande para límite líquido.
Fuente el autor.

3.2.1.5.7.2. Límite plástico.

El límite plástico es el punto donde la muestra de suelo cambia de estado sólido a estado plástico, y se determina a partir de tomar una porción de muestra humedecida y hacer rollitos de hasta 3 mm de diámetro hasta que aparezcan grietas. La metodología aplicada se basa en la norma técnica ecuatoriana INEN 692.

El límite plástico será el promedio del contenido de humedad al momento de que aparezcan las grietas.



Figura 32. Determinación del límite plástico.
Fuente: El autor.

3.2.1.5.7.3. Índice de plasticidad.

Se determina por la diferencia entre el límite líquido menos el límite plástico.

3.2.1.5.8. Densidad.

La densidad es la relación que existe entre la masa y el volumen y existen diversos métodos para su determinación, sin embargo para las partículas más finas hemos creído conveniente aplicar la metodología descrita en la norma técnica ecuatoriana INEN 156, determinación de la densidad del cemento hidráulico. Se aplica mediante el frasco de lechatelier.



Figura 33. Determinación de la densidad.
Fuente: El autor.

A continuación se muestra la ecuación que se utilizó para determinar la densidad:

$$\rho = \frac{P}{V} \quad (1)$$

De donde: ρ es la densidad en g/cm^3 , el peso (P) se lo determina en gramos y el volumen (V) en cm^3 .

3.2.1.5.9. *Gravedad específica.*

La gravedad específica del suelo es la relación que existe entre la densidad particular de cada material y la densidad del agua. Se determinó la gravedad específica principalmente para su uso en el ensayo de granulometría por medio del hidrómetro y también para su comparación con la gravedad específica de arcillas comunes.

$$G_e = \frac{\rho_m}{\rho_w} \quad (2).$$

De donde:

Ge: Gravedad específica

ρ_m : Densidad del material en $\frac{g}{cm^3}$

ρ_w : Densidad del agua en $\frac{g}{cm^3}$

3.2.1.6. *Ensayos de carácter químico.*

Comúnmente los ensayos de carácter químico son realizados por los profesionales de esta rama (ingenieros químicos) y afines, sin embargo en nuestra investigación hemos creído conveniente caracterizar la materia prima, con ensayos químicos que nos ayuden a orientar y obtener propiedades como la mineralogía. Se inició con ensayos básicos como la eliminación de materia orgánica y carbonatos, para luego realizar ensayos más detallados y tecnológicos como fluorescencia de rayos X (FRX), análisis térmico diferencial (ATD) y difracción de rayos X (DRX).

3.2.1.6.1. *Presencia de la materia orgánica.*

Se determinó la presencia de materia orgánica en las muestras de cada mina. La materia orgánica existe en la mayoría de suelos, sin embargo su presencia no es de mucha ayuda para la elaboración de ladrillos artesanales. Varias metodologías se han desarrollado para verificar la existencia de materia orgánica en los suelos tales como: calcinación, con dicromato de potasio o con agua oxigenada (peróxido de hidrógeno), para efectos de nuestra investigación se utilizó este último por ser de fácil acceso.

Se utiliza la sustancia de peróxido de hidrogeno, una pipeta, la muestra de suelo y un recipiente para colocar la muestra que no sea sensible a la solución.



Figura 34. Equipo para ensayo de determinación materia orgánica.
Fuente: El autor.

Procedimiento:

1. Cuartear la muestra y obtener una cantidad representativa de aproximadamente 20 g.
2. Colocar la muestra en un recipiente metálico.
3. Preparar la solución de peróxido de hidrógeno (agua oxigenada)
4. Colocar pocas gotas de la solución en la muestra y observar su reacción. Si se produce efervescencia, existe materia orgánica en los suelos.

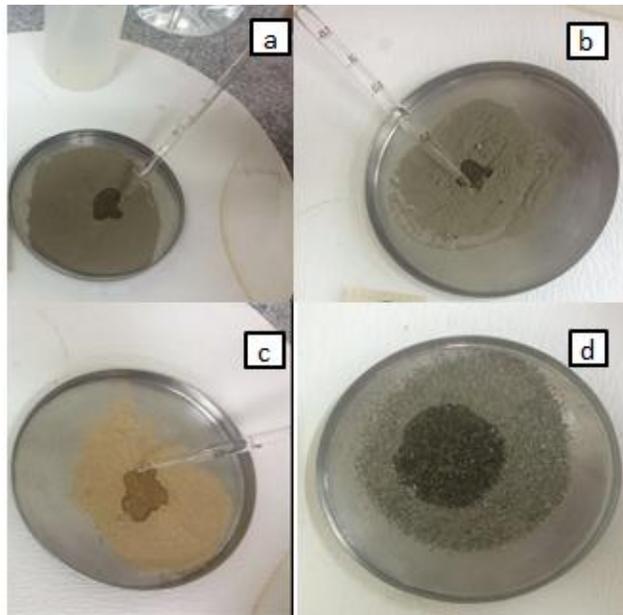


Figura 35. Ensayo de determinación de materia orgánica: a) Ceibopamba; b) Cangahua; c) Chinguilamaca; d) Arena fina.
Fuente: El autor.

Como se observa en las figuras no hay presencia de materia orgánica en las muestras las cuales fueron homogeneizadas tamizando cada una de ellas a través del tamiz # 20 cuya abertura es de 0.850mm.

3.2.1.6.2. *Determinación de carbonatos.*

Es necesario antes de eliminar los carbonatos, determinar su presencia y grado de influencia en nuestros suelos. Los carbonatos pueden estar presentes en el suelo ya sea por deformación de la roca madre o por transporte ya sea marítimo o volátil.

Para la determinación de los carbonatos se utilizan varios ácidos, nosotros para efectos de nuestra investigación utilizamos ácido clorhídrico (HCl) en una solución al 10%. A continuación se muestra el equipo y la sustancia necesaria para la realización de este ensayo.



Figura 36. Equipo para determinación de carbonatos.
Fuente: El autor.

Procedimiento

1. Cuartear la muestra y obtener una cantidad representativa de aproximadamente 20 g.
2. Colocar la muestra en un recipiente metálico.
3. Obtener una solución de ácido clorhídrico al 10% del laboratorio (manipular con cuidado)
4. Colocar pocas gotas de la solución en la muestra y observar su reacción. Si se produce efervescencia, existen carbonatos en las muestras de suelos.

No se observa presencia de carbonatos, frente a la acción del ácido clorhídrico excepto en las muestras de Cangahua y Chinguilamaca en pequeñas cantidades, sin embargo con la ayuda del ensayo de fluorescencia (FRX) y difracción (DRX) podremos determinar con mayor precisión su presencia.

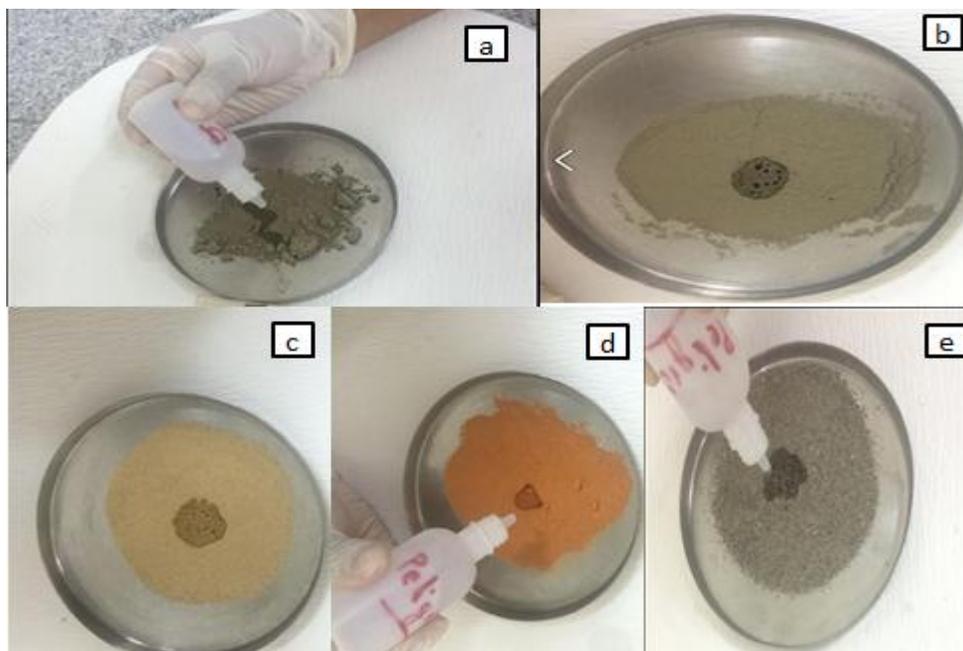


Figura 37. Ensayo de determinación de carbonatos: a) Ceibopamba; b) Cangahua; c) Chinguilamaca; d) Palanda; e) Arena fina.
Fuente: El autor.

3.2.1.6.3. *Potencial hidrógeno.*

El nivel de pH indica el grado de acidez o alcalinidad de una solución o suelo. Es muy común realizar este tipo de ensayo en aguas, pero en nuestro caso en particular se debe determinar en suelos. Existen dos métodos para la determinación del pH: el método colorimétrico y el método eléctrico, todos los ensayos se derivan de los principios fundamentales de estos métodos. El ensayo de pH se aplicó en base a los procedimientos descritos por la norma ASTM D-4972



Figura 38. Medición de pH.
Fuente: El autor.

3.2.1.6.4. Superficie específica

La medida de superficie específica es la relación que existe entre el área de las partículas (A_p) y la masa (Narsillo & Santamarina, 2001). Existen varios métodos para la determinación de esta propiedad, sin embargo en el presente documento se realizó el ensayo del azul de metileno.

Procedimiento:

1. Preparar una solución de 1 g de azul de metileno en 200 ml de agua destilada.
2. Pesarse 10 g de suelo
3. Añadir 30 ml de agua destilada al suelo.
4. Añadir 0,5 ml de solución de azul de metileno a la mezcla de suelo y agitar durante 1 minuto.
5. Extraer una gota de la mezcla agitada y colocar sobre papel filtro tipo P5.
6. Observar si se genera un halo o aureola alrededor de la gota de color cian.
7. Incrementar 0,5 ml de solución y agitar hasta que se forme el halo.
8. Registrar el número de incrementos de solución de azul de metileno (0,5 ml)

Para la determinación de la cantidad de superficie específica se aplica la siguiente ecuación:

$$S_e = \frac{1}{319,87 \text{ g/mol Vol}(AM)_{sol.}} \cdot \frac{W_s(AM)}{(N \cdot 0,5 \text{ ml}) \cdot Av \cdot Sup(AM)} \cdot \frac{1}{W_s(arcilla)} \quad (3)$$

De donde:

Ws(AM): Peso en g de azul de metileno utilizado en la solución base

Vol(AM)sol: Es la cantidad de agua destilada (ml) utilizada en la solución base.

N: Es el número de incrementos de 0,5 ml de solución de (AM)

Av: Es el número de Avogadro determinado como constante en $6,02 \times 10^{23} / mol$

Sup(AM): Es una constante asumida en 130 \AA^2 y físicamente significa el área cubierta por un catión de azul de metileno

Ws(arcilla): Es el peso de arcilla en gramos utilizado en el ensayo.

3.2.1.6.5. *Fluorescencia de rayos X (FRX).*

La fluorescencia se basa fundamentalmente en dos pasos: el absorber la radiación electromagnética y luego la emisión de la energía que ha sufrido un desgaste debido a la excitación de los electrones (Azpeleta). Existen muchas utilidades para la fluorescencia de rayos X puesto que dependiendo del equipo a utilizar se pueden determinar los metales y las aleaciones que existen dentro de un suelo.

Cabe señalar que el ensayo es de tipo no destructivo, el equipo a utilizar tiene una precisión que mide desde los metales más pesados que el magnesio y obtenemos un detalle tanto cualitativo como cuantitativo de los metales. El tiempo que se demora el equipo es de aproximadamente unos 3 minutos.

Antes de llevar las muestras al equipo se debe cuartear la muestra y pulverizar para obtener mejores resultados, el equipo utilizado para pulverizar es una RETSCH RS 200 y se utilizó un programa de pulverizado que consta de una velocidad de 700 revoluciones por minuto y durante 3 minutos.

Procedimiento:

1. Cuartear y triturar una porción representativa de cada suelo.
2. Pulverizar la muestra

3. Colocar en la máquina de fluorescencia de rayos X
4. Analizar los resultados que proyecta la máquina.



Figura 39. Equipo para pulverizar muestras (izq); Equipo para ensayo de F.R.X (der).
Fuente: El autor.

Los resultados de cada una de las fluorescencias se muestran a continuación en gráficas para una mejor observación y comparación. Es necesario mostrarlas puesto que se detallan varias las sustancias que acompañan a las arcillas descritas en el marco teórico.

Mina Ceibopamba

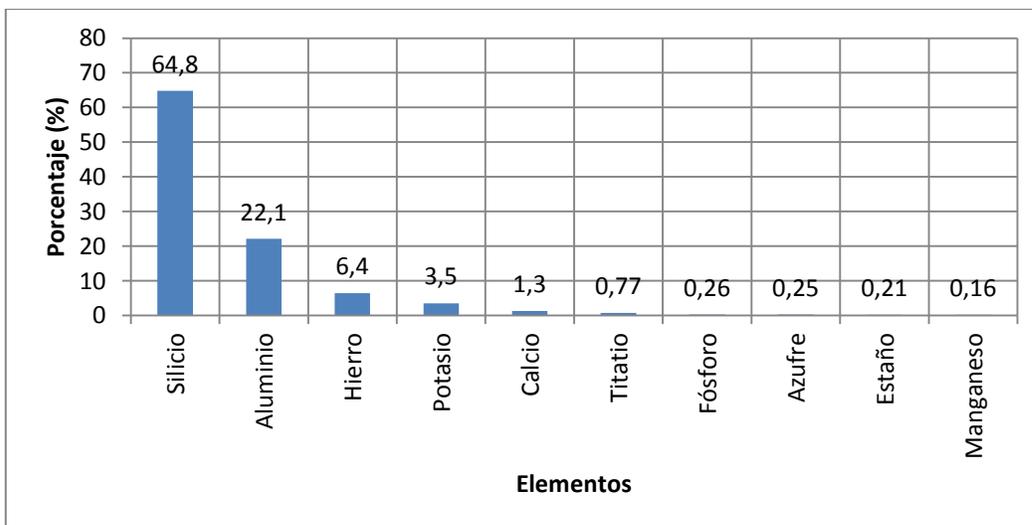


Figura 40. Resultados de fluorescencia de rayos X de la mina Ceibopamba. Elementos más trascendentes.

Fuente: El autor.

Mina Cangahua

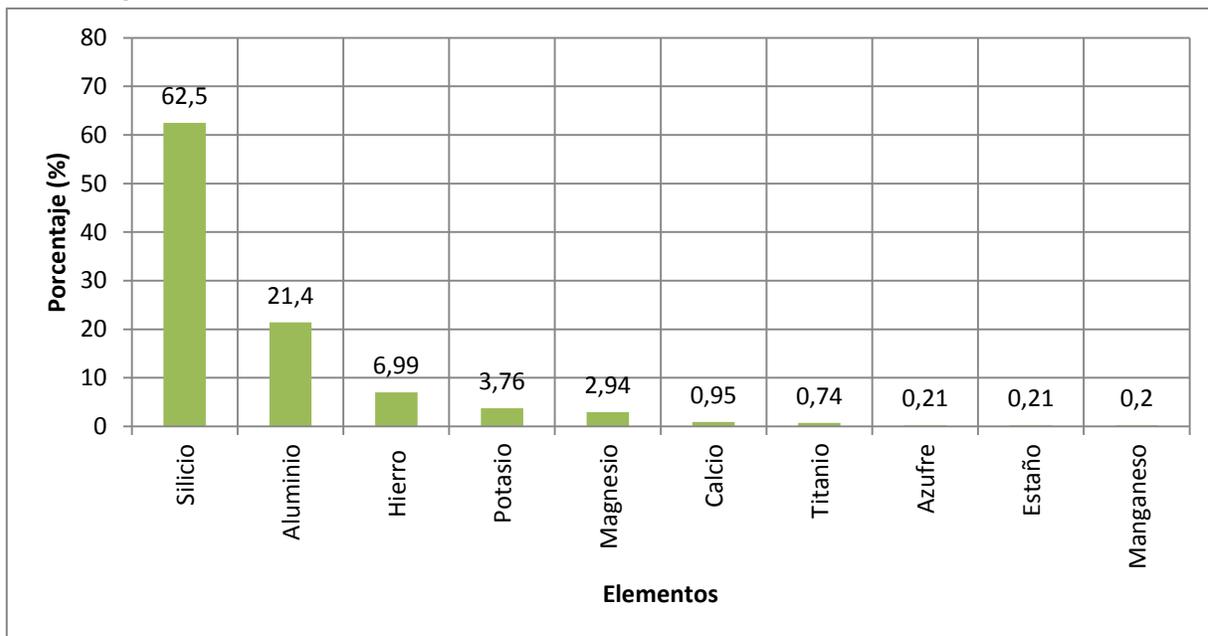


Figura 41. Resultados de fluorescencia de rayos X de la mina Cangahua. Elementos más trascendentes.
Fuente: El autor.

Mina Chinguilamaca

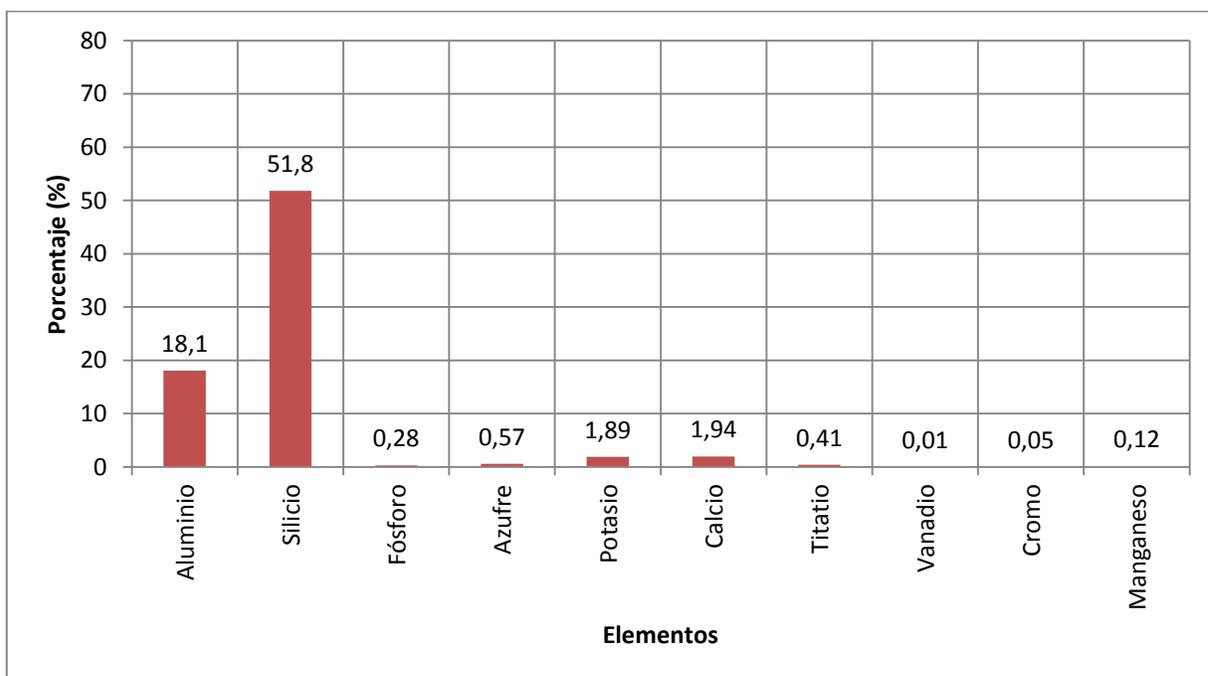


Figura 42. Resultados de fluorescencia de rayos X de la mina Chinguilamaca. Elementos más trascendentes.
Fuente: El autor.

Mina Palanda

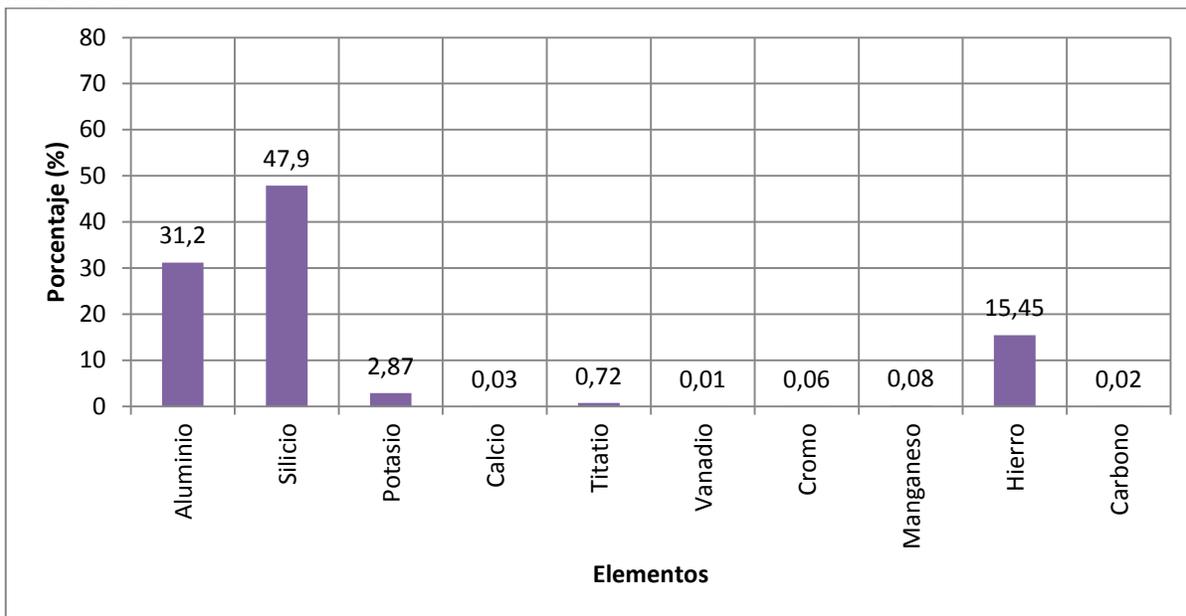


Figura 43. Resultados de fluorescencia de rayos X de la mina Palanda. Elementos más trascendentes.
Fuente: El autor.

Mina de Arena Fina

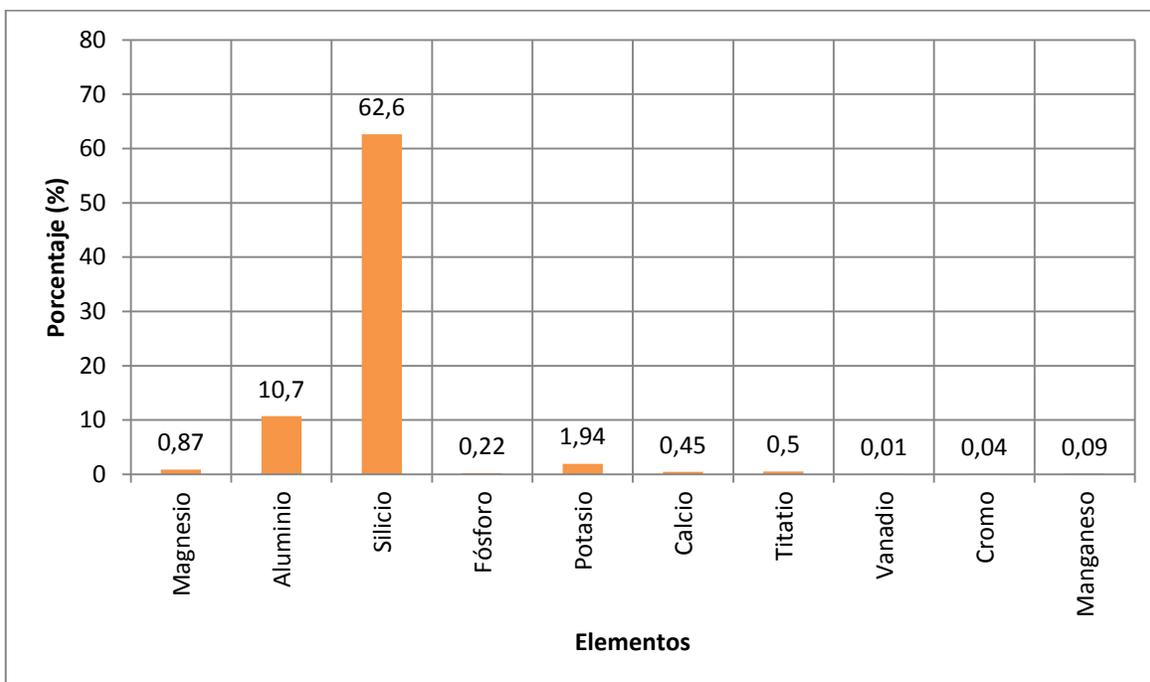


Figura 44. Resultados de fluorescencia de rayos X de la mina de arena fina. Elementos más trascendentes.
Fuente: El autor.

3.2.1.6.6. *Difracción de rayos X (DRX).*

En la actualidad la difracción de rayos X (DRX) es una técnica de laboratorio utilizada a nivel mundial que nos permite determinar tanto la mineralogía como la estructura cristalina de un material. La difracción de rayos X se basa fundamentalmente en lanzar un rayo electromagnético a la muestra con un ángulo de 2θ y medir el ángulo con el que se refracta, siendo característica especial de cada mineral un valor de ángulo.

Se obtiene un espectrograma como resultado de DRX, que se compara con una base de datos de los diferentes minerales. El equipo que se utilizó se muestra en la figura 50; se utilizó el software EVA para la determinación mineralógica cualitativa.

Del mismo modo que para el ensayo de fluorescencia de rayos X se debe preparar la muestra antes de llevarlas al equipo; se debe cuartear la muestra y pulverizar para obtener mejores resultados, el equipo utilizado para pulverizar es una RETSCH RS 200 y se utilizó un programa de pulverizado que consta de una velocidad de 700 revoluciones por minuto y durante 3 minutos.

Procedimiento

1. Cuartear y triturar una porción representativa de cada suelo.
2. Pulverizar la muestra
3. Colocar en la máquina de difracción de rayos X
4. Procesar la información
 - a. Utilizando el software EVA, determinar la mineralogía.



Figura 45. Equipo para difracción de rayos X.
Fuente: El autor.

3.2.1.6.7. *Análisis termogravimétrico (TGA) y (DSC).*

Un análisis térmico estudia el comportamiento de una muestra ante la acción de calentar o enfriar (cambios de temperatura) la material. Existen diversas técnicas para realizar un análisis térmico en función de la propiedad que se desee observar. Por ejemplo para determinar las propiedades como: masa, temperatura, mecánicas, ópticas y acústicas, se utilizan las técnicas de: termogravimetría, análisis térmico diferencial, termomecánica, termomicroscopía, termosonometría.

En los materiales de construcción éste tipo de análisis tiene una amplia aplicabilidad, destacando la determinación de las fases cristalinas y pérdida de peso ante la elevación de la temperatura. (Trusilewicz, 2013)

Para nuestra investigación se utilizó la técnica de análisis termogravimétrico, que muestra los cambios endotérmicos o exotérmicos que presenta la muestra al ser sometida a una variación gradual de temperaturas y se compara los resultados haciendo una diferenciación entre la muestra y una muestra de referencia inerte química y físicamente. El equipo utilizado es un SDT Q600 que utiliza el método Ramp. Cada muestra se colocó en crisoles de platino y fue sometida a cambios de temperatura desde la temperatura ambiente hasta los 1000 °C con una

velocidad de calentamiento de 20 °C/minuto. El tamaño de muestra varía entre 46 y 120 mg dependiendo de la mina analizada siendo el operador el Ph.D. Francisco Fernández docente de la Universidad Politécnica de Madrid. (UPM –España).

Además de la gráfica que relaciona la variación de peso en función de la temperatura (ver **Figura 88**), se muestra también la primera derivada de la masa en función de la temperatura, que nos permite observar de manera más detallada la velocidad de pérdida o incremento de masa.

En nuestra localidad no existe un equipo para realizar este tipo de ensayo, sin embargo se envió las muestras a Universidad Politécnica de Madrid (UPM) España lo que permitió determinar estas propiedades. El proceso previo de preparación de la muestra consiste en triturar y pulverizar los suelos provenientes de las minas mencionadas y colocar las muestras en tubos debidamente sellados y etiquetados para ser enviados al laboratorio.

3.2.2. Diseño experimental.

3.2.2.1. Importancia del estudio.

La importancia de este proyecto de investigación denominado “Optimización de las mezclas para la elaboración de ladrillos artesanales en la región de Malacatos” se ha enfocado en encontrar una dosificación mediante la combinación de materias primas de la zona, reducir el impacto ambiental que su producción acarrea y con un tinte social teniendo en cuenta los costos de producción pero mejorando la calidad del ladrillo y consecuentemente optimizar su comercialización.

La importancia de encontrar una mezcla adecuada radica en los bajos conocimientos técnicos de los productores, puesto que estos realizan una combinación empírica entre “material arcilloso” y “material arenoso” en una relación 90/10 respectivamente. Lo que se pretende en la presente investigación es alcanzar una mezcla adecuada entre materiales originarios de la zona que no signifiquen un coste adicional y que posean buenas propiedades de materia prima.

Al mejorar la calidad del ladrillo artesanal producido en la región, se está enfocando en optimar la comercialización, puesto que al desarrollar un producto que cumpla con las especificaciones técnicas de la norma ecuatoriana se obtendrá un mejor coste de ladrillo y mayor aceptación entre los consumidores (arquitectos e ingenieros).

Finalmente al encontrar una mezcla idónea esto permite causar un menor al impacto ambiental, puesto que hay que preservar las canteras de materia prima que poseen buenas propiedades y de esta manera se alargue la vida útil estas además se debe localizar nuevas canteras en lo posible que tengan mejores propiedades y así preservar la calidad del producto final (ladrillo artesanal).

Se utilizó un método desarrollado en Brasil que es el ensayo de compresión diametral, éste método se utilizó por dos razones fundamentales: gran ahorro de materia prima y un relativo bajo uso de tiempo. En los siguientes párrafos se detallará las características del uso del ensayo de compresión diametral.

3.2.2.2. Compresión diametral.

Este ensayo fue desarrollado en Brasil, originalmente para cilindros pero adaptado para probetas con espesores inferiores a 100 mm y manteniendo una relación entre el diámetro y el espesor de la probetas. Consiste en aplicar una carga que genere esfuerzos de tracción en el disco, se aplica una carga en dirección paralela al diámetro, se espera que la ruptura se observe en el centro de la probeta o disco. Para la determinación de la fuerza de tracción se aplica la siguiente ecuación:

$$\sigma_{cd} = \frac{2 * P}{\pi * d * e} \quad (4)$$

De donde:

σ_{cd} : Resistencia a la compresión diametral del disco en Pascales (Pa)

P: Carga máxima que resiste el disco en Newton (N)

d: Diámetro del disco en metros (m)

e: Espesor del disco en metros (m)

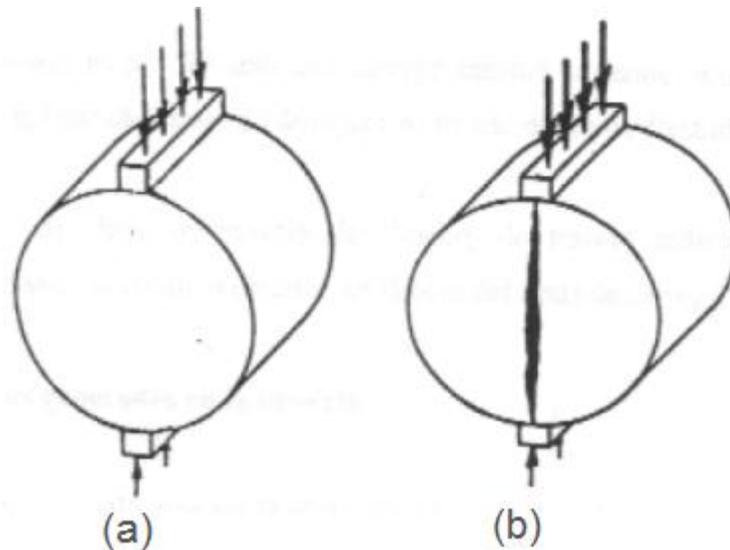


Figura 46. (a) Modo de carga del ensayo de tracción indirecta (b) Modo de ruptura.
Fuente: El autor.

3.2.2.2.1. Equipos

El equipo para realizar este ensayo de tipo experimental basado en el ensayo del test de Brasil, se basa en la elaboración de discos y para la determinación de la compresión diametral se utilizó la máquina VERSA TESTER ubicada en el laboratorio de suelos de la universidad.

Este equipo cuenta con un programa incorporado a la computadora que muestra los resultados en una hoja de Excel donde se encuentran: la gráfica de esfuerzo vs deformación y la carga máxima que resiste el disco ensayado. El equipo consta de dos extensiómetros LVDT. Para distribuir la carga de mejor manera se utilizó cartón prensado entre la pastilla y las celdas de carga.

A continuación se detallan todos los equipos que se utilizaron para la elaboración de los discos y para el ensayo de las mismas:

- Molde cilíndrico de 73 mm de PVC
- Mezcladora mecánica
- VERSA TESTER.
- Pieza de madera para el asiento de la pastilla
- Balanzas
- Horno programable con capacidad de 110 °C

- Horno de cocción con capacidad de 1100 °C



Figura 47. Equipo Versa Tester para compresión diametral.
Fuente: El autor.

3.2.2.3. Diseño experimental.

El diseño experimental de mezclas tiene como finalidad realizar un número determinado de combinaciones entre las materias primas que se obtuvo del muestreo (5 tipos de suelos) y dosificar en diferentes proporciones.

Para realizar el diseño de mezclas se tuvo en cuenta el factor económico, puesto que si se incrementa en gran medida la arena fina se incrementará el valor del producto terminado. De esta manera se realizó un programa de mezclas que se presenta en la Tabla 9, se dio prioridad a la mina Ceibopamba debido a su mayor facilidad de extracción y poseer buenas propiedades mineralógicas. Se realizaron dos dosificaciones: la primera busca indicadores de optimización de las mezclas entre materiales en función de su resistencia a la tracción (encontrándose 6 mezclas), y en la segunda se busca optimizar la temperatura de cocción para obtener la mejor resistencia.

SEGUNDA ETAPA

En la segunda etapa se describe el número de mezclas que se va a realizar con sus respectivos porcentajes (diseño de mezclas) (ver Figura 48).

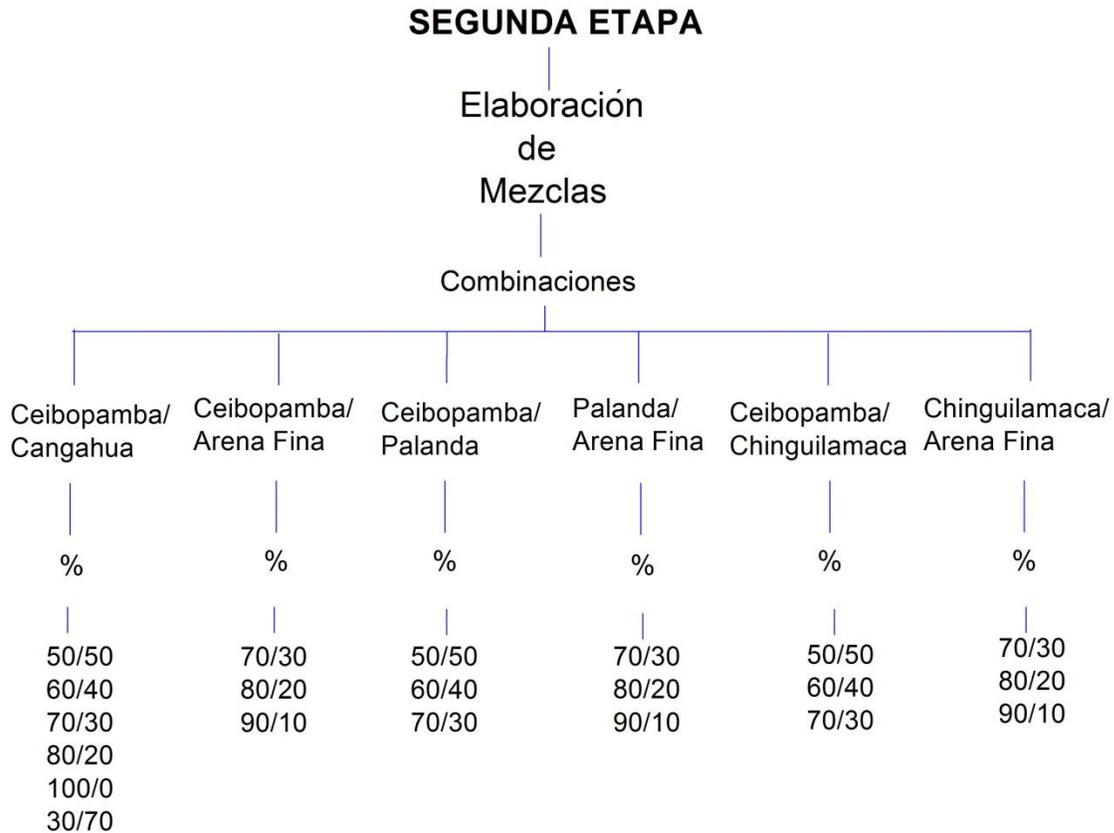


Figura 48. Segunda etapa de la metodología. Elaboración de mezclas.
Fuente: El autor.

3.2.2.4. Primera dosificación.

Se realizó un total de 21 mezclas a diferentes porcentajes y cabe indicar que para cada dosificación se hicieron 3 discos. A continuación se muestra en la tabla 11 la primera dosificación entre distintas materias primas y con sus respectivos porcentajes:

Tabla 9. Primera dosificación de discos para ensayo de compresión diametral

Material 1	Material 2	PORCENTAJE MUESTRA 1 (%)	PORCENTAJE MUESTRA 2 (%)
		50	50
		60	40
Mina Ceibopamba	Mina Cangahua	70	30
		80	20
		100	0
		30	70
Mina Ceibopamba	Mina de Arena Fina	90	10
		80	20
		70	30
Mina Ceibopamba	Mina potencial Palanda	50	50
		60	40
		70	30
Mina potencial Palanda	Mina de Arena Fina	90	10
		80	20
		70	30
Mina Ceibopamba	Mina potencial Chinguilamaca	50	50
		60	40
		70	30
Mina potencial Chinguilamaca	Mina de Arena Fina	90	10
		80	20
		70	30

Fuente: El autor.

Elaborado por: El autor

TERCERA ETAPA

En la tercera etapa se detalla el proceso y criterios de obtención de las mezclas óptimas (ver Figura 49)

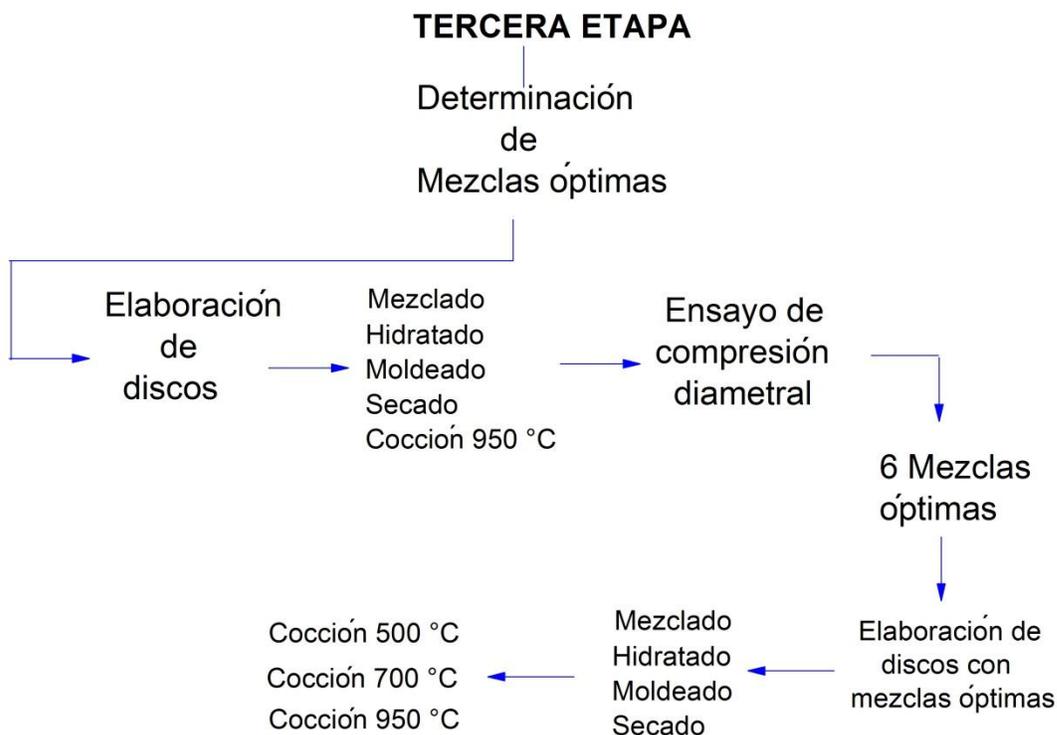


Figura 49. Tercera etapa de la metodología. Procedo de determinación de mezclas óptimas.
Fuente: El autor.

3.2.2.4.1. Generalidades.

Para la elaboración de las pastillas o discos preparados con las mezclas, se recortó un tubo de PVC de 72 mm de diámetro interno en longitudes de 20 mm, estos moldes fueron colocados sobre una plancha de madera debidamente forrada y aislada con melamina tal como se observa en la Figura 55.



Figura 50. Proceso de elaboración de moldes para discos de compresión diametral.
Fuente: El autor.

3.2.2.4.2. *Preparación de la mezcla.*

Se utilizó una balanza con precisión de 0,1 g para pesar de manera correcta las cantidades de cada muestra, se utilizó el tamiz N° 40 que tiene una abertura de 0,425 mm esto se lo practicó en todas muestras para dar una mejor homogeneidad y eliminar la materia orgánica como raíces o grumos de arcilla que aun esté presente en los suelos. También se sometió a un proceso de premezclado en seco para ayudar a homogeneizar la muestra.



Figura 51. Tamizado de materia prima Ceibopamba.
Fuente: El autor.

3.2.2.4.3. *Hidratación y amasado.*

Se utilizó una probeta milimetrada para añadir la cantidad de agua adecuada. Se mezcló el agua y las combinaciones indicadas en la Figura 48 utilizando una mezcladora mecánica (ver Figura 52) para activar las partículas de arcilla mecánicamente y consecuentemente aumentar la resistencia de los discos terminados (Ajam, Ben Oueddou, Felfou, & et al., 2009).



Figura 52. Mezclado mecánico.
Fuente: El autor

Luego se colocó en fundas selladas herméticamente durante un lapso de 12 horas para darle tiempo y lugar a una mejor homogeneización de la mezcla hidratada.



Figura 53. Hidratación de la mezcla en fundas cerradas herméticamente.
Fuente: El autor.

3.2.2.4.4. Moldeo

Se colocó de forma manual el material hidratado en los moldes de PVC que elaborados previamente. Hay que tener mucho cuidado con el acabado, evitando que existan irregularidades o poros en sus bordes. Luego se procedió a dar una presión de moldeo de 4.5 kg, durante 2 horas para aumentar las densidades.



Figura 54. Moldeo de discos.
Fuente: El autor.

Luego del proceso del moldeo se deja por un lapso de aproximadamente 2 días hasta que se pueda observar una primera contracción inicial y facilitar el desmoldado evitando dañar los bordes del disco, el tiempo de espera varía en función de la mezcla.

3.2.2.4.5. Secado

Se utilizó una estufa electrónica y es por ello que se pudo elaborar una curva particular de secado (ver Figura 56), esto obedece a la necesidad de elevar gradualmente hasta 105° C la temperatura para poder eliminar el agua existente y evitar grietas en los discos.

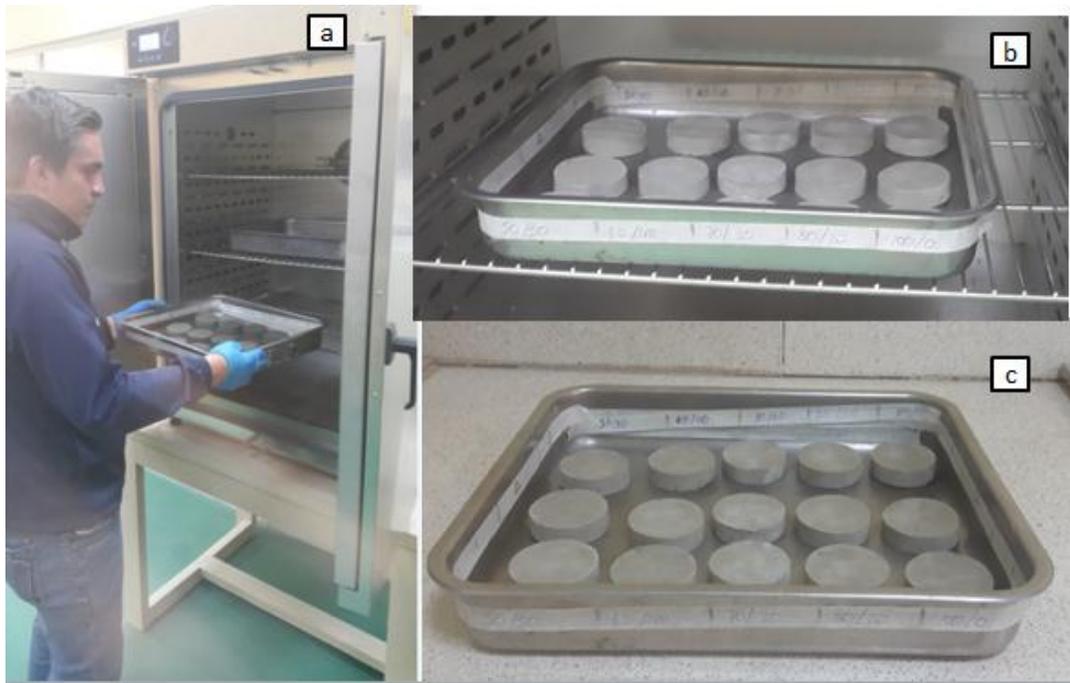


Figura 55. (a) Estufa para secado de discos; (b) Colocación de discos debidamente etiquetados (c) Discos luego del secado.
Fuente: El autor.

A continuación se muestra el programa de secado antes del proceso de cocción. Luego del secado en la estufa y antes de ingresar al horno se tomaron medidas de los discos para determinar su contracción al secado (diámetros, espesores y pesos).

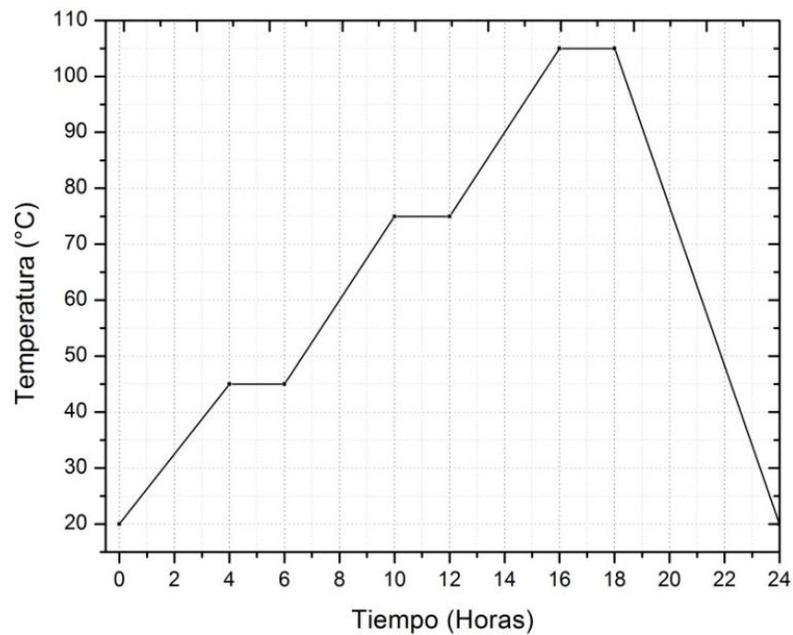


Figura 56. Programa de secado de los discos durante 1 día.
Fuente: El autor.

3.2.2.4.6. Cocción de discos

El proceso de cocción de los discos es relativamente más sencillo que el secado por una razón fundamental, la baja cantidad de masa. El proceso de cocción se basa en un programa que se incrementa a razón de $3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{minuto}$.

El horno que se utilizó posee una perilla que regula la cantidad de energía y por ende la elevación de la temperatura hasta un máximo de $950\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se eligió esta temperatura para no modificar las características de los productores artesanales puesto que éstos queman los ladrillos a esta temperatura.

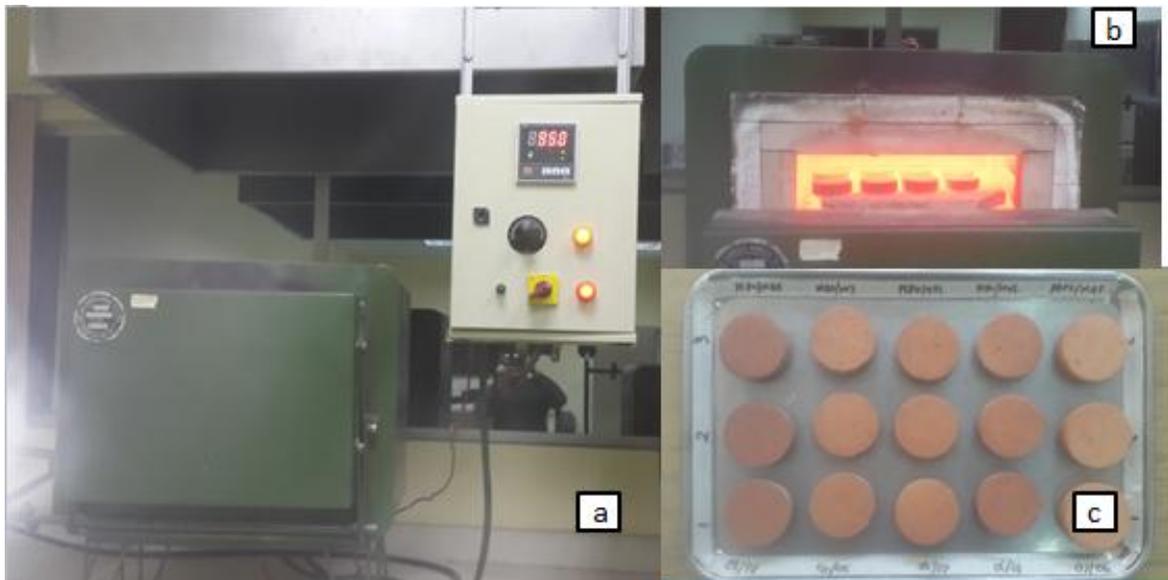


Figura 57. (a) Horno de cocción de discos; (b) Horno a 950°C ; (c) Discos luego del proceso de cocción.

Fuente: El autor.

Una vez que se alcanza la temperatura deseada, dejamos reposar por un lapso de tiempo de 2 horas y luego se apagó el horno y se dejó una abertura de 2.5 cm para que se enfríe lentamente. Luego al salir los discos del horno se tomaron medidas de dimensiones como diámetro y espesor, juntamente con los pesos para observar su contracción debido a la quema y también la contracción total.



Figura 58. Contracción luego de la quema al horno.
Fuente: El autor.

3.2.2.4.7. *Ensayo de compresión diametral*

Como ya se mencionó anteriormente el ensayo de compresión diametral se lo realizó puesto que nos ayuda a optimizar tiempo y material. Se obtiene un valor de carga máxima que resiste cada el disco.

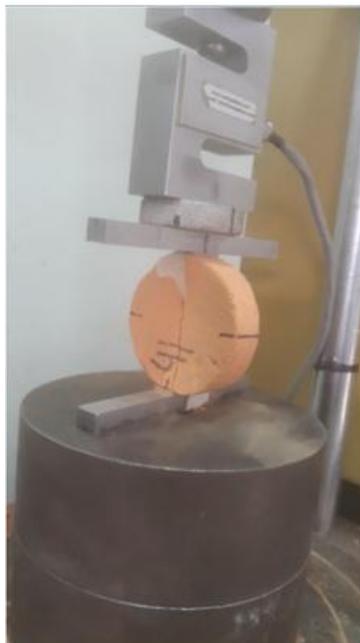


Figura 59. Ensayo de compresión diametral.
Fuente: El autor.

Se debe verificar que de acuerdo al ensayo brasileño la ruptura debe darse en el centro de los discos y corroborar de esta manera que los esfuerzos están siendo generados en el plano, como se muestra en la Figura 65, la ruptura se da en el centro.



Figura 60. Modos de ruptura del ensayo de compresión diametral.
Fuente: El autor.

3.2.2.4.8. Factor de optimización

Del ensayo de compresión diametral se determinó la carga máxima que resiste cada mezcla y al relacionarla con una propiedad intrínseca del material como lo es el peso se obtuvo lo que nosotros denominamos “factor de optimización”, que no es más que un indicador para tomar un camino hacia la búsqueda de nuestra mezcla óptima en la elaboración de ladrillos artesanales. En forma de ecuación el factor de optimización lo obtenemos mediante la relación:

$$F.O = \frac{\sigma_{cd}}{w} \quad (5)$$

De donde:

F.O: Indicador de optimización.

σ_{cd} : Resistencia máxima de compresión diametral en MPa.

W: Peso del disco en kg.

Con la ayuda de este indicador se obtuvo seis tipos de mezclas (ver Tabla 10), las cuales se siguieron sometiendo a pruebas de compresión diametral, sin embargo lo que varía es la temperatura de cocción de los discos y para ello se realizó una segunda dosificación.

3.2.2.5. Segunda dosificación

La segunda dosificación consiste en determinar la temperatura de cocción óptima para una mejor resistencia. De las seis combinaciones obtenidas (ver Tabla 10) se elaboraron 9 discos por cada mezcla con las cuales se siguió el mismo proceso de elaboración con una cocción a 500, 700 y 950° C cada mezcla (3 discos por cada temperatura). Para obtener una curva de quemado en donde obtendremos la temperatura de cocción que nos brinde la mejor resistencia.

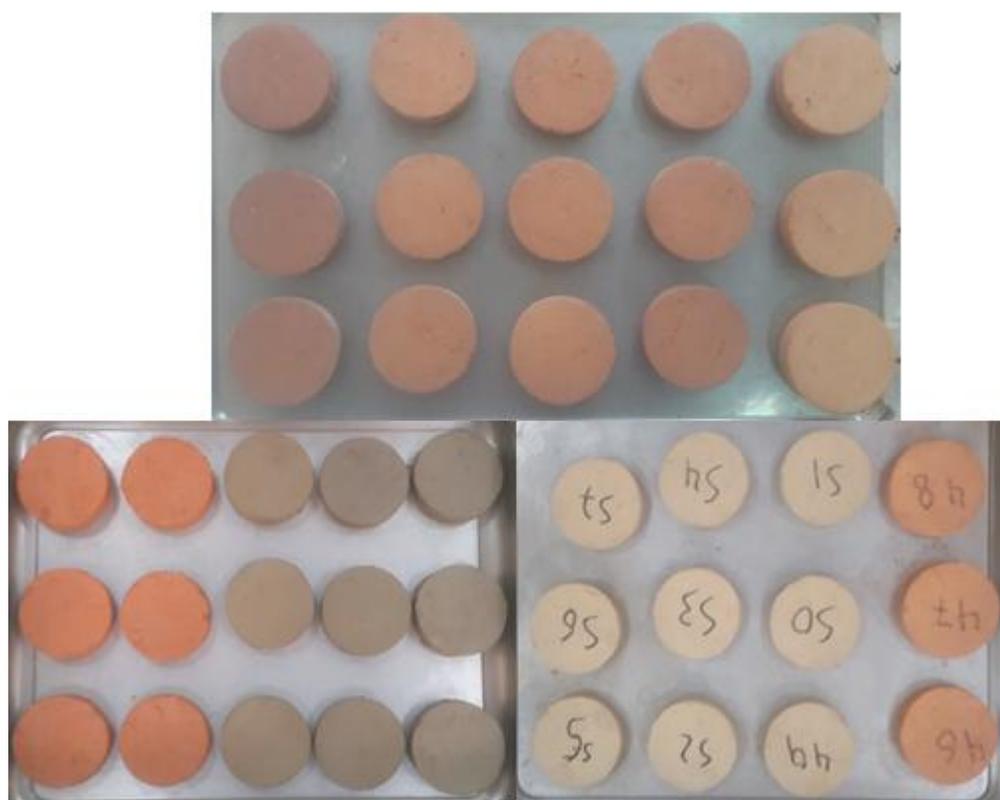


Figura 61. Variación del color de los discos quemados a 500° C y 700° C
Fuente: El autor

A continuación se muestra en la Tabla 10 las seis mejores mezclas con mejores factores de optimización y sus respectivos porcentajes de dosificación.

Tabla 10. Tabla para segunda dosificación

MUESTRA 1	MUESTRA 2	Dosificación (%)
Mina Ceibopamba	Mina Cangahua	80/20
Mina Ceibopamba	Mina Cangahua	60/40
Mina Ceibopamba	Mina de Arena Fina	90/10
Mina Ceibopamba	Mina potencial Palanda	70/30
Mina Ceibopamba	Mina potencial Chinguilamaca	70/30
Mina potencial Chinguilamaca	Mina de Arena Fina	90/10

Fuente: El autor.

Elaborado por: El autor.

3.2.2.5.1. *Proceso de elaboración de discos*

El proceso de elaboración de los discos es el mismo que se utilizó en la primera dosificación. Siguiendo los procesos desde la preparación de la mezcla, hidratado y amasado, moldeo, secado y finalmente la cocción de los discos. Sin embargo en este proceso únicamente se incorporó una variante; el proceso de amasado se lo hizo de forma manual, a diferencia de la primera dosificación donde se hizo un mezclado de activación mecánica. Con esta variante se prevé una disminución significativa de la resistencia a la compresión diametral, sin embargo hay que verificar con los resultados de la curva de temperatura vs resistencia de los discos (ver Figura 99). Para cada una de las seis combinaciones se elaboraron nueve discos, los cuales fueron quemados en tres sub grupos a temperaturas de 500, 700 y 950°C.



Figura 62. Mezclado y moldeo manual de discos a 500° C y 700° C.
Fuente: El autor.

3.2.2.5.2. *Ensayo de compresión diametral para discos quemados a 500 °C y 700°C*

Para este ensayo de compresión diametral se trabajó con el mismo equipo utilizado en la primera dosificación. De acuerdo a como se muestran los resultados en el apartado del análisis de resultados se puede corroborar la mejor temperatura de cocción que produce mejor resistencia a la compresión diametral (ver Figura 99)

CUARTA ETAPA

En esta última etapa se realizaron ladrillos con las seis mezclas óptimas para luego caracterizarlos mediante ensayos convencionales y comparar los resultados con ladrillos producidos artesanalmente en la región de Malacatos (Ver Figura 63).

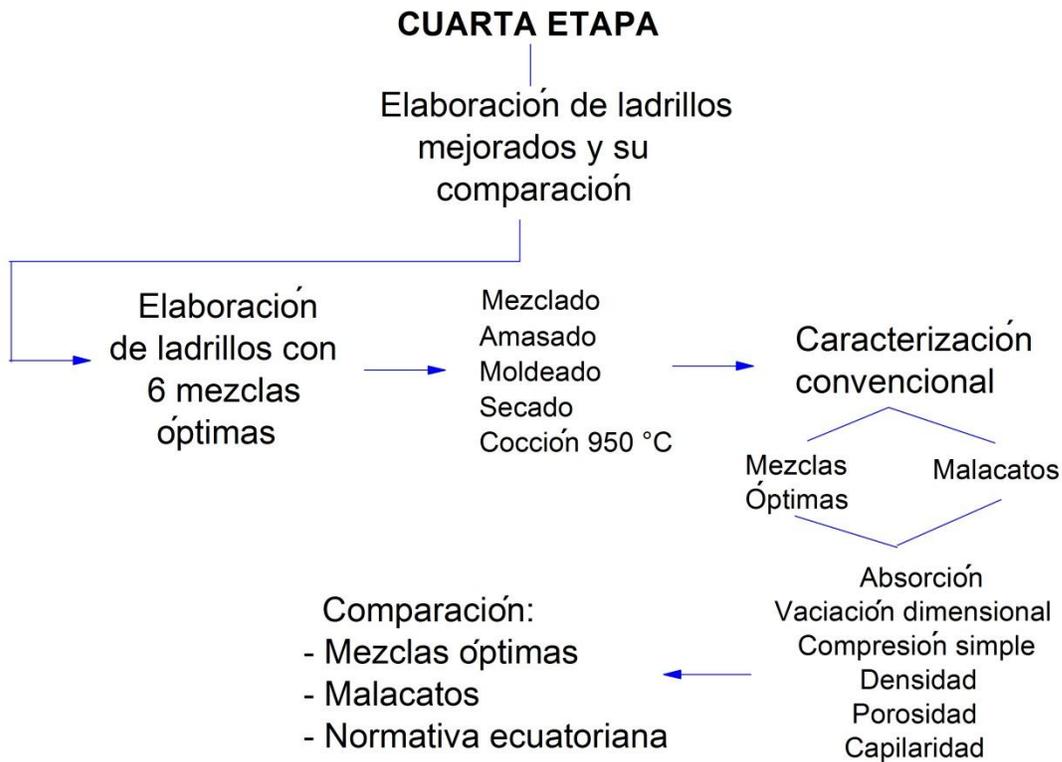


Figura 63. Cuarta etapa de la metodología. Elaboración de ladrillos mejorados y su comparación.
Fuente: El autor

3.2.3. Elaboración y caracterización convencional del ladrillo artesanal con mezclas óptimas.

3.2.3.1. Generalidades.

Todo el proceso de caracterización de la materia prima y el ensayo de compresión diametral, nos sirven como indicadores para buscar nuestra mezcla óptima entre materiales de la zona. Sin embargo se debe realizar las pruebas técnicas en el producto terminado, esto es en el ladrillo.

Durante el proceso de elaboración de ladrillos con la mezcla óptima se trata de mejorar los procesos de fabricación evitando en lo posible generar costes adicionales que puedan significar un incremento en el producto terminado (ladrillo artesanal).

Una vez elaborado el ladrillo artesanal con mezclas óptimas se caracterizó convencionalmente, dimensionando las propiedades de absorción, porosidad, variación dimensional, y resistencia a

la compresión, en el capítulo 4 "Análisis de resultados" se comparan los resultados de las seis mezclas óptimas con los ladrillos producidos artesanalmente y el la normativa ecuatoriana vigente (INEN 297).

3.2.3.2. Factor de optimización

Como se ha determinado seis mezclas con los mejores factores indicadores de optimización, así mismo, se elaboró seis tipos de ladrillos, (ver tabla 12). Se elaboró un total de 5 ladrillos para cada mezcla, para determinar posteriormente su idoneidad en función de la caracterización convencional.

Tabla 11. Mezclas con mejores factores de optimización

MUESTRA 1	MUESTRA 2	Porcentaje (%)	F.O Mpa/g
Mina Ceibopamba	Mina Cangahua	80/20	47,0
Mina Ceibopamba	Mina Cangahua	60/40	44,79
Mina Ceibopamba	Mina de Arena Fina	90/10	20,7
Mina Ceibopamba	Mina potencial Palanda	70/30	16,45
Mina Ceibopamba	Mina potencial Chinguilamaca	70/30	22,37
Mina potencial Chinguilamaca	Mina de Arena Fina	90/10	17,17

Fuente: El autor.
Elaborado por: El autor.

3.2.3.3. Dosificación de las mezclas óptimas

Se realizó la dosificación en porcentaje de peso. El contenido de agua en cada caso fue 5 puntos porcentuales por arriba del límite líquido de la muestra con mayor porcentaje, para esto se apoyó de una balanza electrónica.



Figura 64. Ladrillo producido con la mezcla óptima de Ceibopamba y Cangahua en 80%/20% respectivamente.
Fuente: El autor.

3.2.3.4. Mezclado.

Se realizó un premezclado que consiste en batir manualmente en seco la combinación de los materiales, con la finalidad de homogeneizar de mejor manera la materia prima. Otra manera de homogeneizar es tamizar cada una de las muestras por el tamiz # 40, con el propósito de eliminar todo tipo de materia orgánica como grumos y raíces. Luego se añadió el agua y se mezcló manualmente con las combinaciones y los porcentajes indicados en la Tabla 11.

3.2.3.5. Amasado

El amasado consiste en mezclar manualmente la mezcla con agua hasta obtener una masa homogénea que permita ser moldeada. Sin embargo para lograr una buena hidratación se dejó reposar éste por un lapso de dos horas.



Figura 65. Amasado a mano de ladrillos producidos con la mezcla óptima.
Fuente: El autor.

3.2.3.6. Moldeo

A diferencia de los discos ensayados a compresión diametral, se trabajó con moldes de madera con las mismas dimensiones que los ladrillos producidos artesanalmente en la región de Malacatos así:

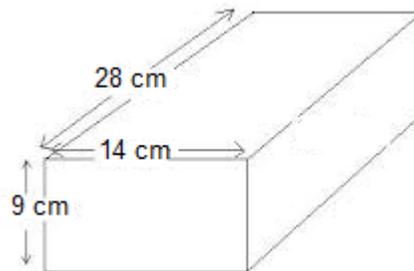


Figura 66. Dimensiones del molde para fabricar ladrillos artesanales.
Fuente: El autor.

Es necesario para este punto que la masa ya esté bien homogeneizada e hidratada de tal manera que pueda ser trabajable y moldeable. Un punto importante es la presencia de agua con arena en los bordes del molde y en el piso para facilitar el desmoldado y evitar que se adhiera la masa arcillosa del ladrillo con la superficie de contacto.

Una vez colocada la masa en el molde se procedió a compactar manualmente y mediante la aplicación de 4,5 kg, durante dos horas. Luego de este lapso de tiempo se retiró el peso y se procedió con el programa de secado.



Figura 67. Moldeo de ladrillos producidos con mezcla óptima.
Fuente: El autor.

3.2.3.7. Secado

El secado es un proceso que se debe realizar con mucho cuidado. En búsqueda de la optimización del proceso de secado en la estufa del ladrillo se cometió varios errores que se reflejaron en el apareamiento de fisuras. Sin embargo se optó por un plan de secado mixto, esto quiere decir un pre-secado que consiste en dejar el ladrillo a temperatura ambiente por un lapso de 2,5 días, y un secado en la estufa programable de acuerdo como se muestra en la siguiente Figura 74 durante 48 horas. Cabe indicar que los productores artesanales de su experiencia dejan secar al menos 7 días en condiciones favorables.



Figura 68. Secado en la estufa de ladrillos con mezcla óptima.
Fuente: El autor.

El programa de secado que se muestra la figura 74 explica la segunda parte del secado. Dura 48 horas divididas en tres partes: en la primera sube la temperatura durante 6 horas desde la temperatura ambiente hasta 60 ° C y se mantiene durante 8 horas; la segunda parte sube hasta 105 ° C en un tiempo de 8 horas y se mantiene el mismo tiempo y finalmente desciende hasta la temperatura ambiente en un lapso de 18 horas.

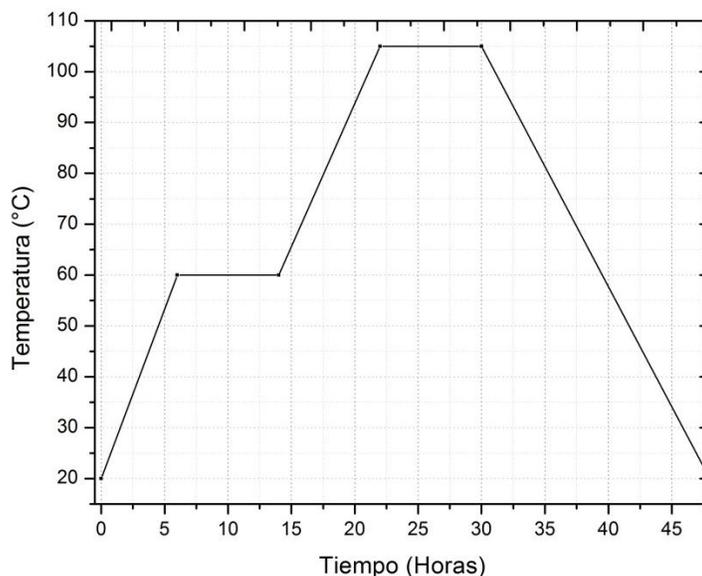


Figura 69. Programa de secado de ladrillos producidos con la mezcla óptima
Fuente: El autor

3.2.3.8. Cocción.

El proceso de cocción es fundamental y depende de la mineralogía de la materia prima. En nuestro caso al tener cuarzo se podría elevar aún más arriba de los 950 ° C la temperatura de cocción, sin embargo esto significaría un costo adicional del consumo de leña y por ende un impacto ambiental adicional. Es por esta razón que la temperatura de cocción se la llevó de similares características a la que utilizan los productores artesanales (950 ° C).

Es también un problema elevar de manera muy rápida la temperatura de cocción puesto que se generan grietas en el ladrillo basados en la experiencia adquirida por Pérez (2016), se implementó una tasa de crecimiento de 1,6 ° C por minuto tal como se muestra en la gráfica.

Para el descenso de la temperatura se apagó el horno y dejó cerrado hasta alcanzar la temperatura ambiente. El horno utilizado es un equipo controlado por un reóstato capaz de obtener las temperaturas deseadas, el mismo que se utilizó para la elaboración de los discos.

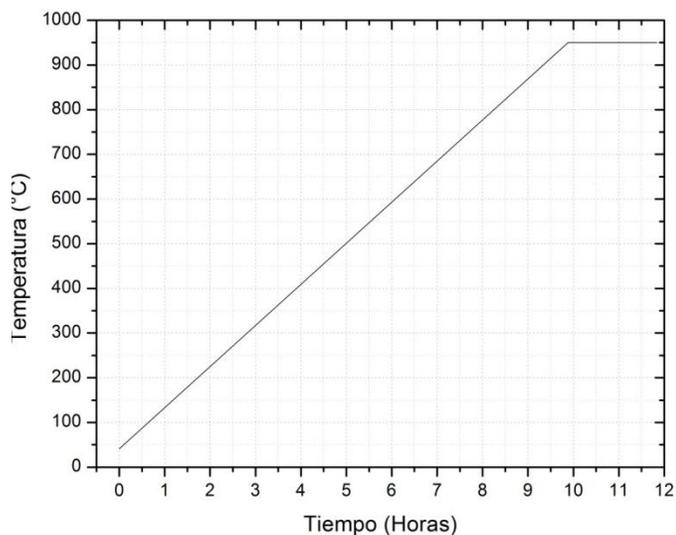


Figura 70. Gráfica de temperatura de cocción de los ladrillos producidos con mezcla óptima
Fuente: El autor

3.2.3.9. Caracterización convencional de ladrillos con mezclas óptimas

Se ha denominado en nuestra investigación como caracterización convencional, a la determinación de propiedades como: absorción, porosidad, capilaridad, variación dimensional y resistencia a la compresión simple.

Estas propiedades nos permitieron comparar el ladrillo artesanal producido con la mezcla óptima y el ladrillo producido en la región con la normativa ecuatoriana vigente (INEN 297).

3.2.3.9.1. Absorción

Para la determinación de la absorción se utilizó la norma INEN 296, que establece a la absorción de la humedad como una relación entre la masa secada al horno y la masa del ladrillo luego de haber sido sumergida por un lapso de 24 horas.

Para la realización de este ensayo se debe corroborar que cada unidad de ladrillo esté en estado completamente seco, para lo cual utilizamos una estufa hasta una temperatura de 110°C, hasta obtener masa constante.

Luego se registró el peso seco de cada unidad de ladrillo y se procedió a sumergirlo en un tanque durante 24 horas, hasta obtener masa constante. Se registró el peso saturado y se obtuvo el porcentaje de absorción aplicando la Ecuación (6):

$$\text{Absorción \%} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (6)$$

De donde:

W_1 : Peso del ladrillo secado al horno en gramos (g)

W_2 : Peso del ladrillo saturado en gramos (g)

3.2.3.9.2. *Densidad Aparente*

Cabe señalar que existen dos tipos de densidad: real y densidad aparente. La diferencia entre las dos radica en que la densidad real se realiza en función de las partículas sólidas y la densidad aparente toma en cuenta el volumen de poros. Para la determinación de la densidad aparente se hizo mediante una relación de pesos y se aplicó la Ecuación (77).



Figura 71. Sumersión de ladrillos con mezcla óptima durante 24 horas.
Fuente el autor.

Procedimiento:

1. Determinar el peso seco del ladrillo. Para esto se debe ingresar el ladrillo en el horno a temperatura de 110 °C registrar el peso y luego dejar al ambiente y determinar nuevamente el peso, si existe una gran variación se repite el proceso.
2. Sumergir durante 24 horas el ladrillo para obtener el peso saturado.
3. Obtener el peso sumergido del ladrillo, esto quiere decir el peso que se genera estando dentro de un pozo de agua.
4. Aplicar la ecuación para la determinación de la densidad aparente

$$\rho_{ap} = \frac{W_{seco} \times \rho_{agua}}{W_{saturado} - W_{sumergido}} \quad (7)$$

De donde:

ρ_{ap} : Densidad aparente en $\frac{g}{cm^3}$

W_{seco} : Peso del ladrillo seco en gramos (g)

ρ_{agua} : Densidad del agua en $\frac{g}{cm^3}$

$W_{saturado}$: Peso del ladrillo saturado en agua durante 24 horas en gramos (g)

$W_{sumergido}$: Peso del ladrillo sumergido en gramos (g)

3.2.3.9.3. Porosidad

La porosidad hace referencia al volumen de vacíos o poros existentes dentro de un material de construcción, posee una relación teórica de proporcionalidad inversa a la resistencia a la compresión y existen tres tipos de porosidad que fueron determinadas mediante la aplicación de sus respectivas ecuaciones descritas a continuación.

- Porosidad Abierta.

Se determina por diferencia de pesos y por definición es el la relación que existe entre el volumen de huecos y el volumen aparente expresado en porcentaje.

El procedimiento se basa en la determinación de los pesos seco, saturado y sumergido del ladrillo del mismo modo que en la determinación de la densidad para luego aplicar la Ecuación (88):

$$P_{ab}(\%) = \frac{W_{saturado} - W_{seco}}{W_{saturado} - W_{sumergido}} \times 100 \quad (8)$$

De donde:

$P_{ab}(\%)$: Porosidad abierta expresada en porcentaje

W_{seco} : Peso del ladrillo seco en gramos (g).

$W_{saturado}$: Peso del ladrillo saturado en agua durante 24 horas. En gramos (g).

$W_{sumergido}$: Peso del ladrillo sumergido. En gramos (g).



Figura 72. Secado a la estura para obtener el peso sumergido de ladrillos con mezclas óptimas.
Fuente: El autor.

- Porosidad total.

Es el volumen total de poros que existe en un ladrillo y se lo determina en porcentaje de variación entre la densidad real y la densidad aparente. Para efectos de nuestra investigación se aplicó la Ecuación (99):

$$P_{total}(\%) = \frac{\rho_{real} - \rho_{ap}}{\rho_{real}} \times 100 \quad (9)$$

De donde:

$P_{total}(\%)$: Porosidad total expresada en porcentaje

ρ_{real} : Densidad real en $\frac{g}{cm^3}$

ρ_{ap} : Densidad aparente en $\frac{g}{cm^3}$

- Porosidad cerrada.

La porosidad cerrada no es más que la diferencia que existe entre la porosidad total y la porosidad abierta cuya ecuación es la siguiente:

$$P_{cd}(\%) = P_{total} - P_{ab} \quad (10)$$

De donde:

$P_{cd}(\%)$: Porosidad cerrada expresada en porcentaje

P_{total} : Porosidad Total

P_{ab} : Porosidad abierta

3.2.3.9.4. Capilaridad

El efecto de capilaridad en los ladrillos cerámicos es fundamental puesto que está relacionado directamente con la durabilidad, degradación rendimiento térmico, rendimiento acústico e impermeabilidad de ladrillos. (Guimarães, de Freitas, Delgado, & Rego, 2015).

Es una propiedad que debe ser obtenida aunque en la normativa ecuatoriana no se encuentra requisitos mínimos, se mide en $g/cm^2 * minuto^{0.5}$.



Figura 73. Ensayo de capilaridad para ladrillos.
Fuente: El autor.

Procedimiento:

1. Se prepara una bandeja con agua y unos tacos que puedan servir de base para introducir el ladrillo en el agua aproximadamente a 3 mm de la superficie.
2. Se mide la superficie que va a estar en contacto con el agua
3. Se sumerge el ladrillo durante 1,3,5,10,15,20 y 30 minutos y se toma las lecturas de pesos correspondientes a cada tiempo (antes de ingresar a la balanza para medir el peso, se debe secar superficialmente con una franela el ladrillo)
4. Se realiza los cálculos para graficar la variación de peso entre el área superficial versus la raíz cuadrada del tiempo en minutos. Se obtiene una línea recta, puesto que son dos directamente proporcionales. (Guimarães, de Freitas, Delgado, & Rego, 2015)
5. Se obtiene el coeficiente de capilaridad (k) que es la pendiente de la recta obtenida.

3.2.3.9.5. *Compresión simple*

Por definición el esfuerzo a la compresión es la manera como se opone el ladrillo a ser comprimido por acción de una carga. Su fórmula expresa la relación entre la carga máxima que soporta el ladrillo y el área de contacto que está expuesta a dicha carga, y su unidad de medida es el Pascal (Pa).

En nuestro medio es un ensayo muy utilizado en hormigones, sin embargo al igual que todos los requisitos mínimos de ladrillos no se hacen cumplir en nuestra localidad. A pesar de ello es fundamental obtener la resistencia a la compresión del ladrillo puesto que es un parámetro que lo clasifica y nos brinda una idea bastante real a la durabilidad del mismo.



Figura 74. Prensa ACUTEK para el ensayo de compresión simple en ladrillos.

Fuente: El autor

Se utilizó la máquina de ensayo de compresión simple ACCU-TEK que posee programas electrónicos para cada material de construcción.

Procedimiento:

1. Se preparó cada unidad de ladrillo tomando las respectivas medidas de peso y volumen antes de ser ensayadas.
2. Se centró el ladrillo con respecto a la rótula.
3. Se aplicó la carga con una velocidad gradual, como lo indica la norma INEN 294
4. Una vez ensayado el ladrillo se obtiene la máxima carga de la máquina y se la divide para el área de contacto del ladrillo y se obtiene la resistencia a la compresión simple.

$$\sigma_s = \frac{P}{A} \quad (11)$$

De donde:

σ_s : Resistencia a la compresión simple en Megapascuales

P: Carga de rotura, en Newtones

A: Área de sección en milímetros (se calcula multiplicando el largo por el ancho del ladrillo)

3.2.3.9.6. *Variación dimensional*

Son los cambios que sufre el ladrillo durante su proceso de elaboración ante la acción de la elevación de temperaturas. Al principio se tiene una masa hidratada de arcilla y luego por medio del secado y cocción, pierde contenido de agua hasta obtener el producto terminado que es el ladrillo artesanal.

Los cambios se pueden medir en función de la pérdida de volumen, peso y variaciones en sus dimensiones. El ladrillo elaborado a mano de acuerdo a la normativa ecuatoriana debe tener una variación dimensional de máximo 8 mm. El procedimiento consiste en medir todas las dimensiones del ladrillo y verificar su variación.



Figura 75. Medición de la longitud para el ensayo de variación dimensional
Fuente: El autor.

3.2.4. Ladrillos producidos artesanalmente.

3.2.4.1. Generalidades

Las familias son los principales actores de la producción de ladrillos artesanales en la región de Malacatos, siendo la actividad principal para el desarrollo de su economía. Al igual que en muchos sectores del país esta actividad es una fuente de empleo cuyos conocimientos y criterios para la elaboración del ladrillo han sido adquiridos por sus ancestros y no reciben ningún tipo de control de calidad ni instrucción para mejoras en los procesos.

Utilizan como materia prima la arcilla y el agua, moldean en el suelo, el secado es al aire libre y su cocción se produce en hornos artesanales durante 2 y 3 días. El combustible que utilizan es madera, aunque también el aserrín. (Chamba & Moreno, 2011)

En términos generales el proceso de producción de ladrillos artesanales en la región de Malacatos lo hemos dividido en 6 partes: extracción de la materia, preparación de la materia, hidratado y amasado, moldeo, secado y cocción.

3.2.4.2. Extracción de la materia prima.

Los productores de ladrillos artesanales en la región de Malacatos extraen la mayor parte de ocasiones la materia prima de la mina Ceibopamba, únicamente un productor mezcla este material con la mina Cangahua en diferentes porcentajes. El traslado se lo hace por medio de la utilización de volquetes y se deposita y apila en cercanía para facilidad de manejo de la arcilla.

3.2.4.3. Preparación de la materia.

El sector ladrillero de Malacatos que no le dan una preparación previa minuciosa ni homogeneizan el material en seco, sino que directamente de la cantera a la pila y de la pila al hidratado y amasado.



Figura 76. Apilamiento de la materia prima sin previa preparación.
Fuente: El autor.

3.2.4.4. Hidratado y amasado.

El hidratado lo hacen en pozos que se han elaborado específicamente con este fin y mantienen contacto directo con el suelo con el suelo, esto quiere decir que la materia prima extraída de la cantera está expuesta a la contaminación. El amasado lo realizan por medio de pisadas (utilizan los pies), lo cual se realiza hasta que por medio de la observación visual se determine la idoneidad para el moldeo.



Figura 77. Productores artesanales. (a) Hidratado de la materia prima; (b) amasado de la materia prima
Fuente: El autor.

3.2.4.5. Moldeo

Para el moldeo de los ladrillos artesanales, los productores utilizan un molde de madera con dimensiones de 28cm x 14cm x 9 cm. Una vez que esté lista la mezcla de arcilla con agua, se prepara el molde cubriéndolo de agua con arena para facilitar el desmoldado. Se coloca una capa de arena fina en el piso para evitar que la arcilla se pueda pegar con el suelo. y se coloca la arcilla en el molde para que tome la forma de ladrillo.



Figura 78. Productores artesanales. (a) Molde de madera; (b) Moldeo de ladrillos
Fuente: El autor.

3.2.4.6. Secado

El secado de los ladrillos recién moldados se lo realiza al aire libre durante 7 días para que eliminen toda la cantidad de agua que pudiera causar fisuras. Se los coloca a campo abierto en los terrenos de cada productor, siendo un problema cuando se producen precipitaciones, por lo tanto algunos productores prefieren evitar la producción en estas temporadas y otros productores colocan plásticos para evitar que las gotas de agua erosionen el ladrillo crudo.



Figura 79. Secado de ladrillos artesanales al aire libre.
Fuente: El autor.

3.2.4.7. Cocción

Para el proceso de cocción los productores artesanales poseen hornos de capacidad de 5 000 hasta 12 000 ladrillos (Chamba & Moreno, 2011). El tiempo determinado de cocción en base a la experiencia adquirida por los productores es de 2 a 3 días, y luego lo dejan reposar hasta que se enfríen a temperatura ambiente.



Figura 80. Horno de cocción de ladrillos colocación y quemado.
Fuente: El autor.

3.2.4.8. Caracterización convencional de ladrillos artesanales

La caracterización convencional de ladrillos elaborados por productores artesanales se lo realizó cumpliendo las normas establecidas y siguiendo los mismos procedimientos utilizados en la caracterización convencional de ladrillos producidos con la mezcla óptima para tener una comparación y determinar el grado de mejora en la calidad de los ladrillos.

Los ensayos realizados fueron: absorción, porosidad (abierta, cerrada y total), capilaridad, variación dimensional y compresión simple, los resultados se muestran en el capítulo de análisis de resultados. Existen en la región de Malacatos un total de 12 productores por lo que he muestreó aleatoriamente 5 de ellos y de cada productor se muestreó un total de 5 unidades de ladrillos de acuerdo a la norma técnica ecuatoriana y luego realizar la caracterización convencional.



Figura 81. Muestreo de ladrillos de 5 productores artesanales de Malacatos.
Fuente: El autor.

CAPÍTULO IV:
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados de ensayos por atributos y físicos.

A continuación se muestra los resultados y el análisis de los ensayos por atributos: color, sensación al tacto, consistencia, textura e impurezas, juntamente con los ensayos físicos: granulometría, límites de Atterberg, densidad y gravedad específica.

La tabla 12 muestra la caracterización por atributos. El color se encuentra descrito en la columna 1 de acuerdo a la tabla Munsell, así podemos observar que todos poseen un matiz de color (Y), esto indica la presencia de óxidos hidratados de hierro (Fe), normalmente este tipo de matiz se presenta en ambientes o climas templados (Ovalles Viani, 2003). Los valores de claridad varían desde 2 a 8, por lo que podemos observar que los valores más claros son para las muestras de Chinguilamaca y Palanda. Los valores de pureza son relativamente bajos, fluctúan entre 2 y 4. La muestra de la mina de Palanda tiene un adicional de color rojo, lo cual según Ovalles (2003) es producto de la meteorización e indica alta presencia de hierro, niveles bajos de pH; podría ser indicativo de contener el mineral hematita. La muestra de Ceibopamba, Cangahua y arena fina, poseen a parte del color amarillento un ligero color gris lo cual podría ser indicativo de la presencia del mineral caolinita.

El ensayo de sensación al tacto nos sirve para establecer de manera rápida y de forma visual pero no tan precisa el tipo de suelo que se podría presentar, de esta manera mediante este ensayo se determinó la presencia de arcillas en las minas de Ceibopamba y Cangahua, limos en las minas de Chinguilamaca y Palanda; y la última mina posee arena fina. La mina Ceibopamba es la que presenta mayor plasticidad, la mina Palanda forma ligeramente cinta, se observa que es más granular que la mina Chinguilamaca (ver Tabla 12).

Las muestras presentan distintos grados de consistencia siendo la mina de Ceibopamba la que muestra la mejor consistencia, lo cual indica que posee buenas fuerzas de cohesión y adhesión. La mina Cangahua posee una buena cohesión, sin embargo las minas de Chinguilamaca y Palanda muestran una consistencia frágil, por lo que consecuentemente la adhesión y cohesión son bajas. Análogamente el otro extremo es la arena fina que no muestra consistencia (suelta).

El ensayo de textura es análogo a los límites de Atterberg y granulometría que nos permiten caracterizar de forma precisa a los suelos. Destacan los extremos de arena fina y Ceibopamba puesto que la primera permanece suelta (arenosa) y la segunda es maleable y no presenta grietas. La mina Cangahua, Chinguilamaca y Palanda poseen características que de no ser

muy maleables o presentar grietas de acuerdo a la tabla. Estos datos del ensayo son la primera clasificación visual del tipo de suelo que tenemos, sin embargo la granulometría nos brinda resultados más acertados.

La última columna de la tabla 12 muestra los resultados del ensayo del contenido de impurezas en cada una de las muestras. Las muestras de Ceibopamba, Palanda y arena fina no muestran visualmente impurezas apreciables, Ceibopamba posee cobertura superficial vegetal y la mina de Chinguilamaca ligeramente. Éste tipo de impurezas se observan en el horizonte de las minas.

Tabla 12. Resultados de los ensayos por atributos

Muestra	Color Código Munsell	Sensación al tacto	Consistencia	Textura	Tipo de impurezas
Ceibopamba	7.5 Y [6/2]	Forma cinta, se siente el grado de plasticidad	Extremadamente fuerte	Arcillosa	No apreciables
Cangahua	10 Y [5/2]	Forma cinta	Fuerte	Arcillo Limosa	Cobertura superficial vegetal
Chinguilamaca	5 Y [7/3]	Forma cinta, no es muy plástica	frágil	Franco Arcillosa	Esporádicas raíces
Palanda	7,5 YR [7/4]	Ligeramente forma cinta	frágil	Franco o Arcillosa	No apreciables
Arena fina	10 Y [6/2]	No forma cinta	Suelta	Arenoso	No apreciables

Fuente: Varios.

Elaborado por: El autor.

4.1.1. Análisis granulométrico.

La distribución granulométrica nos permite obtener los porcentajes de arcilla, arena y limo en las muestras de materia prima. En la primera sección de la Tabla 13 se muestra los resultados de las granulometrías obtenidas para cada una de las minas, donde podemos destacar los valores altos de limo y arcilla para las muestras de Ceibopamba y Cangahua, esto es un indicador para la trabajabilidad del moldeado. Por el contrario los porcentajes altos de arena de la muestra de Palanda, nos indican una baja trabajabilidad. (ver anexo granulometría método del hidrómetro)

Tabla 13. Resumen de los resultados del ensayo de granulometría, límites de Atterberg y densidad de los suelos

	GRANULOMETRIA			LIMITES DE ATTERBERG			DENSIDAD
	% Limo	% Arcilla	% Arena	L.L	L.P	I.P	g/cm^3
Ceibopamba	37	26	37	39	23	16	2,62
Cangahua	41	24	36	36	22	14	2,54
Chinguilamaca	24	19	58	31	20	11	2,45
Palanda	30	7	63	36	27	9	2,62

Fuente: El autor

Elaborado por: El autor.

Los límites de Atterberg son: límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad los cuales se muestran en la Tabla 13. El valor más alto del límite líquido es 39% para la muestra de Ceibopamba esto nos ayudará a determinar el contenido de agua para cada mezcla. El índice de plasticidad muestra porcentajes bajos para las muestras de Chinguilamaca y Palanda, cabe indicar que el ensayo no se practicó a la arena fina por considerarse un suelo NP.

Se realizaron la clasificación mediante la carta de plasticidad descrita por el Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) y también la American Association of State Highway and Transportation Officials (ASSTHO) (ver Tabla 14), de acuerdo a éstas clasificaciones se tiene que la SUCS determina que la muestra de Ceibopamba es una arcilla inorgánica de mediana plasticidad al igual que la Cangahua, lo cual concuerda con los ensayos de contenido de materia orgánica. Mientras que las muestras de Chinguilamaca y Palanda al reducir su plasticidad se clasifican como limos y de igual manera inorgánicos. Ésta carta de plasticidad se la realiza en función del límite líquido y el índice plástico. (ver anexo carta de plasticidad)

Este tipo de clasificación está en función de la granulometría y de los límites de Atterberg. La AASTHO es un poco menos rigurosa y los clasifica a todas las muestras como un tipo de suelo entre A-5 y A-6, que son suelos arcillosos en su mayoría (ver Tabla 14).

Tabla 14. Clasificación de los suelos de acuerdo a la SUCS y la ASSTHO.

	SUCS	DESCRIPCION	AASHTO	DESCRIPCIÓN
Ceibopamba	CL	Arcilla inorgánica de media plasticidad	A-6	Suelo Arcilloso
Cangahua	CL	Arcilla inorgánica de media plasticidad	A-6	Suelo Arcilloso
Chinguilamaca	ML	Limo inorgánicos arcilloso ligeramente plástico	A-6	Suelo Arcilloso
Palanda	ML	Limo inorgánico arenoso ligeramente plástico	A-5	Suelo Limoso

Fuente: SUCS y AASHTO

Elaborado por: El autor

El ensayo de densidad nos permite obtener la relación entre la masa y el volumen. Como se muestra en la Tabla 13, la mina que posee mayor densidad es la de Ceibopamba y el valor más bajo es la densidad de la mina Chinguilamaca lo cual es un indicador para obtener un mayor peso de los ladrillos.

4.2. Resultados de los ensayos químicos.

4.2.1. Ensayo de contenido de materia orgánica, carbonatos. Superficie específica y potencial hidrógeno (pH).

La materia orgánica es una característica de suelos altamente agrícolas, sin embargo para la elaboración de ladrillos no es muy aconsejable por las altas temperaturas a las que se queman y por ende la presencia de materia orgánica se desintegra generando poros. Ninguna de las minas presentó efervescencia ante la presencia de peróxido de hidrogeno (agua oxigenada) por lo tanto no presentan materia orgánica representativa. El ensayo se lo realizó con material triturado y pasado por el tamiz de abertura de 1mm, por lo que contenido de materia orgánica de tamaños superiores no son apreciables.

El ensayo de contenido de carbonos indica presencia de los mismos cuando se aplica una solución de HCl y se observa la efervescencia en las muestras. Las minas de Chinguilamaca, Arena Fina, y Cangahua muestran una leve efervescencia ante la acción del ácido clorhídrico al 10%. Las muestras de Ceibopamba y Palanda no muestran efervescencias, por lo que no contienen carbonatos.

La Tabla 15 muestra los resultados del ensayo de potencial hidrógeno y superficie específica realizado a las muestras de materia prima. El valor de pH define a un suelo como ácido, neutro y básico o alcalino. Algunos autores varían el valor de pH para su clasificación, aunque en suelos agrícolas la mayoría coinciden en valores de suelos neutros entre 6 y 8; valores mayores son suelos alcalinos y valores menores son suelos ácidos.

En la Tabla 15 se observa que la mayoría de suelos se encuentra en niveles neutros de pH, aunque el suelo de Chinguilamaca posee un valor de bajo de 5,9 y el suelo de Palanda por el contrario el valor más alto de 8,6. Cabe señalar que éstos indicadores de pH no se encuentran mayormente disparados teniendo en cuenta que el potencial hidrógeno altera el grado de solubilidad de los minerales, éstos valores afectan para usos agrícolas puesto que las plantas únicamente absorben minerales disueltos en agua.

La superficie específica es un valor que nos da una idea general del mineral presente en los suelos, sin embargo el ensayo de difracción de rayos X es más preciso. La columna 3 de la Tabla 15 muestra los resultados del ensayo de superficie específica. Así la muestra de Ceibopamba posee una superficie específica de $6,1 \text{ m}^2/\text{g}$, lo cual indica la presencia del mineral caolinita de elevada cristalinidad, illita y Halloisita (Uribe S., 2014). Las muestras de Cangahua y arena fina poseen similitud entre sus valores de superficie específica que oscilan entre 39 y $48 \text{ m}^2/\text{g}$, por lo que según Uribe (2014) posee los minerales, caolinita de baja cristalinidad, illita y tentativamente Halloisita. La muestra de Palanda con su valor de $20,2 \text{ m}^2/\text{g}$, contiene los minerales de caolinita e illita. La muestra de Chinguilamaca posee el valor más elevado ($90,5 \text{ m}^2/\text{g}$), por lo que el mineral montorillonita e illita son los que predominan en su estructura.

Tabla 15. Resultados del ensayo de pH y Superficie específica

Muestra	pH	Superficie específica m^2/g
Ceibopamba	7,7	6,1
Cangahua	7,2	48,9
Arena Fina	7,2	39,8
Palanda	8,6	20,2
Chinguilamaca	5,9	90,5

Fuente: El autor

Elaborado por: El autor.

4.2.2. Ensayo de fluorescencia de rayos X (FRX).

La fluorescencia de rayos X es un ensayo que nos permite cuantificar y cualificar la composición química de cada una de las muestras, lo cual es muy importante en el proceso de caracterización de la materia. Por definición podemos decir que un mineral arcilloso es un silicato hidratado de aluminio, hierro o magnesio y lo comprobamos al observar nuestros resultados de fluorescencia con la presencia de silicio, hierro, aluminio y magnesio (ver Tabla 16).

Mediante este ensayo se puede determinar que la presencia en altos porcentajes de óxido de silicio (SiO_2) en todas las muestras de suelos cuyos valores fluctúan ente $47,9$ a $64,8\%$, los cuales son indicadores para encontrar la presencia del mineral cuarzo mediante la difracción de rayos X. La sílice (SiO_2) también le brinda al ladrillo cocido tres propiedades fundamentales:

durabilidad, la capacidad de conservar su forma y previene los cambios excesivos volumétricos (Quillupangui, 2011). El óxido de aluminio (Al_2O_3) es otro un elemento presente en todas las muestras con porcentajes altos con valores entre 18,1 a 22,1% y por tal motivo es probable la existencia del mineral caolinita. Al unirse el óxido y el aluminio (alúmina) adquieren un mayor punto de fusión que el aluminio sólo y mejoran significativamente su dureza (Quillupangui, 2011).

La presencia del elemento químico óxido de hierro (Fe_2O_3) es un indicador para la existencia de minerales como la hematita, magnetita o goetita. Los suelos arcillosos generalmente poseen menos del 7% de óxido hierro, le brinda al ladrillo resistencia, tiende a reducir el punto de fusión y sobre todo contribuye en la durabilidad del producto terminado (Quillupangui, 2011). El óxido de potasio (K_2O) posee valores bajos entre 1,89 y 3,76% en todas las muestras pero es un indicador para la existencia del mineral illita (Swisscontac, 2011). Los óxidos de calcio, estaño y magnesio al igual que otros óxidos se encuentran en menores porcentajes de peso por lo que no serán influyentes en la determinación de un mineral predominante en nuestras muestras de suelos arcillosos y arenosos.

Tabla 16. Resumen del ensayo de fluorescencia de rayos X para cada muestra. Elementos destacados.

	Composición química (%)				
	Ceibopamba (MCB)	Cangahua (MCA)	Palanda (MPL)	Chinguilamaca (MCH)	Arena Fina (MAF)
Al_2O_3	22,1	21,4	31,2	18,1	21,4
SiO_2	64,8	62,5	47,9	51,8	62,5
Fe_2O_3	6,4	6,99	5,45	6,12	6,99
K_2O	3,5	3,76	2,87	1,89	3,76
CaO	1,3	0,95	-	1,94	0,95
TiO_2	0,77	-	0,72	0,41	-
MgO	-	2,94	-	-	2,94
Sno_2	-	-	0,25	-	-

Fuente: El autor

Elaborado por: El autor.

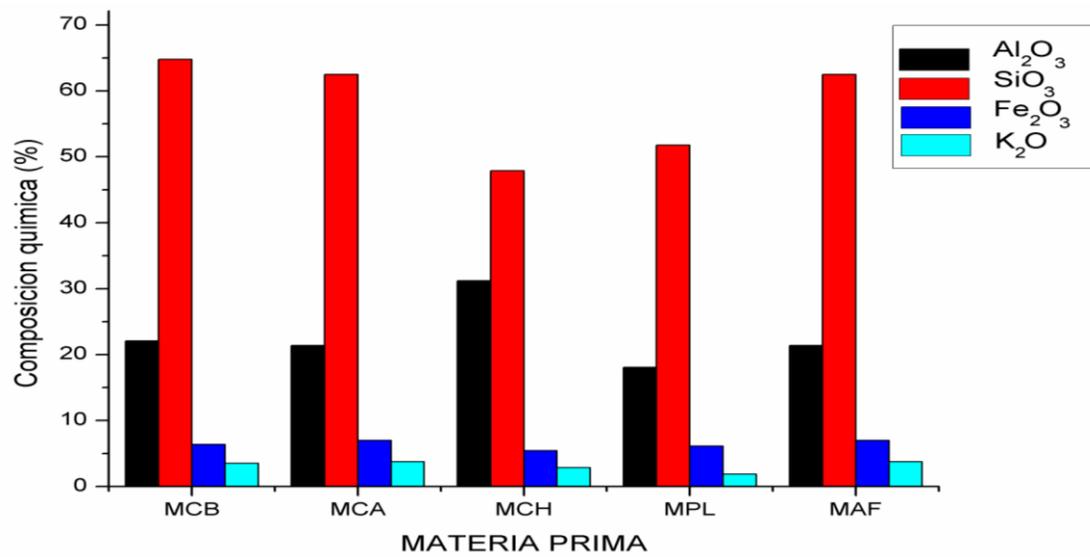


Figura 82. Ensayo de FRX. Resumen de la composición química de la materia.
Fuente: El autor

4.2.3. Ensayo de difracción de rayos X.

Los espectrogramas de rayos X se analizaron mediante el programa DIFRAC.EVA, a continuación:

MCB (Coupled TwoTheta/Theta)

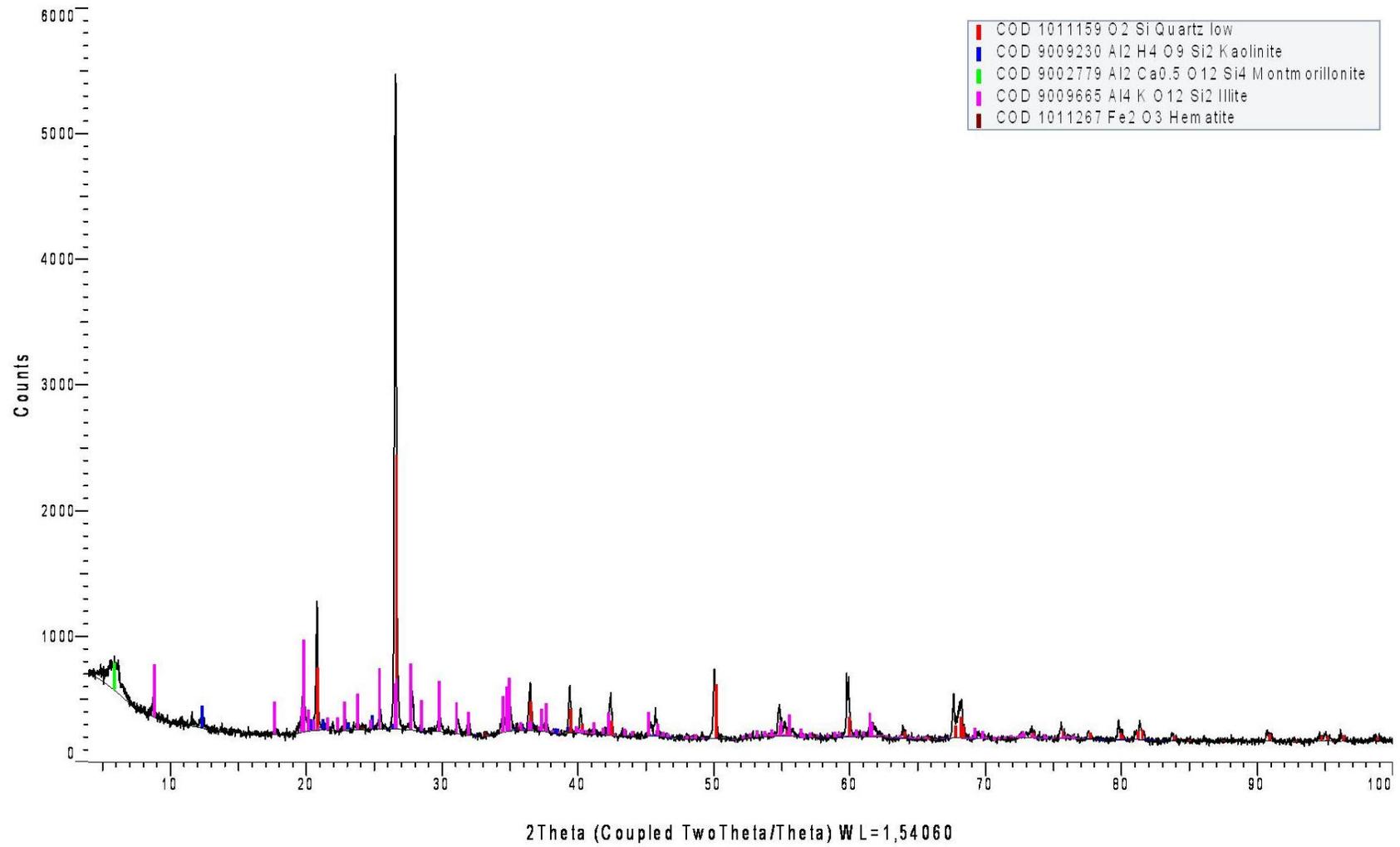


Figura 83. Difractograma de rayos X. Mina Cangahua.

Fuente: El autor

8 (Coupled TwoTheta/Theta)

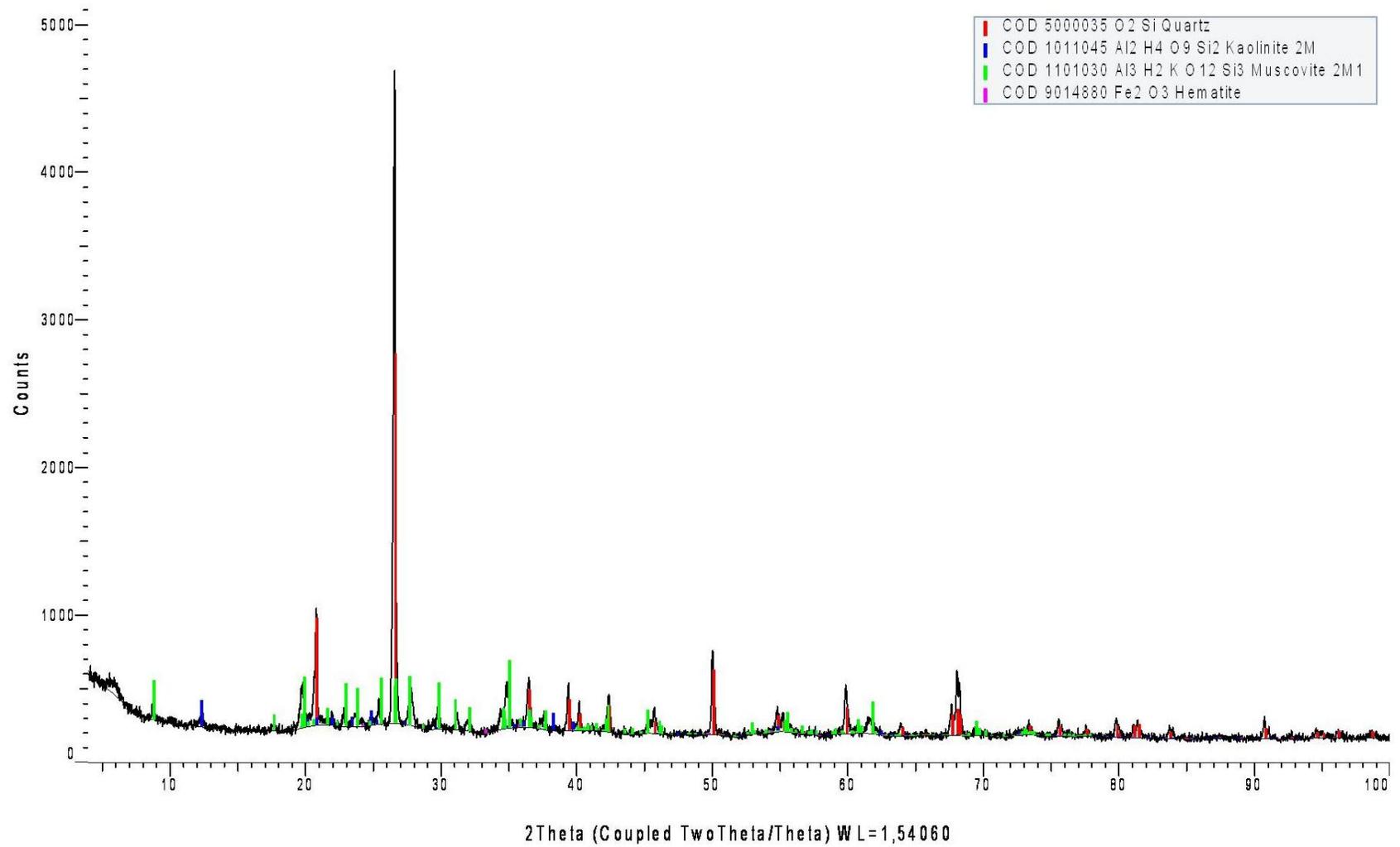


Figura 84. Difractograma de rayos X. Mina Cangahua.
Fuente: El autor

MCH (Coupled TwoTheta/Theta)

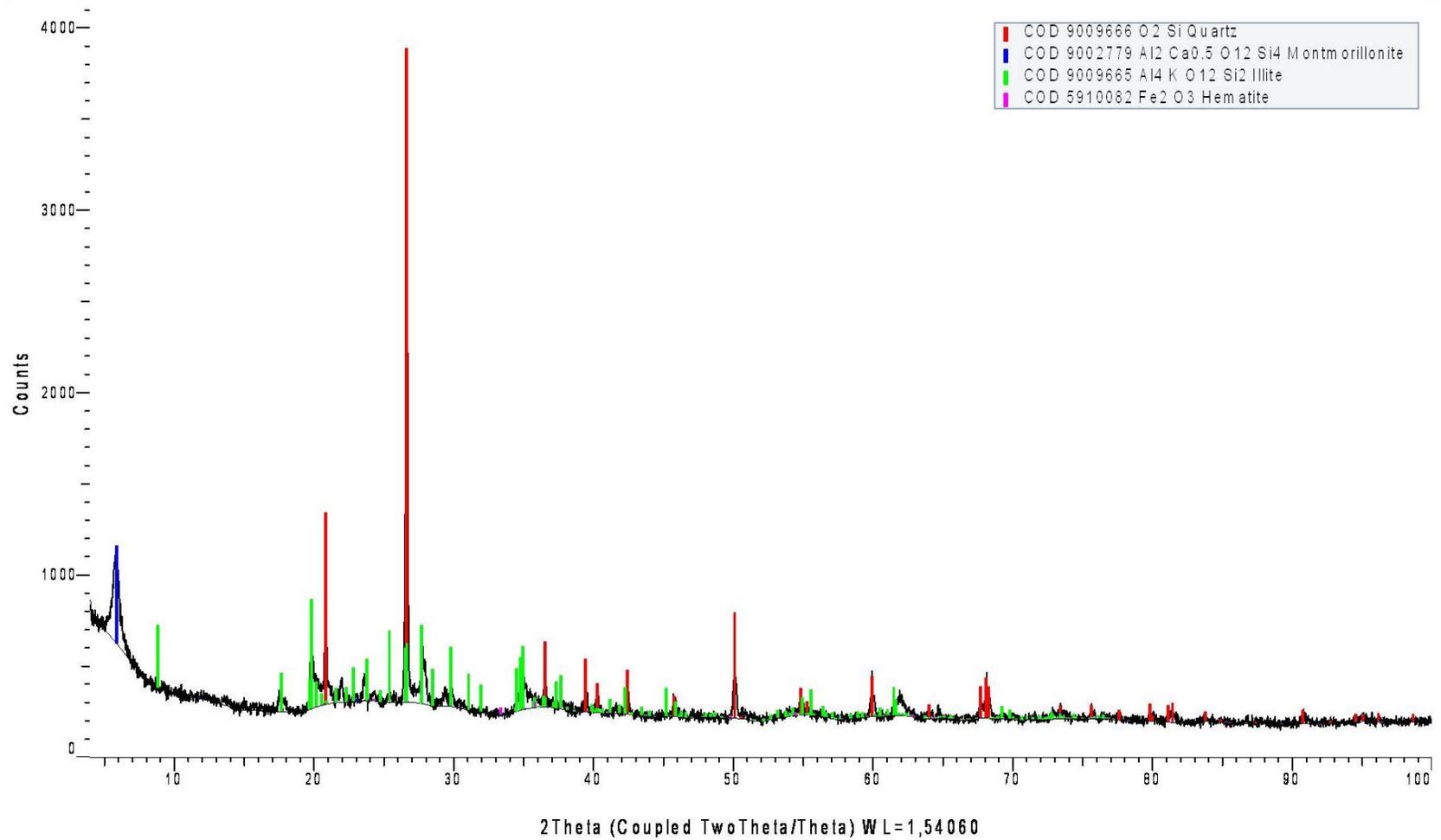


Figura 85. Difractograma de rayos X. Mina Chinguilamaca.

Fuente: El autor

MPL (Coupled TwoTheta/Theta)

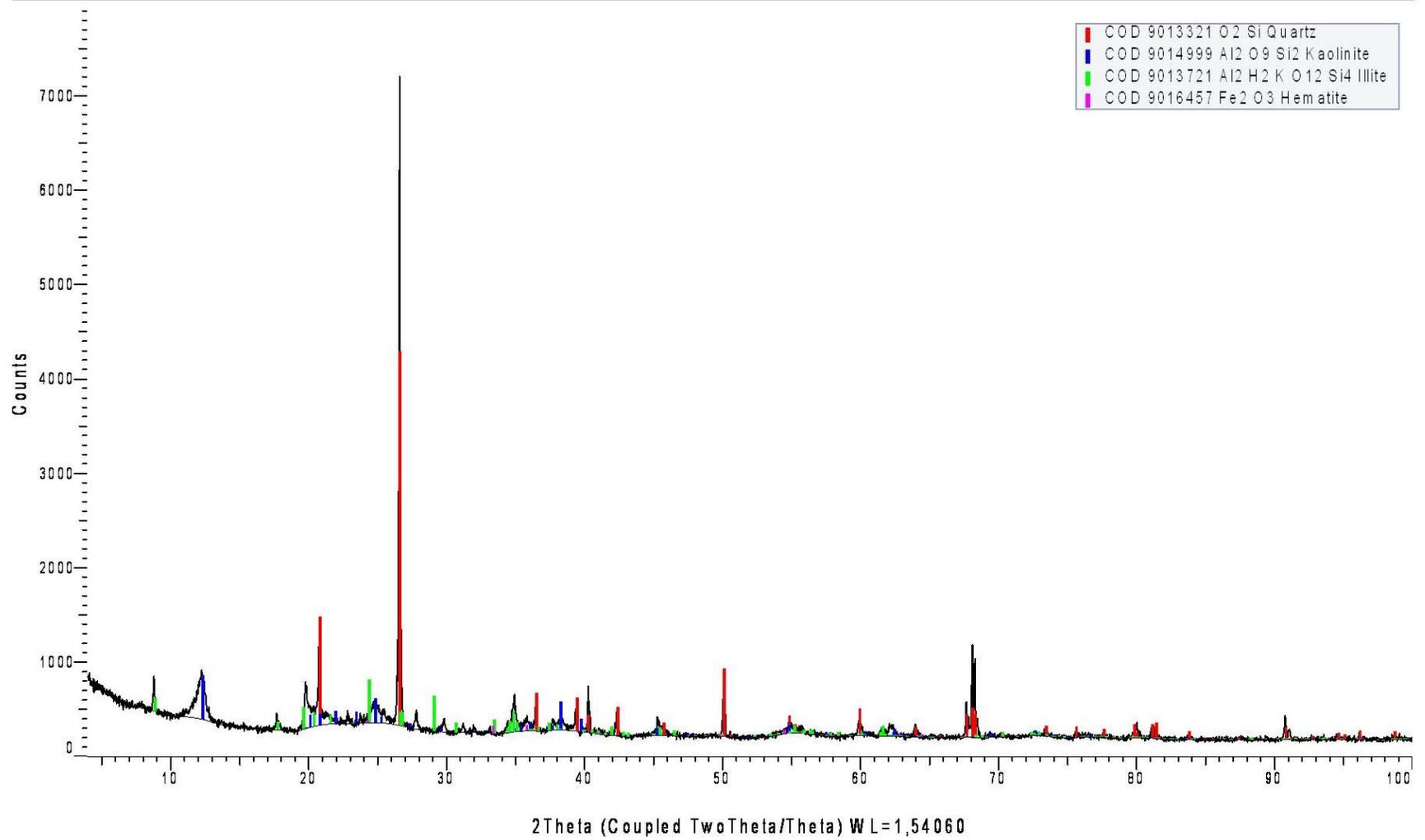


Figura 86. Difractograma de rayos X. Mina Palanda.
Fuente: El autor

MAF (Coupled TwoTheta/Theta)

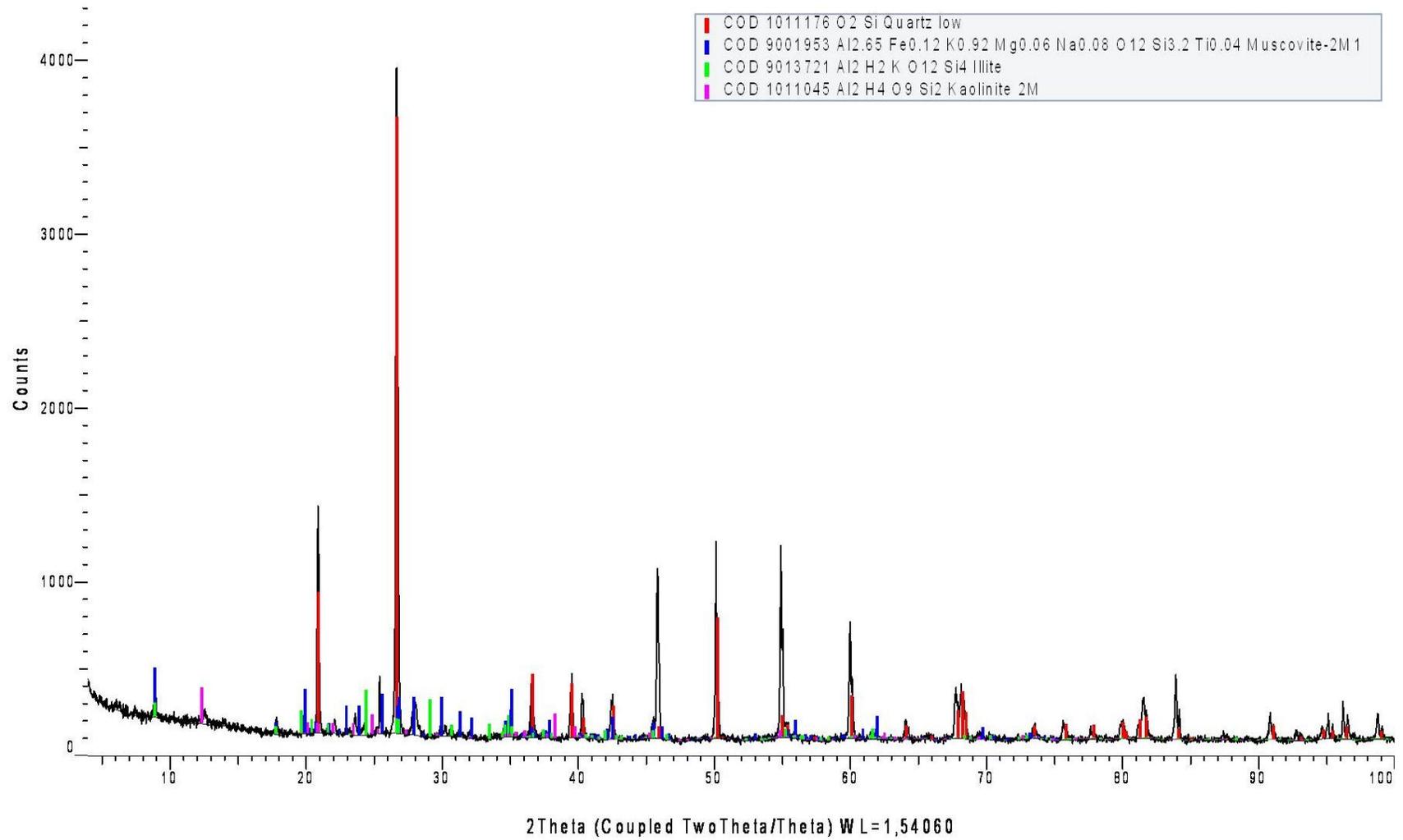


Figura 87. Difractograma de rayos X. Mina de arena fina.
Fuente: El autor

Tabla 17. Resumen de los resultados del análisis de difracción de rayos X.

	Mineral				
	Cuarzo	Caolinita	Hematita	Montmorillonita	Ilita
Ceibopamba	Cuarzo	Caolinita	Hematita	Montmorillonita	Ilita
Cangahua	Cuarzo	Caolinita	Moscovita	Hematita	
Palanda	Cuarzo	Caolinita	Hematita	Ilita	
Chinguilamaca	Cuarzo	Hematita	Montmorillonita	Ilita	
Arena Fina	Cuarzo	Caolinita	Moscovita	Ilita	

Fuente: El autor

Elaborado: El autor

La Tabla 17 muestra los minerales que se determinaron a partir de la difracción de rayos X de cada una de las muestras. Los resultados obtenidos a partir de la fluorescencia de rayos X.

El mineral cuarzo es muy común entre las arcillas y fue determinado a partir del contenido de óxido de silicio, como se puede observar en la tabla de minerales es muy común y predominante entre las muestras de las minas. El cuarzo contribuye, según Quillupangui (2011), a la durabilidad e incrementa la capacidad de conservar su forma luego de moldado, sin embargo cantidades excesivas de cuarzo no son recomendables en los ladrillos. En la Figura 83 se observa el pico de color rojo para el mineral cuarzo.

La presencia de la caolinita es fundamental puesto este mineral posee altas propiedades refractarias y aumenta la resistencia mecánica en los ladrillos artesanales de arcilla, cocidos a elevadas temperaturas (Bartolomé, 1997). De esta manera se observa en los difractogramas mostrados en las Figuras 83-87 de color azul los picos del mineral caolinita.

Otro mineral que aparece en las muestras es la Hematita que se puede observar su presencia en todas las muestras de Ceibopamba, Cangahua, Chinguilamaca y Palanda mediante la aparición de picos de color morado, este mineral es el resultado de la presencia del hierro (Ovalles Viani, 2003) (determinado mediante fluorescencia de rayos X) y contribuye fundamentalmente con dos propiedades importantes en los ladrillos terminados: brinda el color rojizo y disminuye la temperatura de cocción logrando así contrarrestar la elevada refractariedad de la caolinita.

La ilita según Swisscontact es producto de la presencia de potasio en las muestras, se desarrolla en ambientes con temperaturas altas, aunque su determinación se la debe realizar únicamente por medio de la difracción de rayos X, puesto que su color es variado y no se la

reconoce a simple vista. En los difractogramas mostrados en las Figuras 83-87 se muestra los picos de color verde para el mineral Illita.

La presencia del mineral muscovita en las muestras de Cangahua y Arena fina es como agente corrector o desengrasante, que actúa únicamente para controlar la plasticidad de la pasta en la elaboración de ladrillos artesanales (Pérez Castillo, 2016). Este mineral se lo encuentra en la muestra de arena fina y su pico se representa de color azul.

4.3. Resultados del análisis térmogravimétrico.

El análisis térmico muestra las curvas de la variación del peso en función de la temperatura (TGA, color verde), la primera derivada de la temperatura (DSC, color azul) que representa la velocidad de ganancia o pérdida de peso y la segunda derivada que es el flujo de calor (2D-DSC, color café), este ensayo se realizó en la Universidad Politécnica de Madrid por parte del PhD. Francisco Fernández Martínez.

En la Figura 88 se observa el análisis térmico para la muestra de Ceibopamba. En la curva TGA se observa el primer proceso endotérmico debido al calentamiento inicial hasta los 120 °C, en este período la muestra pierde un 2,202% de su masa. En la curva de DSC se observa un pico a los 75 °C, lo cual indica una rápida pérdida de masa. El cuarzo al ser un polimorfo puede estar presente en varias estructuras cristalinas como el alfa cuarzo o beta cuarzo. Sin embargo es un mineral que no afecta térmicamente a la matriz arcillosa al igual que la hematita y en ninguno no se aprecia claramente una evolución con el incremento de temperatura. A pesar de esto Linares, Huertas y Capel (2013) afirman que los cuarzos con tamaños gruesos ayudan únicamente a reducir la contracción por secado a temperaturas bajas. En la curva TGA el tramo entre los 120 y 170 °C, disminuye un 0,297 %, debido a la pérdida de agua higroscópica de la Illita. De acuerdo a Arsenović, Pezo, Mančić y Radojevic (2014) el efecto de la illita en este rango es mayor en comparación con el del caolín. Entre las temperaturas 160° y 310 °C existe una pérdida de masa del 0,435% (TGA) la cual se logra con mayor velocidad a la temperatura de 265 °C (curva DSC).

Comúnmente la oxidación de la materia orgánica se logra a temperaturas que oscilan entre los 200° y 500 °C y consecuentemente el desgaste de energía debido al deterioro de materia orgánica relacionada con las partículas de arcilla (Arsenović et al., 2014). De hecho entre las temperaturas de 310° y 610 °C se presenta la mayor pérdida de masa en un 2,245% y un pico en la curva DSC a 490°C que muestra la rapidez de la disminución de la masa en este tramo.

En la curva D2-DSC a 500 °C se produce la deshidroxilación de la caolinita, en este punto el mineral pierde el agua estructural para transformarse en metacaolinita (Linares, Huertas , & Capel, 2013). La dehidroxilación del mineral illita se manifiesta a 573,43 °C (curva D2-DSC), lo cual de acuerdo a Linares, Huertas y Capel (2013) no afecta a la estructura de cristalina y se manifiestan en illitas alumínico-férricas a temperaturas aproximadas. Se aprecia también una pérdida de 0,647% en la curva ATG entre 610° y 725°C. Finalmente se produce una pérdida del 1,083 % de la masa desde los 725° y 980 °C . De acuerdo con Linares, Huertas y Capel (2013) la metacaolinita, es una evolución de la caolinita y al ser elevada a los 950 °C la sílice se transforma en cristobalita y se forma una estructura de espinela. Es preciso fijar la pérdida de masa total en 6,91 % desde los 0° hasta los 1000 °C.

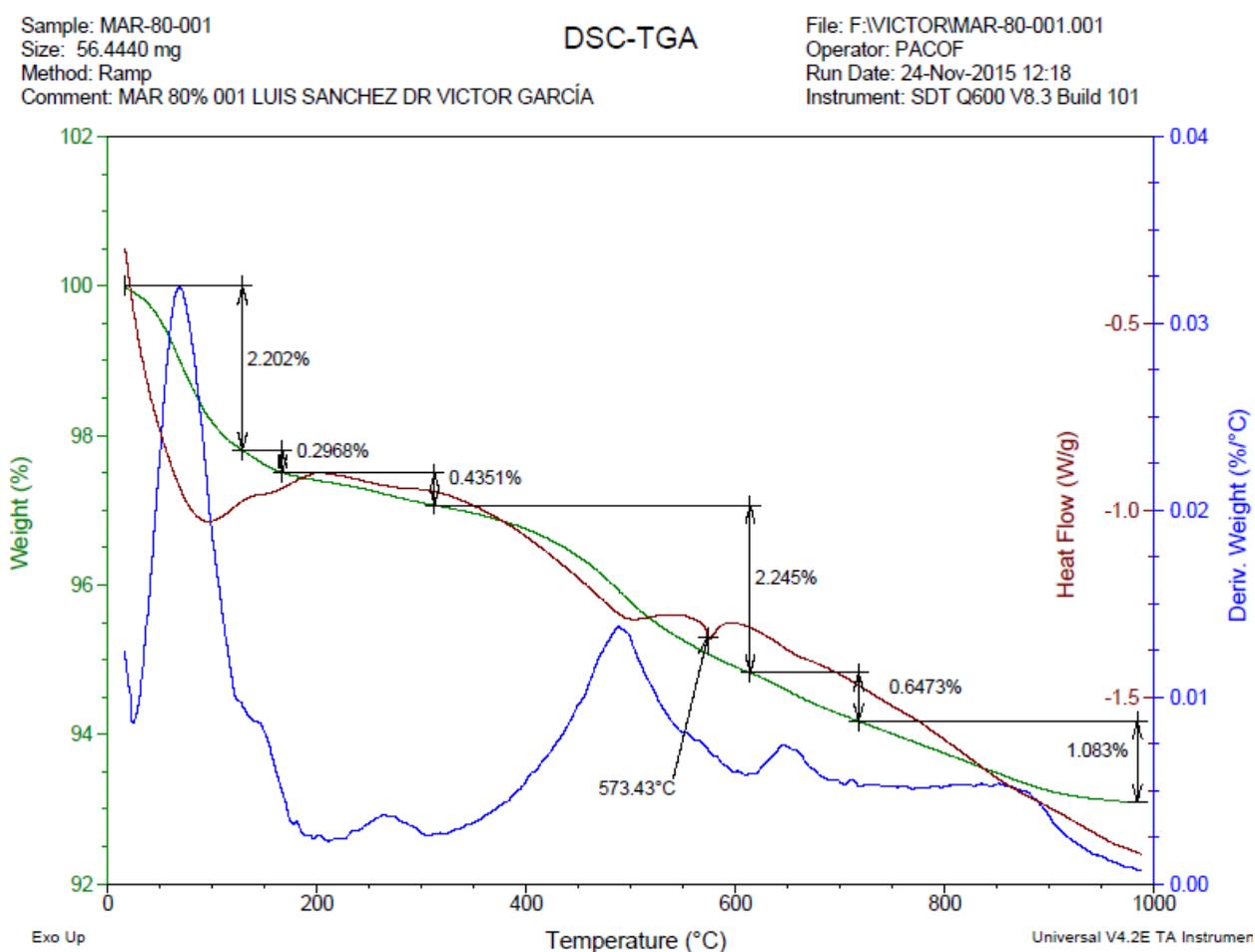


Figura 88. Termogramas TGA (verde), DSC (azul) y D2-DSC (café) de la muestra de Ceibopamba
 Fuente: El autor

En la Figura 89 se observa el análisis térmico para la muestra de Cangahua. En ellos se puede observar eventos térmicos similares a los exhibidos por la muestra de Ceibopamba. Sin

embargo, a diferencia de los termogramas de la muestra de Ceibopamba, la muestra de Cangahua no cuenta con los procesos del mineral ilita, es por esta razón que el pico endotérmico que ocurre a 572,12 °C está relacionado con la transformación de alfa cuarzo a beta cuarzo. También se puede determinar que existe una pérdida de masa total del 6,88%, valor que se encuentra por debajo de la muestra de Ceibopamba.

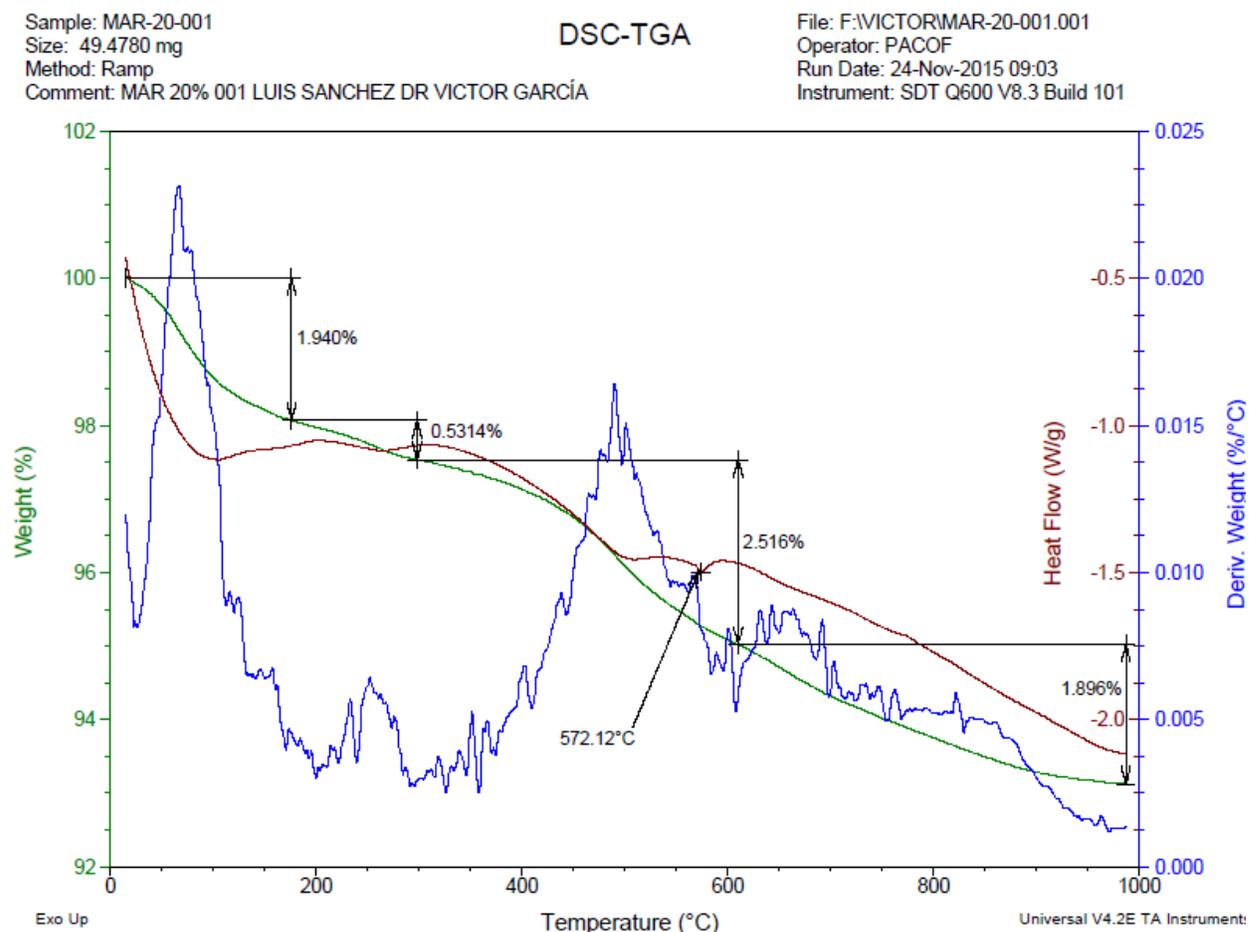


Figura 89. Termogramas TGA (verde), DSC (azul) y D2-DSC (café) de la muestra de Cangahua
 Fuente: El autor

En la Figura 90 se observa el análisis térmico para la muestra de Chinguilamaca. En esta se puede observar eventos térmicos similares a los exhibidos por la muestra de Ceibopamba. Sin embargo, inicialmente en el proceso de calentamiento de la muestra se produce una pérdida de 5,509% muy probablemente a la pérdida de agua higroscópica y a los efectos del cuarzo sobre la contracción por secado, éste valor es mucho más alto en comparación con los termogramas anteriores. De igual manera en un rango de 310° hasta 600 °C, se produce la segunda perdida

más importante de masa (3,172 %). En concordancia con la muestra de Ceibopamba y Cangahua la transformación en metacaolinita se produce en el pico a 500 °C. Y el pico en la curva DSC a 625 °C muestra la deshidroxilación del mineral illita (Linares, Huertas , & Capel, 2013). También se puede determinar que existe una pérdida de masa total del 12,44 %, desde 0 °C hasta 1000 °C, valor que se encuentra por arriba de la muestra de Ceibopamba y Cangahua.

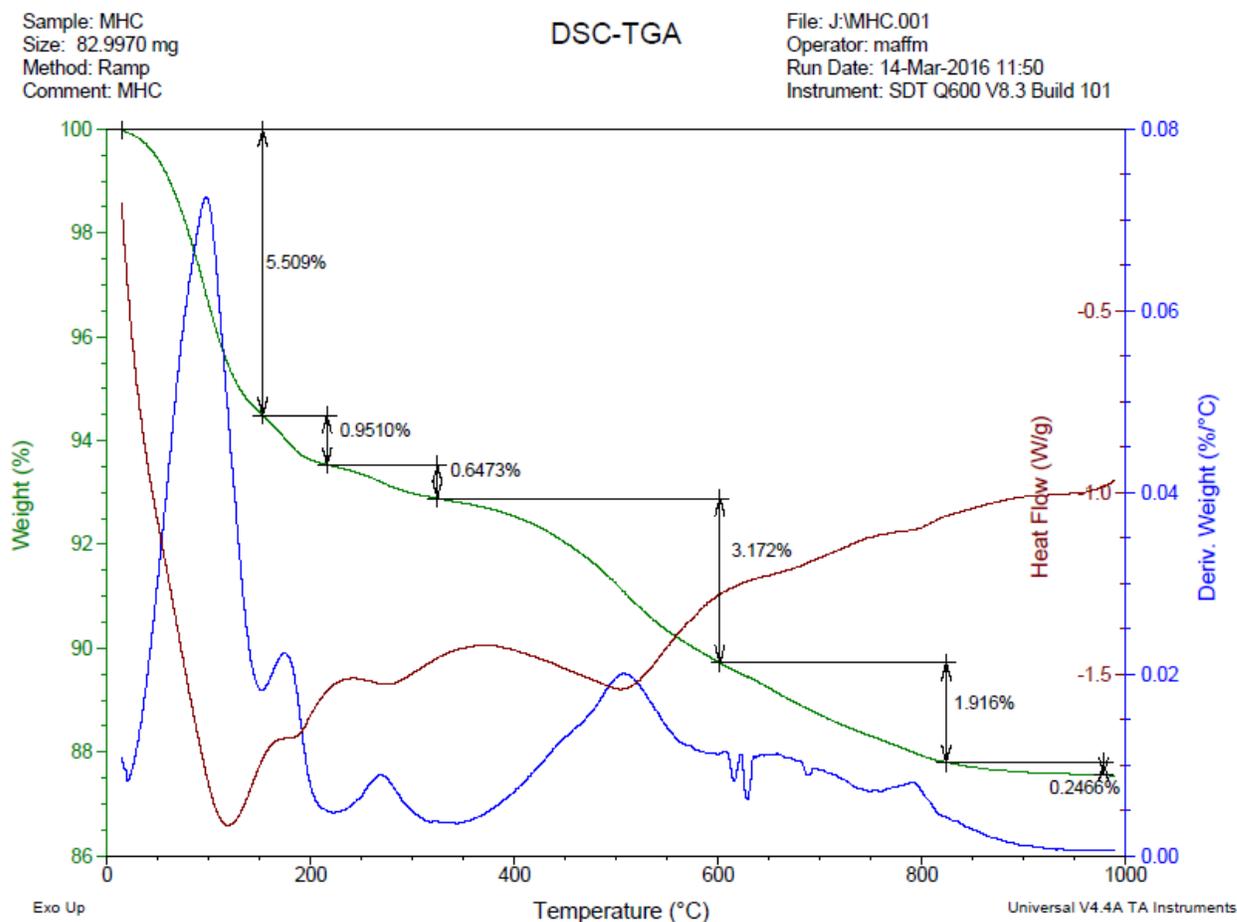


Figura 90. Termogramas TGA (verde), DSC (azul) y D2-DSC (café) de la muestra de Chinguilamaca.
Fuente: El autor

En la Figura 91 se observa el análisis térmico para la muestra de Palanda. Puesto que se observa eventos térmicos conformes a los exhibidos por la muestra de Ceibopamba únicamente se muestra la curva ATG y D2-DSC.. Sin embargo, inicialmente en el proceso de calentamiento de la muestra se produce una pérdida de 1,611 % muy probablemente a la pérdida de agua higroscópica, éste valor es mucho más bajo en comparación con los termogramas anteriores. Lo cual indica una estabilidad en el proceso de secado. De igual manera en un rango de 400°

hasta 700 °C, se produce la pérdida más importante de masa (5,328 %). De la misma manera que con la muestra de Ceibopamba y Cangahua la transformación en metacaolinita se produce en el pico a 500 °C. Y el pico en la curva D2-DSC a 573,39 °C muestra la deshidroxilación del mineral illita siendo aluminica-férrica (Linares, Huertas , & Capel, 2013) . También se puede determinar que existe una pérdida de masa total del 8,81 %, desde 0 °C hasta 1000 °C, valor que se encuentra por arriba de la muestra de Ceibopamba y Cangahua.

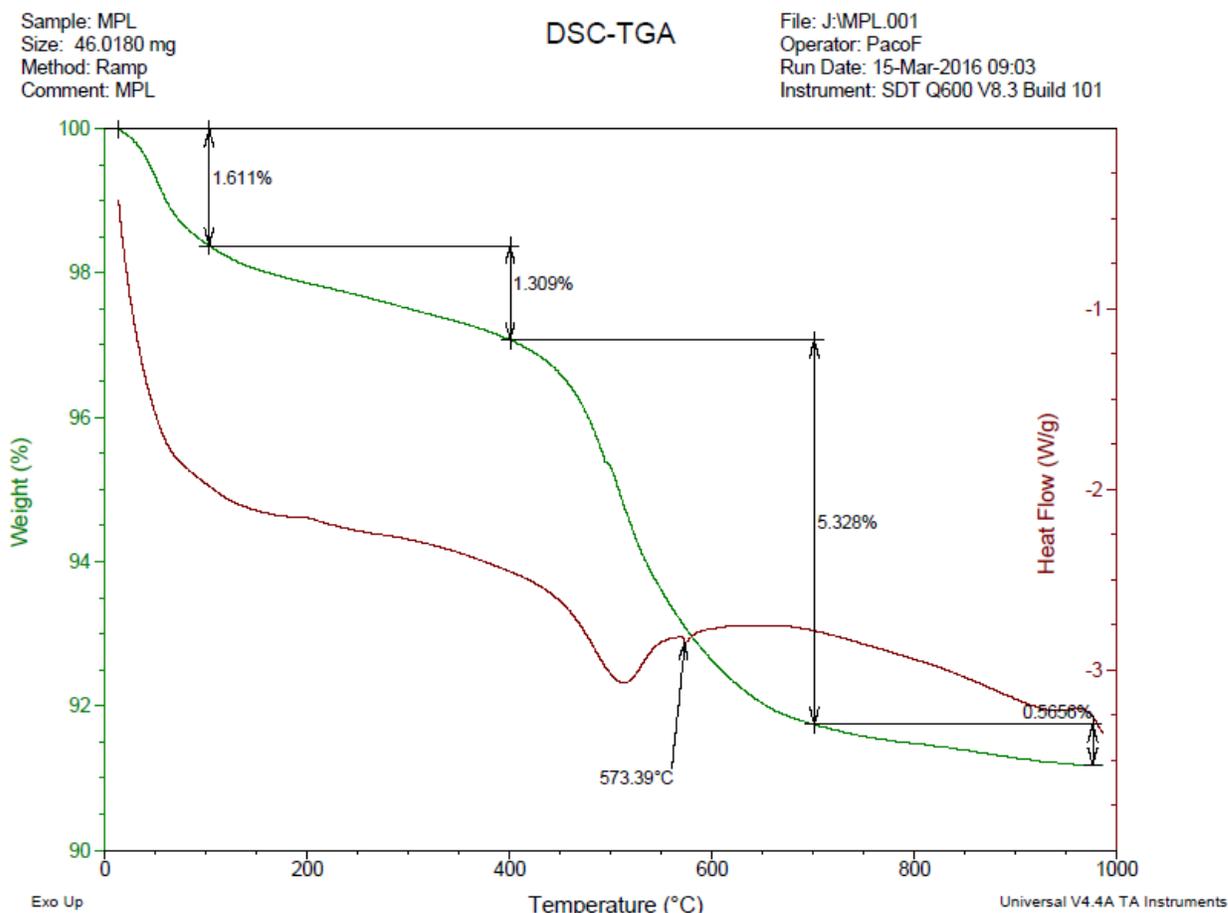


Figura 91. Termogramas TGA (verde), DSC (azul) y D2-DSC (café) de la muestra de Palanda.
Fuente: El autor

En la Figura 92 se observa el análisis térmico para la muestra de Palanda. En esta se puede observar eventos térmicos similares a los exhibidos por la muestra de Ceibopamba. De esta manera, inicialmente en el proceso de calentamiento de la muestra hasta los 100 °C, se produce una pérdida de 1,611 %, éste valor es mucho más bajo en comparación con los termogramas anteriores. Lo cual indica una estabilidad en el proceso de secado. Así mismo durante todo proceso se determina en la curva ATG que existen valores totalmente pequeños en comparación con otras muestras. Así entre los 375° y 760 °C se produce la mayor pérdida

del 0,6487 % de la masa. Sin embargo los procesos de deshidroxilación de la ilita a 577,23 °C y del cuarzo a 500 °C, se mantienen en comparación con las demás muestras. También se puede determinar que existe una pérdida de masa total del 1,7 %, desde 0 °C hasta 1000 °C, valor que se encuentra muy por debajo de todas las muestras.

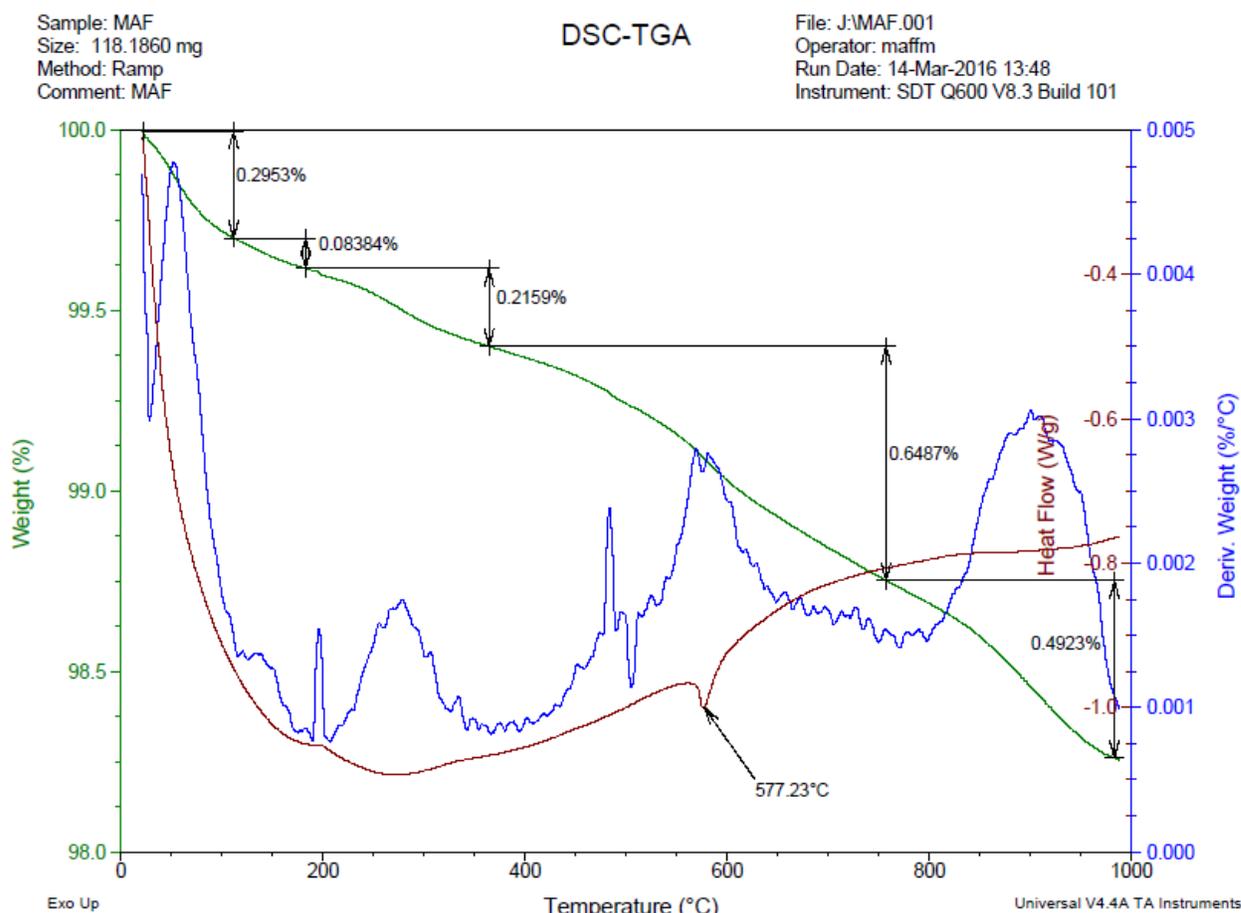


Figura 92. Termogramas TGA (verde), DSC (azul) y D2-DSC (café) de la muestra de Arena fina.
Fuente: El autor

La menor pérdida de masa desde 0 °C hasta 100 °C, se presenta en la figura 92 dada para la muestra de Arena fina (MAF), mientras que la mayor pérdida de masa se presenta en la figura 90 para la mina de Chinguilamaca. Este ensayo es muy importante puesto que nos ayuda a controlar el proceso de secado de los ladrillos mediante la determinación los picos en los cuales la materia pierde masa con mayor rapidez.

4.4. Ensayo de compresión diametral.

El ensayo de compresión diametral se lo realizó con la finalidad de optimizar tiempo y material, teniendo en cuenta las 21 mezclas (ver Tabla 9). A continuación se observa la tabla para cada grupo de mezcla y obtener los mejores resultados de cada una.

La primera mezcla es de la muestra de Ceibopamba y Cangahua. Se puede observar la menor contracción después del secado (C_{ss}) y contracción total (CT) en la Tabla 18 para las muestras de 60/40 y 80/20, por lo que se determinaron como óptimas; de la misma manera las mejores resistencias a la compresión diametral y factor de optimización (F.O).

Tabla 18. Compresión diametral y contracción para la mezcla: Ceibopamba (MCB) y Cangahua (MCA).

Mezcla	Porcentaje (%)	W _{sia} (g)	D _{si} (cm)	E _{si} (cm)	W _s (g)	D _s (cm)	E _s (cm)	W _h (g)	D _h (cm)	E _h (cm)	ft (Mpa)	F.O (MPa/kg)	C _{ss} (%)	CT (%)
MCB/MCA	50/50	123,42	6,75	1,78	112,69	6,63	1,83	106,75	6,47	1,75	3,91	36,61	8,88	9,67
	60/40	123,71	6,66	1,73	103,91	6,56	1,71	100,18	6,50	1,69	4,49	44,79	3,31	6,75
	70/30	123,95	6,70	1,77	102,58	6,53	1,72	97,28	6,48	1,69	2,60	26,77	3,51	11,28
	80/20	119,33	6,72	1,79	106,16	6,69	1,76	100,39	6,63	1,73	4,72	47,00	3,25	5,51
	100/0	127,69	6,73	1,77	106,36	6,65	1,75	100,77	6,52	1,70	3,50	34,72	6,66	10,30
	30/70	125,75	6,71	1,76	107,61	6,60	1,73	101,99	6,56	1,71	3,52	34,53	2,18	7,01

Fuente: El autor
Elaborado: El autor

En la Figura 93 se puede observar los valores más altos para el factor de optimización (FO) de la mezcla de Ceibopamba y Cangahua, calculados de acuerdo a la Ecuación (5) en función de su resistencia máxima a la compresión diametral dividido para el peso, similar a lo descrito por Del Coz Díaz, García Nieto, Álvarez Rabanal y Lozano Martínez-Luengas (2011) . La mezcla en porcentaje de 80/20 con un valor de 47,0 MPa/kg es la que mejores resultados brinda seguida de la mezcla 60/40 con un valor de 44,8 MPa/kg.

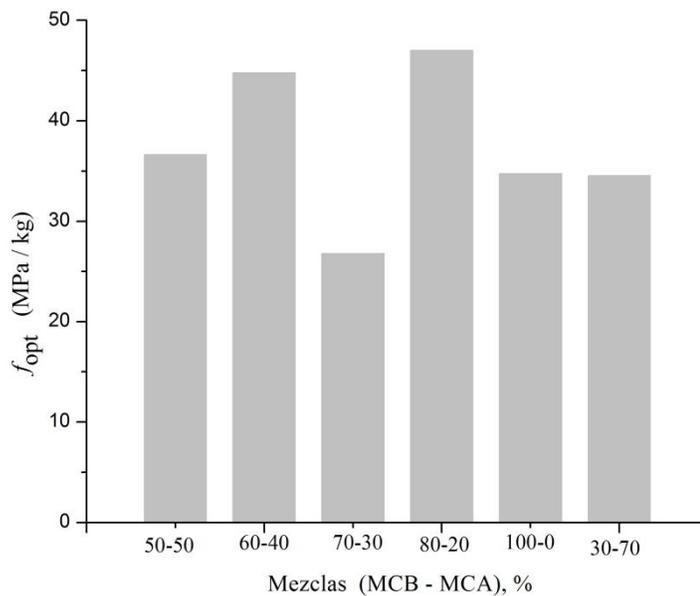


Figura 93.F.O de la mezcla de Ceibopamba y Cangahua.
Fuente: El autor

En la Tabla 19 se pueden observar que la menor contracción después del secado (C_{ss}) y contracción total (CT) de la mezcla de Ceibopamba y arena fina resulta para los porcentajes de 90/10 y por lo tanto se determinó como mezcla óptima. De la misma manera el mayor valor obtenido de la compresión diametral (2.27 MPa).

Tabla 19. Compresión diametral y contracción para la mezcla: Ceibopamba (MCB) y Arena Fina (MAF).

Mezcla	Porcentaje (%)	W_{sia} (g)	D_{si} (cm)	E_{si} (cm)	W_s (g)	D_s (cm)	E_s (cm)	W_h (g)	D_h (cm)	E_h (cm)	f_t (Mpa)	F.O (Mpa/kg)	C_{ss} (%)	CT (%)
	90/10	140,10	6,96	1,88	115,12	6,67	1,80	109,52	6,61	1,80	2,27	20,70	1,90	13,53
MCB/MAF	80/20	147,90	7,02	1,86	126,96	6,72	1,82	121,19	6,67	1,72	1,78	14,73	6,90	17,05
	70/30	170,33	7,04	1,89	142,95	6,70	1,80	136,80	6,49	1,75	1,65	12,08	8,89	22,33

Fuente: El autor.
Elaborado: El autor.

En la Figura 94 se puede observar el mayor valor para el factor de optimización (FO) de la mezcla de Ceibopamba y Arena fina, calculados de acuerdo a la Ecuación (5) en función de su resistencia máxima a la compresión diametral dividida para el peso, similar a lo presentado por Del Coz Díaz et. al. (2011). La mezcla en porcentaje de 90/10 con un valor de 20,7 MPa/kg es la de mejores resultados.

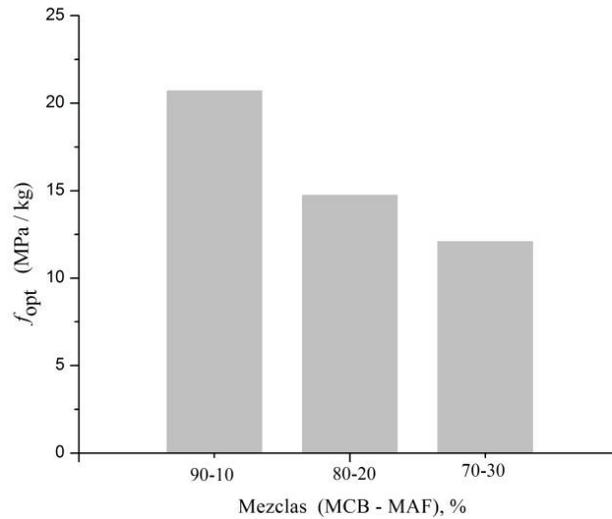


Figura 94. F.O de la mezcla de Ceibopamba y Arena fina.
Fuente: El autor

En la Tabla 20 se pueden observar que la menor contracción después del secado (C_{ss}) y contracción total (CT) de la mezcla de Ceibopamba y Palanda se resulta para los porcentajes de 70/30 y por lo tanto se determinó como mezcla óptima. De la misma manera el mayor valor obtenido de la compresión diametral (1.95 MPa).

Tabla 20. Compresión diametral y contracción para la mezcla: Ceibopamba (MCB) y Palanda (MPL).

Mezcla	Porcentaje (%)	W _{si} (g)	D _{si} (cm)	E _{si} (cm)	W _s (g)	D _s (cm)	E _s (cm)	W _h (g)	D _h (cm)	E _h (cm)	ft (Mpa)	F.O (Mpa/kg)	C _{ss} (%)	CT (%)
MCB/MPL	50/50	154,89	7,06	1,78	123,91	6,60	1,85	116,24	6,48	1,78	1,69	14,52	7,60	16,47
	60/40	148,74	7,01	1,94	118,40	6,75	1,92	111,17	6,62	1,83	1,50	13,51	8,18	16,45
	70/30	155,23	7,09	1,87	125,90	6,81	1,94	118,36	6,63	1,85	1,95	16,45	9,87	13,97

Fuente: El autor
Elaborado: El autor

En la Figura 95 se puede observar el mayor valor para el factor de optimización (FO) de la mezcla de Ceibopamba y Palanda, calculados de acuerdo a la Ecuación (5) en función de su resistencia máxima a la compresión diametral dividido para el peso, similar presentado por Del Coz Díaz et. al. (2011). La mezcla en porcentaje de 70/30 con un valor de 16,45 MPa/kg es la de mejores resultados.

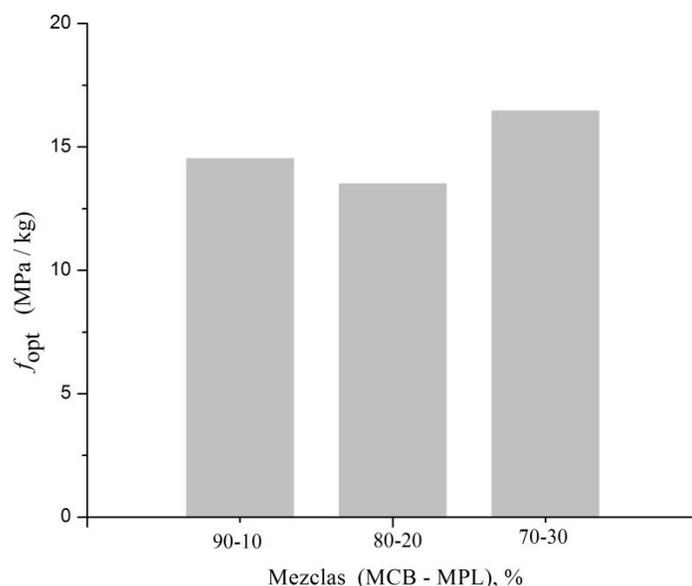


Figura 95.F.O de la mezcla de Ceibopamba y Palanda.
Fuente: El autor

En la Tabla 21 se pueden observar que la menor contracción después del secado (C_{ss}) y contracción total (CT) de la mezcla de Palanda y arena fina se resulta para los porcentajes de 80/20. Sin embargo en este tipo de mezcla no se eligió ningún porcentaje como óptima puesto que su valor de resistencia a la compresión diametral es demasiado bajo en comparación a las demás (0,09 MPa).

Tabla 21.Compresión diametral y contracción para la mezcla: Palanda (MPL) y Arena fina (MAF).

Mezcla	Porcentaje (%)	W _{sia} (g)	D _{si} (cm)	E _{si} (cm)	W _s (g)	D _s (cm)	E _s (cm)	W _h (g)	D _h (cm)	E _h (cm)	ft (Mpa)	F.O (Mpa/kg)	C _{ss} (%)	CT (%)
MPL/MAF	90/10	150,85	7,08	2,08	119,46	6,99	2,02	111,64	6,84	1,98	0,09	0,79	5,82	11,21
	80/20	153,92	7,01	2,04	122,31	6,93	2,06	115,02	6,89	2,03	0,03	0,27	2,56	3,93
	70/30	149,08	6,97	1,99	119,37	6,91	1,98	112,69	6,85	1,96	0,04	0,34	2,61	5,15

Fuente: El autor
Elaborado: El autor

En la Figura 96 se observa que los mejores resultados del F.O para la mezcla de Palanda y arena fina resultan de la mezcla en porcentaje de 90/10, sin embargo los valores son demasiado menores comparados con los factores de optimización de las demás mezclas (0,79 MPa/kg).

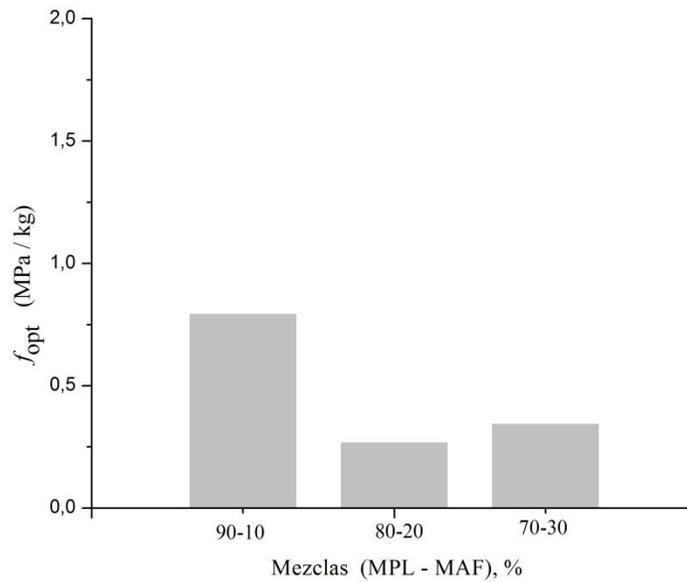


Figura 96.F.O de la mezcla de Palanda y Arena fina.
Fuente: El autor

En la Tabla 22 se pueden observar que la menor contracción después del secado (C_{ss}) y contracción total (CT) de la mezcla de Ceibopamba y Chinguilamaca resulta para los porcentajes de 70/30 y por lo tanto se determinó como mezcla óptima. De la misma manera el mayor valor obtenido de la compresión diametral (2,47 Mpa).

Tabla 22.Compresión diametral y contracción para la mezcla: Ceibopamba (MCB) y Chinguilamaca (MCH).

Mezcla	Porcentaje (%)	W_{sia} (g)	D_{si} (cm)	E_{si} (cm)	W_s (g)	D_s (cm)	E_s (cm)	W_h (g)	D_h (cm)	E_h (cm)	f_t (Mpa)	F.O (Mpa/kg)	C_{ss} (%)	CT (%)
MCB/MCH	70/30	149,58	7,05	1,91	118,93	6,97	1,90	110,48	6,75	1,91	2,47	22,37	5,74	8,19
	60/40	152,56	7,14	2,11	124,61	6,96	2,00	116,05	6,78	1,93	2,40	20,65	8,45	18,24
	50/50	151,97	7,02	2,35	119,72	6,91	2,19	110,75	6,82	2,12	1,80	16,24	5,68	15,56

Fuente: El autor
Elaborado: El autor

En la Figura 97 se puede observar el mayor valor para el factor de optimización (FO) de la mezcla de Ceibopamba y Chinguilamaca, calculados de acuerdo a la Ecuación (5) en función de su resistencia máxima a la compresión diametral dividida para el peso, similar a lo que se presenta por Del Coz Díaz et. al. (2011) con un valor de 22,37 MPa/kg la que es la de mejores resultados.

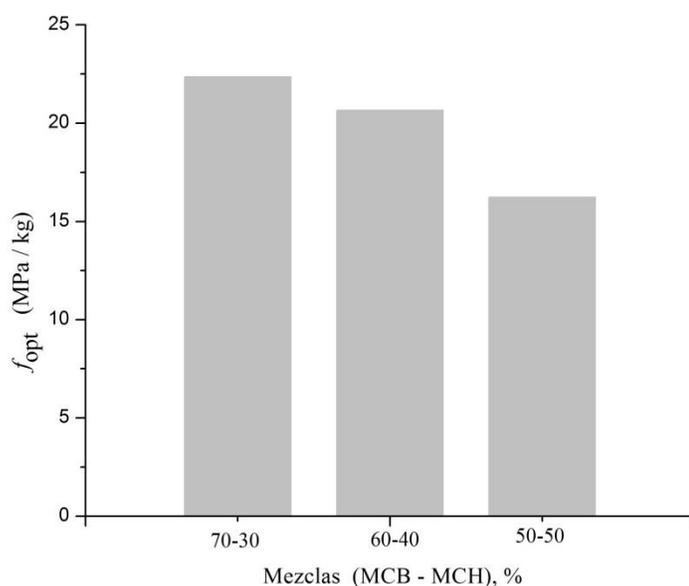


Figura 97. F.O de la mezcla de Ceibopamba y Chinguilamaca.
Fuente: El autor

En la Tabla 23 se pueden observar que la menor contracción después del secado (C_{ss}) y contracción total (CT) de la mezcla de Chinguilamaca y Arena fina resulta para los porcentajes de 90/10 y por lo tanto se determinó como mezcla óptima. De la misma manera el mayor valor obtenido de la compresión diametral (1,88 Mpa).

Tabla 23. Compresión diametral y contracción para la mezcla: Chinguilamaca (MCH) y Arena fina (MAF).

Mezcla	Porcentaje (%)	W _{sia} (g)	D _{si} (cm)	E _{si} (cm)	W _s (g)	D _s (cm)	E _s (cm)	W _h (g)	D _h (cm)	E _h (cm)	ft (Mpa)	F.O (Mpa/kg)	C _{ss} (%)	CT (%)
MCH/MAF	70/30	131,60	7,06	1,80	99,85	6,64	1,92	91,82	6,55	1,86	0,56	6,05	5,71	11,36
	80/20	152,70	7,04	1,94	116,13	6,64	2,02	107,62	6,56	1,97	0,94	8,77	4,80	12,36
	90/10	150,19	7,02	1,91	117,33	6,68	1,96	109,75	6,64	1,97	1,88	17,17	0,61	7,84

Fuente: El autor
Elaborado: El autor

En la Figura 98 se puede observar el mayor valor para el factor de optimización (FO) de la mezcla de Chinguilamaca y Arena fina, calculados de acuerdo a la Ecuación (5) en función de su resistencia máxima a la compresión diametral dividida para el peso, similar a lo presentado por Del Coz Díaz et. al. (2011). La mezcla en porcentaje de 90/10 con un valor de 17,17 MPa/kg es la de mejores resultados.

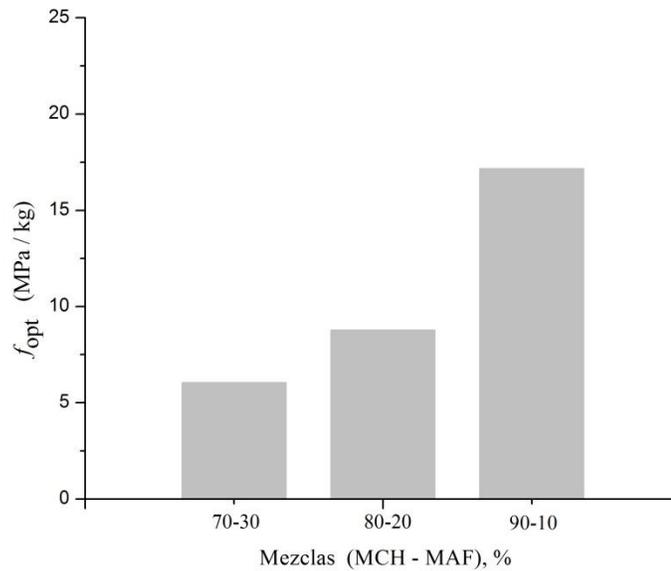


Figura 98.F.O de la mezcla de Chinguilamaca y Arena fina.
Fuente: El autor

Con los resultados obtenidos y en busca de nuestro objetivo de encontrar la mezcla más adecuada, se eligió 6 tipos de combinaciones (ver tabla 24) para elaborar ladrillos y luego su caracterización convencional (compresión simple, absorción, etc.), para de esta manera determinar la idoneidad de los mismos.

Así a continuación se presenta la tabla 24 con las mezclas con mejor factor de optimización. Para la elección de las mejores mezclas se tuvo en cuenta dos criterios fundamentales. El primero tiene que ver con la mejor resistencia a la compresión diametral y el peso (FO). El segundo en función de la alternabilidad de mezclas esto quiere decir que de cada tipo de mezcla por lo menos se optó una con el mejor factor de optimización, excepto en la mezcla de Palanda con arena fina puesto en todos los porcentajes son demasiado bajos en comparación con las otras mezclas (ver Tabla 21).

Tabla 24. Mezclas con mejores factores de optimización (F.O). Resultado de la compresión diametral.

ID	MUESTRA 1	MUESTRA 2	Porcentaje (%)	F.O Mpa/Kg
1	Mina Ceibopamba	Mina Cangahua	80/20	47,0
2	Mina Ceibopamba	Mina Cangahua	60/40	44,79
3	Mina Ceibopamba	Mina de Arena Fina	90/10	20,7
4	Mina Ceibopamba	Mina potencial Palanda	70/30	16,45
5	Mina Ceibopamba	Mina potencial Chinguilamaca	70/30	22,37
6	Mina potencial Chinguilamaca	Mina de Arena Fina	90/10	17,17

Fuente: El autor
Elaborado: El autor

4.4.1. Resistencia a la compresión diametral y temperatura.

Otra variante fundamental en la búsqueda de la mezcla óptima es la determinación de la temperatura de cocción idónea. Con las seis mezclas óptimas se elaboró discos para ser quemados a distintas temperaturas (500° C, 700° C y 950° C). Se evitó elevar la temperatura puesto que esto significará un mayor coste de leña para los productores artesanales (temperatura de cocción de ladrillos artesanales 950°C) y un mayor impacto ambiental.

A continuación se muestra la Figura 99 y la Figura 100 que determinan de la variación de la resistencia a la compresión diametral en función del incremento de temperatura. El valor más alto de resistencia se determinó a 950 °C para la mezcla de Ceibopamba con Cangahua en porcentajes de 80/20 con un valor de 4,72 MPa y el valor más bajo A 500 °C para la mezcla de Ceibopamba con Palanda en porcentajes de 70/30, con un valor de 0,3 MPa. Se observa en consecuencia un incremento sustancial de la resistencia a medida que incrementa la temperatura llegando a los valores máximos de resistencia con una temperatura de cocción de 950 °C.

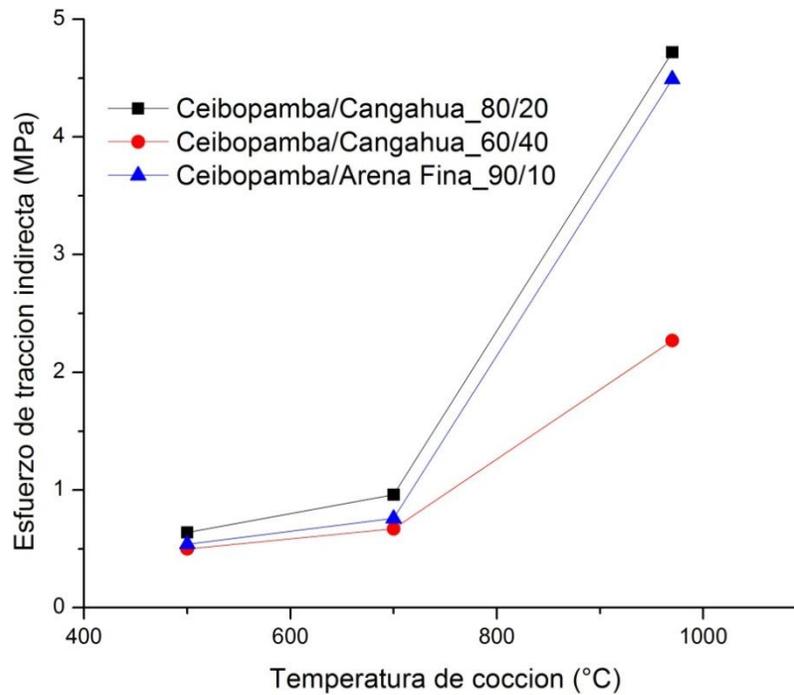


Figura 99. Variación del esfuerzo de tracción indirecta en función de la temperatura. Tres Mezclas con sus porcentajes respectivos. (ID: 1,2,3)
Fuente: El autor.

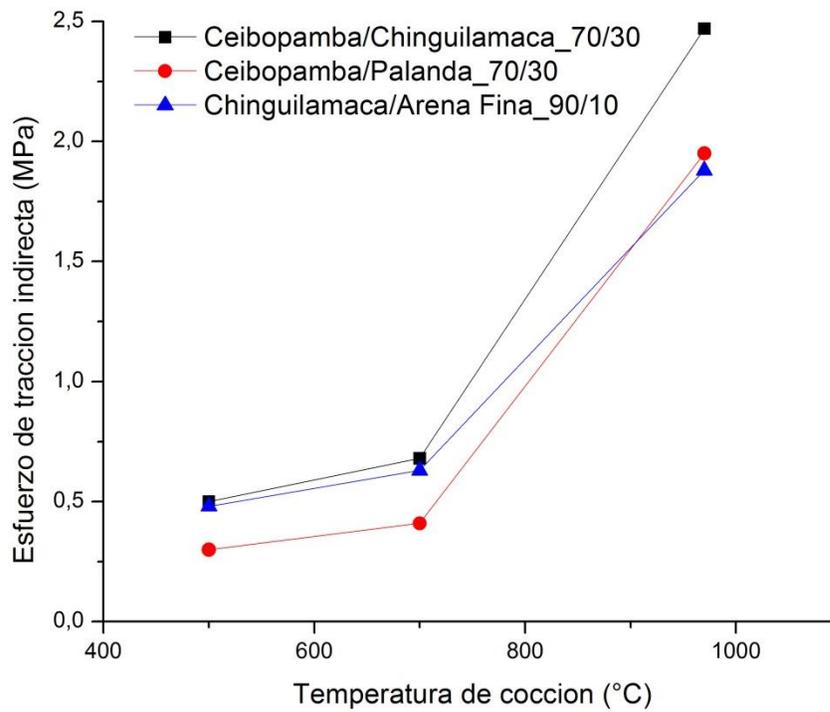


Figura 100. Variación del esfuerzo de tracción indirecta en función de la temperatura. Tres Mezclas (ID: 4,5,6) con sus porcentajes respectivos.
Fuente: El autor.

4.5. Resultados de la caracterización convencional de ladrillos producidos con mezcla óptima.

La caracterización convencional consistió en los ensayos de absorción, densidad aparente, porosidad, capilaridad, variación dimensional y compresión simple para las mezclas óptimas.

El porcentaje de absorción mínimo establecido por la norma ecuatoriana INEN 297 (1977) es de 25% para ladrillos fabricados a mano tipo C. Las mezclas óptimas que tienen un valor bajo de absorción y que cumplen con la norma de acuerdo a la Tabla 25 son: ID 1,2 3. Las mezclas con ID: 4, 5, 6 tienen valores de absorción que superan la norma, sin embargo el máximo valor es de 27,9% para la mezcla de Ceibopamba y arena fina en porcentajes de 90/10, cuyo valor está por arriba del límite.

Los valores de densidad oscilan entre $1,41 \text{ g/cm}^3$ y $1,80 \text{ g/cm}^3$. Teniendo en cuenta que en la norma ecuatoriana no hay valores de requisitos mínimos, se procedió a buscar de referencia a la norma peruana ITINTEC 331.017 (1978) que establece como mínimo una densidad de $1,5 \text{ g/cm}^3$. De esta manera la mezcla de Ceibopamba y Chinguilamaca (ID: 2) es la única que no cumple con los requisitos, todas las demás mezclas están por arriba del límite.

La porosidad es una propiedad inversamente proporcional a la resistencia a la compresión simple, así se observa que la menor porosidad de 21,27 % para la mezcla 1 (ver Tabla 25) produce el mejor valor de resistencia a la compresión simple de 20,39 MPa. Y por el contrario el mayor valor de porosidad para la mezcla 6 es de 28,34 y produce ladrillos con resistencia de 8,15 Mpa.

El valor más bajo de variación dimensional se determinó para las mezcla con ID: 5 de acuerdo a la Tabla 25, sin embargo las mezclas (ID: 1, 2, 4, 6) están por debajo de los requisitos para ladrillos producidos de forma artesanal, lo que significa que este parámetro no presenta mayores novedades con excepción de la mezcla ID 3, con un valor de 8,6mm que está ligeramente sobrepasado del rango.

Tabla 25. Resultados de la caracterización convencional de las mezclas óptimas.

ID	Mezcla	Porcentaje de mezcla (%)	Absorción (%)	Densidad g/cm^3	Porosidad Abierta (%)	Capilaridad $g/cm^2 \cdot min^{1/2}$	Variación dimensional (mm)	Compresión simple (MPa)	Peso (kg)
1	MCB/MCA	80/20	21,27	1,50	21,27	0,39	7,61	20,39	4,66
2	MCB/MCH	70/30	23,83	1,41	23,83	0,03	7,70	12,18	4,49
3	MCB/MCA	60/40	22,56	1,62	22,56	0,22	8,60	16,52	4,61
4	MCB/MPL	70/30	25,43	1,80	25,43	0,28	7,31	11,83	4,69
5	MCA/MAF	90/10	25,66	1,59	25,66	0,30	5,90	9,79	4,72
6	MCB/MAF	90/10	27,89	1,51	28,34	0,33	6,20	8,15	4,32

Fuente: El autor
Elaborado: El autor

Un factor importante para clasificar el tipo de ladrillo de acuerdo a la normativa ecuatoriana es la resistencia a la compresión simple, a continuación se muestra la Figura 101 con los resultados del ensayo. En esta figura se puede observar que todas las seis mezclas óptimas cumplen con los requisitos del ensayo, desde la mezcla de Chinguilamaca con arena fina en porcentajes de 90/10, hasta la mezcla de Ceibopamba con Cangahua en porcentajes de 70/30 con un valor máximo de resistencia a la compresión simple de 20,39 MPa.

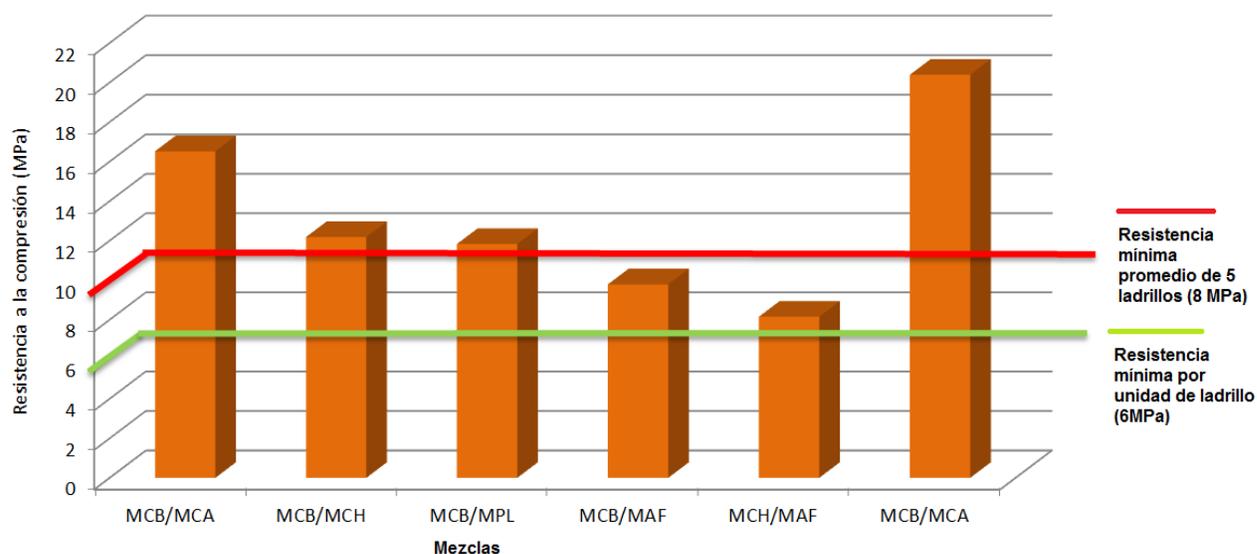


Figura 101. Resultados del ensayo de compresión simple para ladrillos con mezclas óptimas.
Fuente: El autor.

4.6. Resultados de la caracterización convencional para los ladrillos producidos artesanalmente en la región de Malacatos.

Para cada ensayo de la caracterización convencional se extrajeron cinco ladrillos de cada productor y se determinaron cinco productores los cuales fueron elegidos mediante muestreos aleatorios. Los resultados de absorción están todos por arriba del máximo admitido por la norma técnica ecuatoriana INEN 297 (1977) obteniéndose un valor promedio para los productores artesanales de 27,5% y una desviación estándar de 3,05 %. Los valores de densidad están dentro de los parámetros establecidos por la normativa peruana con un mínimo de $1,5 \text{ g/cm}^3$.

En general el valor de porosidad promedio de los ladrillos producidos artesanalmente es mayor a los observados para las mezclas óptimas elaboradas en el laboratorio (ver Tabla 25). Los valores de capilaridad son relativamente similares que los determinados en la Tabla 25 para las mezclas óptimas.

La variación dimensional de acuerdo a la norma INEN 297 (1977) exige un máximo de 8mm, sin embargo el promedio de la variación dimensional está en un valor de 10mm por lo que no cumple. Únicamente el productor 4 está por debajo del límite con un valor de 7,8mm. (Ver Tabla 26)

Tabla 26. Resultados de la caracterización convencional de ladrillos artesanales.

Productor	Absorción (%)	Densidad g/cm^3	Porosidad Abierta (%)	Capilaridad $\text{g/cm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$	Variación dimensional (mm)	Compresión simple (MPa)	Peso (kg)
P1	27,68	1,59	27,68	0,25	11,5	5,36	4,33
P2	31,88	1,41	31,88	0,31	12,8	3,92	4,27
P3	23,27	1,53	23,27	0,23	9,1	5,26	4,66
P4	27,67	1,51	27,67	0,24	7,8	4,41	4,76
P5	27,05	1,63	27,05	0,24	8,8	5,92	4,70
PROMEDIO	27,51	1,53	27,51	0,25	10,0	4,97	4,54

Fuente: El autor

Elaborado: El autor

Para cada ensayo se debe realizar un promedio de 5 unidades de ladrillo por cada productor de acuerdo a la normativa ecuatoriana.

En la Figura 102 se muestra los resultados del ensayo de resistencia a la compresión simple para los ladrillos producidos artesanalmente en la región de Malacatos. Éste es un parámetro

muy importante en la clasificación del tipo de ladrillo, por lo que de acuerdo a la norma INEN 297 (1977) los ladrillos artesanales actualmente se clasifican como huecos puesto que ningún productor de la región elabora ladrillos con resistencias que cumplan con los requisitos mínimos de resistencia (min. 6 MPa por unidad), la desviación estándar es de 0,8 MPa. Razón fundamental para la buscar la mejora de su calidad.

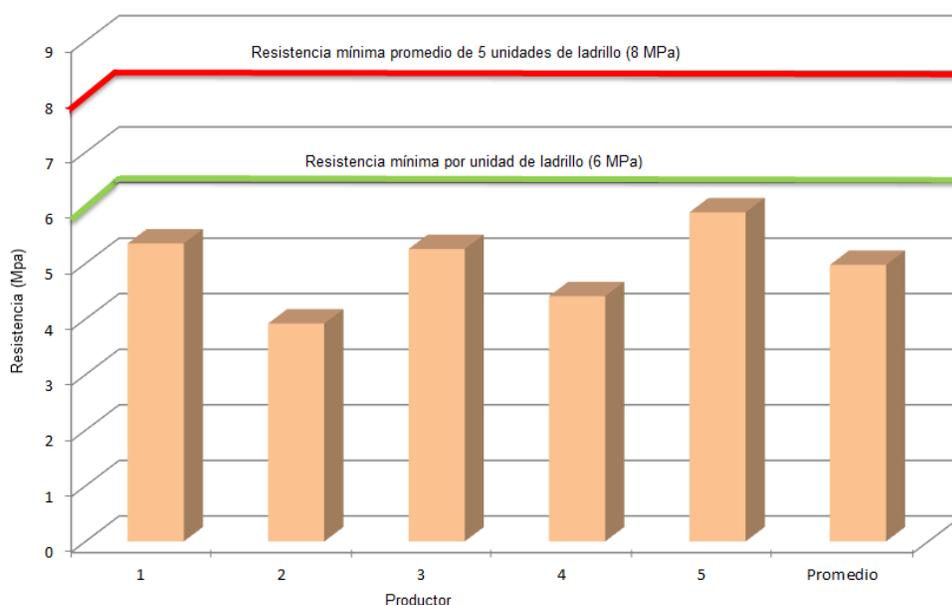


Figura 102. Resistencia a la compresión de ladrillos producidos artesanalmente.
Fuente: El autor.

4.7. Discusión.

El trabajo de investigación consistió en: caracterización de materia prima, compresión diametral para encontrar las mezclas óptimas, elaboración de ladrillos con mezclas óptimas y su caracterización convencional, caracterización convencional de ladrillos producidos artesanalmente y comparación de los resultados. En cada ítem se trata los resultados de cada ensayo en forma individual, sin embargo en la discusión se presenta un resumen de las características más importantes a criterio del autor.

En la Tabla 27 se puede observar que la mejor materia prima para la elaboración de ladrillos es la extraída de la mina de Ceibopamba puesto que posee textura arcillosa, lo cual en contraste con las demás minas demuestra una mejor trabajabilidad. Estos resultados también se evidencian en mediante el índice de plasticidad (IP=16) que ayuda a la misma propiedad. Se puede observar la mayor densidad en la muestra de Arena fina, sin embargo la mina de

Ceibopamba posee también un valor alto ($2,62 \text{ g/cm}^3$) lo cual podría incrementar el peso al momento de la elaboración de ladrillos.

El valor de la composición química también nos indica que la mina de Ceibopamba posee buenas características puesto que posee el mayor porcentaje de sílice (64,8%), puesto que según Quillupangui (2011) este brinda al ladrillo cocido tres propiedades fundamentales: durabilidad, capacidad de conservar su forma y previene cambios excesivos volumétricos. Sin embargo hay que tener en cuenta que los valores de la mina Cangahua al igual que la arena fina también posee valores similares de sílice.

Tabla 27. Resumen de caracterización de materia prima.

		Ceibopamba (MCB)	Cangahua (MCA)	Palanda (MPL)	Chinguilamaca (MCH)	Arena fina (MAF)
Atributos	Textura	Arcillosa	Arcillo- limosa	Franco- arcillosa	Franco- arcillosa	Arenosa
Límites de Atterberg	Límite Líquido (%)	39	36	31	36	-
	Límite Plástico (%)	23	22	20	27	-
	Índice de Plasticidad (%)	16	14	11	9	-
Físicos	Densidad real (g/cm^3)	2,62	2,54	2,45	2,62	2,64
	Al_2O_3	22,1	21,4	31,2	18,1	21,4
FRX	SiO_2	64,8	62,5	47,9	51,8	62,5
	Fe_2O_3	6,4	6,99	5,45	6,12	6,99
	K_2O	3,5	3,76	2,87	1,89	3,76
	CaO	1,3	0,95	-	1,94	0,95

Fuente: El autor

Elaborado por: El autor

Mediante el ensayo de DRX (ver Tabla 17) se determina la presencia de los minerales: cuarzo, la caolinita, hematita, ilita, montmorilonita y moscovita. El cuarzo presente en todas las muestras ayuda a la durabilidad y controla a la variación dimensional según Quillupangui (2011), la caolinita (presente en todas las muestras excepto en la de Chinguilamaca) aumenta la resistencia mecánica según Bartolomé (1997); mientras que la hematita se encuentra en las minas de Ceibopamba Cangahua y Palanda y de acuerdo a Ovalles (2003) reduce la temperatura de cocción y brinda el color rojizo a los ladrillos.

Del análisis termogravimétrico (ver Figuras 88-92) se obtuvo la temperatura de cocción dispuesta a $950 \text{ }^\circ\text{C}$ para el mineral caolinita debido a que a esta temperatura la sílice presente en la metacaolinita se transforma en cristobalita y se forma una estructura de espinela. (Linares, Huertas, & Capel, 2013).

En la tabla 24 se muestra las seis mejores mezclas obtenidas del ensayo de compresión diametral a los discos mediante la aplicación del FO. Para la elección de las mejores mezclas se tuvo en cuenta dos criterios fundamentales. El primero tiene que ver con la mejor resistencia a la compresión diametral y el peso (FO). El segundo en función de la alternabilidad de mezclas esto quiere decir que de cada tipo de mezcla por lo menos se optó una con el mejor factor de optimización, excepto en la mezcla de Palanda con arena fina puesto que todos los porcentajes de dosificación brindan valores de FO demasiado bajos en comparación con las otras mezclas (ver Tabla 21). La mezcla con mejor FO es la de Ceibopamba/Cangahua en porcentajes de 80/20 respectivamente con un valor de 47 MPa/kg (ver tabla 24). En las Figuras 99-100 se puede observar que a medida que se aumenta la temperatura de cocción de los discos, incrementa la resistencia a la compresión diametral, por lo que la temperatura de cocción óptima es a 950 °C, corroborando los resultados del análisis termogravimétrico (ATG).

Luego se procedió a la elaboración de ladrillos con las mezclas 6 óptimas y su caracterización convencional (absorción, porosidad, capilaridad, variación dimensional y compresión simple). El ensayo de resistencia a la compresión simple, variación dimensional y absorción para los ladrillos producidos con las mezclas óptimas, descritos por la normativa ecuatoriana INEN 297 (1977), nos brinda valores que sobrepasan los límites (ver Tabla 25), por el contrario los ladrillos artesanales no cumplen con los requisitos (Tabla 26). Pérez (2016) también logró una mejora significativa en la resistencia a la compresión en sus estudios descritos para ladrillos en la localidad de Catamayo, sin embargo sus máximos resultados llegan a valores de entre 14 MPa; los máximos valores de resistencia a la compresión de la mezcla entre Ceibopamba y Cangahua son de alrededor de 20 MPa, esto se debe al cuidado en el proceso de elaboración del ladrillo y a los minerales presentes en estas muestras.

A continuación en la Tabla 28 se presenta la caracterización convencional, tanto para los ladrillos fabricados por los productores artesanales como para los elaborados con las seis mezclas óptimas determinadas en la Tabla 24. La normativa ecuatoriana INEN 297 exige un valor de absorción de máximo 25% para ladrillos hechos a mano, por lo tanto al observar la tabla se puede determinar que el promedio de los productores artesanales no cumplen, al igual que las mezclas con ID:4,5 y 6; por el contrario las mezclas con ID: 1,2 y 3 si cumplen, inclusive la combinación entre Ceibopamba y Cangahua en porcentajes de 80/20 respectivamente posee el valor más bajo de absorción (21,27%).

La norma ecuatoriana no presente valores permisibles para la densidad, sin embargo la norma peruana que debería ser máximo $1,50 \text{ g/cm}^3$ por lo que los productores artesanales están ligeramente por arriba del límite al igual que las mezclas con ID: 3,4,5 y 6. Sin embargo la mezcla entre Ceibopamba y Chinguilamaca en porcentajes de 70/30 respectivamente posee el valor más bajo de hasta $1,41 \text{ g/cm}^3$.

El ensayo de variación dimensional para los ladrillos artesanales producidos en la región de Malacatos refleja un resultado de 10,0mm. La norma ecuatoriana vigente INEN 297 exige como mínimo 8mm de variación dimensional para ladrillos tipo C, por lo que los ladrillos producidos artesanalmente no cumplen. Y por el contrario para los ladrillos producidos con las 6 mezclas óptimas reflejan un resultado que está por debajo de los 8mm exigidos por la norma, únicamente la mezcla de Ceibopamba con Cangahua en porcentajes de 60/40 respectivamente no cumple (ver Tabla 28).

La propiedad principal con la cual la norma ecuatoriana INEN 297 clasifica a los ladrillos es la resistencia a la compresión simple, en la Tabla 28 se observa que los ladrillos fabricados por los productores artesanales no cumplen con el mínimo de resistencia (8 MPa). De otro modo todas las mezclas óptimas sobrepasan el valor mínimo obteniéndose un valor máximo de 20,39 MPa para los ladrillos producidos con la mezcla entre Ceibopamba y Cangahua en porcentajes de 80/20 respectivamente. No obstante no debemos perder de vista el ligero incremento del peso para esta mezcla.

Tabla 28. Resumen comparativo de la caracterización convencional entre Mezclas óptimas y Productores artesanales

ID	Mezcla	Porcentaje de mezcla (%)	Absorción (%)	Densidad g/cm^3	Variación dimensional (mm)	Compresión simple (MPa)	Peso (kg)
1	MCB/MCA	80/20	21,27	1,50	7,61	20,39	4,66
2	MCB/MCH	70/30	23,83	1,41	7,70	12,18	4,49
3	MCB/MCA	60/40	22,56	1,62	8,60	16,52	4,61
4	MCB/MPL	70/30	25,43	1,80	7,31	11,83	4,69
5	MCA/MAF	90/10	25,66	1,59	5,90	9,79	4,72
6	MCB/MAF	90/10	27,89	1,51	6,20	8,15	4,32
PRODUCTORES ARTESANALES			27,51	1,53	10,0	4,97	4,54

Fuente: El autor
Elaborado por: El autor

CONCLUSIONES

- La materia prima que presenta mejores características tanto físicas como químicas es la proveniente de la mina de Ceibopamba. Esta posee mayor porcentaje de sílice, un índice de plasticidad ($IP = 16$) lo cual le brinda mayor trabajabilidad y es de fácil acceso para su explotación.
- La combinación entre la materia prima proveniente de la mina de Ceibopamba y Cangahua en porcentajes de 80/20 respectivamente, es la que produce mejores resultados brinda al ladrillo.
- La presencia del mineral cuarzo, caolinita e ilita en la mina de Ceibopamba ayuda a mejorar la resistencia a la compresión y la durabilidad del ladrillo producido artesanalmente.
- El ensayo de compresión diametral realizado a 21 mezclas en forma de discos y en diferentes porcentajes entre materiales de la región (ver Tabla 9), permitió determinar seis mezclas óptimas en términos del factor de optimización (FO) definido en la Ecuación (5). Obteniéndose un valor máximo para la mejor mezcla de 47 MPa/kg para la combinación entre Ceibopamba y Cangahua en porcentajes de 80/20.
- Se determinó que a medida que se incrementa la temperatura de cocción, aumenta la resistencia por lo que la temperatura de cocción óptima es a 950 °C (ver Figura 99 y Figura 100).
- La elaboración de ladrillos artesanales es un proceso que requiere de mucho cuidado en todas las etapas de su producción. Es por ello que se determinó las proporciones adecuadas entre los materiales existentes en la zona y así habilitarlo para un uso extendido de los productores de Malacatos.
- El mínimo porcentaje de absorción descrito para los ladrillos artesanales tipo C de acuerdo a la normativa ecuatoriana vigente INEN 297 (1977) es de 25%, sin embargo los ladrillos producidos en la región de Malacatos poseen en promedio de 27,51%, por lo que no entran en los rangos permitidos de para esta propiedad.
- La resistencia a la compresión simple de los ladrillos producidos artesanalmente en la región de Malacatos tienen en promedio un valor de 4,97MPa, sin embargo en la norma ecuatoriana vigente INEN 297 (1977) describen un mínimo de 8MPa. Por lo anteriormente expuesto se concluye que los ladrillos artesanales de Malacatos no cumplen con los requisitos mínimos de compresión simple.

- Los porcentajes de absorción para las 6 mezclas óptimas reflejan que las mezclas de: Ceibopamba/Cangahua en porcentajes 80/20, Ceibopamba/Chinguilamaca en porcentajes de 70/30 y Ceibopamba /Cangahua en porcentajes 60/40 (ver Tabla 25), cumplen con el máximo de absorción (25%) descrito por la normativa ecuatoriana vigente INEN 297 (1977) y las restantes están ligeramente sobrepasadas.
- La resistencia de los ladrillos producidos con 6 mezclas óptimas produjeron excelentes resultados puesto que todas las mezclas superan el mínimo descrito por la normativa vigente ecuatoriana (8MPa), incluso la mezcla de Ceibopamba/Cangahua en porcentajes 80/20 llega a un valor de 20 MPa, y por lo tanto se lo puede clasificar al ladrillo según esta propiedad en un ladrillo tipo A.
- La mezcla de Ceibopamba/Cangahua en porcentajes 80/20 tiene un adicional de peso de 2,5% en relación a los ladrillos producidos artesanalmente sin embargo su resistencia a la compresión aumenta en un 409%.
- El uso de la mezcla óptima entre las minas de Ceibopamba/Cangahua en porcentajes 80/20, reduce la explotación intensiva de los yacimientos de arcilla en Malacatos puesto que evita la explotación indiscriminada de la mina de Ceibopamba únicamente y de esta manera contribuye preservar esta cantera y consecuentemente reducir el impacto ambiental que la producción de ladrillos acarrea.
- La falta de un ente regulador de las normas ecuatorianas INEN para verificar y garantizar la calidad de los ladrillos hechos a mano (tipo C), conllevan a que tanto los consumidores como los productores únicamente se limiten a buscar un menor precio de comercialización de la mampostería, dejando a un lado los requisitos mínimos de cada una de las propiedades del ladrillo (compresión simple, absorción, variación dimensional) descritos por la normativa con el objetivo de mejorar la calidad del mismo.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda trabajar en futuras investigaciones acerca del control de los procesos de secado y cocción para los productores artesanales.
- Luego de conversaciones con los productores artesanales de la región de Malacatos, se recomienda un estudio del tipo de pigmentación que se puede añadir a la mezcla para obtener diferente coloración.
- Se recomienda un especial cuidado en la elaboración de discos para el ensayo de compresión diametral y así obtener resultados reales.
- Se recomienda analizar la implementación de correctores tales como tamo de arroz, aserrín, bagazo (residuos de la caña) con el fin de reducir la contracción en el producto terminado y la reutilización de material de desecho y consecuentemente disminuir el impacto ambiental
- Reducir la temperatura de cocción en los ladrillos artesanales, esto significaría una reducción en la quema de leña y consecuentemente del impacto ambiental que se genera mediante la emisión de gases que producen el efecto invernadero.
- Realizar un análisis económico para la implementación de equipos que permitan tecnificar los procesos de activación de arcillas, tales como mezcladores mecánicos.
- Estudiar la posibilidad de trabajar con materias primas que reduzcan el peso de los ladrillos pero aportando con buenas resistencias a la compresión simple y poder habilitarlos estructuralmente.
- Se recomienda un estudio para la utilización de las seis mezclas óptimas en la producción de otros materiales cerámicos como tejas, ladrillos huecos y ladrillo ornamentales debido a que presentan buenas características para estas utilidades.

BIBLIOGRAFÍA

- Ajam, L., Ben Oueddou, M., Felfou, H., & et al. (2009). Characterization of the tunisian phosphogypsum and its valoration in clay bricks. *Construction and Building Materials*, 3240-3247.
- Arsenović, M., Pezo, L., Mančić, L., & Radojević, Z. (20 de 04 de 2014). Thermal and mineralogical characterization of loess heavy clays for potential use in brick industry. *Elsevier*, 580, 38-45.
- Azpeleta, S. (s.f.). *Laboratorio de técnicas instrumentales UVA*. Recuperado el 20 de 05 de 2016, de Espectrometría de fluorescencia de rayos X: <http://laboratoriotecnicasinstrumentales.es/analisis-quimicos/espectrometra-de-fluorescencia-de-rayos-x>
- Badillo, J. y. (2005). *Mecánica de suelos. Tomo 1. Fundamentos de la mecánica de suelos*. México: LIMUSA.
- Barranzuela, J. L. (febrero de 2014). Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la región de Piura. Piura, Perú: Universidad de Piura. Facultad de ingeniería. Programa académico de ingeniería civil.
- Barreto, D. R. (04 de Diciembre de 2013). *Ladrillos. Geometría*. Recuperado el 04 de Mayo de 2016, de Ladrillos. Geometría: <http://06201203.blogspot.com/2013/12/geometria.html>
- Bartolomé, J. (1997). *El caolín: composición, estructura, génesis y aplicaciones*. Madrid: Boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio.
- Besoain, E. (1985). *Mineralogía de las arcillas de suelos*. Costa Rica: IICA.
- Bianucci, A. M. (2009). *El ladrillo - orígenes y desarrollo*. Resistencia, Chaco, Argentina: FAU-UNNE.
- Casado, M. (2005). *Procesos de producción más limpios en ladrilleras de Arequipa y Cusco: diagnóstico situacional*. Lima.
- Chamba, M. A., & Moreno, M. F. (2011). *Impactos ambientales de las ladrilleras de la parroquia Malacatos, cantón Loja, y su repercusión en la salud humana*. Loja: Área agropecuaria y de recursos naturales renovables. UNL.
- De liberto, P. (1964). *Las arcillas. Clasificación, identificación, usos y especificaciones industriales*. Mexico.
- Del Busto, A. (1991). *La arcilla aplicada en la industria de la construcción para la fabricación de ladrillos y acabados cerámicos*. Lima: Colegio de ingenieros del Perú.
- Del río, J. (1975). *Materiales de construcción 4ta*. Barcelona, España: Juan Bruguer.
- GAD Malacatos. (2015). *Fase de construcción de diagnóstico*. Loja.

- GAG Malacatos, P. d. (2013). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial*. Loja.
- Gallegos, H. (2005). *Albañilería estructural*. Perú: Fondo editorial PUCP.
- Garcés, I. (s.f.). *Feldespatos*. Chile: Universidad de Antofagata .
- García Romero, E., & Suárez Barrios, M. (28 de 07 de 2016). *Las arcillas propiedades y usos*. Obtenido de <http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/Arcillas.htm#inicio>
- García, D. (11 de 07 de 2014). *NAUKAS*. Recuperado el 28 de 07 de 2016, de La desafortunada estrategia de marketing de un desodorante: <http://naukas.com/2014/07/11/la-desafortunada-estrategia-de-marketing-de-un-desodorante/>
- García, V. J., Zúñiga-Suárez, A. R., Márquez, C. O., Pérez, J. G., Fernández-Martínez, F., & Hernández-Olivares, F. (2016). Strength developing in clay-Andesite Brick. *Materials Sciences and Applications*, 403-420.
- Guimarães, A. S., de Freitas, V. P., Delgado, J. P., & Rego, T. (2015). The Interface Effect in the Water Absorption in Ceramic Brick. *Energy Procedia*, 6.
- Hamilton, D. (1989). *Alfarería y cerámica*. España: Ediciones CEAC.
- Hornbostel, C. (2000). *Materiales para construcción*. México, D.F: Editorial Limusa, S.A.
- Ibáñez, S. a. (s.f.). *Filosilicatos 2:1*. Valencia: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural. U.P.V.
- INEN 292, N. t. (1977). *Ladrillos cerámicos. Muestreo*. Quito, Ecuador.
- INEN 297, N. T. (1977). *Ladrillos Cerámicos. Requisitos*. Quito, Ecuador.
- INEN 607, N. t. (1981). *Materiales refractarios. Formas y dimensiones recomendadas de ladrillos y piezas de caras planas*. Quito, Ecuador.
- INEN296, N. t. (1977). *Ladrillos cerámicos. Determinación de la humedad*. Quito, Ecuador.
- Kohl, A. y. (1975). *Tratado moderno de albañilería*. Barcelona, España: José Montesó.
- Linares, J., Huertas, F., & Capel, J. (2013). *La arcilla como material cerámico. Características y comportamiento*.
- López, P. (2011). *Caracterización de ladrillos históricos*. Madrid: Programa geomateriales.
- López, T. a. (1995). *El mundo mágico del vidrio*. Recuperado el 05 de 09 de 2016, de ¿Cómo y con qué se hace el vidrio?: http://www.cubaeduca.cu/medias/cienciatodos/Libros_3/ciencia3/137/htm/sec_4.htm

- López-Arce, D. P. (2011). *Ladrillos de edificios históricos de Toledo: caracterización, origen de las materias primas y aplicación para su conservación y restauración*. Madrid: Programa geomateriales.
- Moreno, F. (1981). *El ladrillo en la construcción*. España: Ediciones: CEAC.
- Municipio de Loja. (11 de 05 de 2016). *Municipios de Loja*. Recuperado el 11 de 05 de 2016, de Malacatos: <http://www.loja.gob.ec/contenido/malacatos>
- Munsell. (1990). *Munsell soil color chart*. Baltimore.
- Narsillo, G. A., & Santamarina, C. J. (2001). *Clasificación de suelos: fundamento físico, prácticas actuales y recomendaciones*.
- Nelso Afanador García, G. G. (2012). Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería. *Ciencia e ingeniería neogranadina*, 17.
- NTP 331.017, N. t. (1978). *Elementos de arcilla cocida. Ladrillos de arcilla usados en albañilería. Requisitos*. Lima, Perú.
- Ovalles Viani, F. A. (Septiembre de 2003). *El color del suelo: definición e interpretación*. Recuperado el 18 de 05 de 2016, de Revista digital del centro nacional de investigaciones agropecuarias de Venezuela.CENIAP: http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/ceniaphoy/articulos/n3/texto/fovalles.htm
- Paico, D. (17 de 04 de 2012). *Usos industriales del feldespato*. Recuperado el 09 de 05 de 2016, de SlideShare: <http://es.slideshare.net/ingemmet/usos-industriales-del-feldespato>
- Pérez Castillo, J. G. (2016). *Mejorar la calidad de los ladrillos artesanales producidos en la ciudad de catamayo*. Loja: UTPL.
- Quillupangui, L. a. (2011). *Diseño y simulación de un sistema de moldeo para ladrillo crudo con medidas 34x16x7 centímetros*. Quito: Carrera de ingeniería mecánica. UPS.
- QuimiNet. (13 de Junio de 2014). *Las nanoarcillas como protectores para plásticos y poliolefinas*. Recuperado el 28 de 07 de 2016, de QuimiNet.com: <http://www.quiminet.com/articulos/las-nanoarcillas-mejoran-la-retardancia-a-la-flama-de-los-plasticos-3806405.htm>
- Rhodes, D. (1990). *Arcilla y vidriado para el ceramista*. España: Ediciones CEAC.
- Swisscontac. (2011). *Mejoramiento de la materia prima para la producción de ladrillos de calidad*. Cochabamba, Bolivia: Eficiencia energética en las ladrilleras artesanales.
- Tancun, J. M. (27 de Junio de 2008). *El ladrillo*. Recuperado el 03 de Mayo de 2016, de El ladrillo : <http://jonathanmanuelfrancotancun.blogspot.com/>

Trusilewicz, L. N. (2013). *Determinación del contenido de alúmina reactiva de las adiciones puzolánicas naturales y artificiales por termogravimetría y por el método de rietveld*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Uribe S., R. A. (2014). *Fundamentos de materias para las industrias de vidrios, cerámicas, refractarios, alfarería y afines*. Venezuela.

Loja 06 de octubre del 2016

Mediante el presente documento autorizo la presentación de los resultados de los ensayos realizados que el profesional en formación Luis René Sánchez Quezada con C.I 1104065477 ejecutó bajo la supervisión del director del trabajo de titulación.

A continuación se presentan un listado de todos los ensayos:

ID	ENSAYO
Ensayos en la materia prima	
Control por Atributos	
1	Color
2	Sensación al tacto
3	Consistencia
4	Textura
5	Impurezas
Ensayos de carácter Físicos	
6	Análisis granulométrico (método del hidrómetro)
7	Límites de Atterberg (líquido, plástico e IP)
8	Densidad
9	Gravedad específica
Ensayos de carácter Químico	
10	Presencia de materia orgánica
11	Determinación de carbonatos
12	Potencial hidrógeno
13	Superficie específica
14	Fluorescencia de rayos X (FRX)
15	Difracción de rayos X (DRX)
16	Análisis termogravimétrico (TGA)
Ensayos a las mezclas	
17	Compresión diametral

Ensayos a los ladrillos	
18	Absorción
19	Porosidad
20	Densidad aparente
21	Capilaridad
22	Compresión simple
23	Variación dimensional

M.Sc. Alonso Zúñiga S.
DIRECTOR DEL T.F.T

Luis René Sánchez Q.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN

ANEXOS

Anexo 1. Ensayos realizados a la materia prima.

 UTPL UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA	UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA La Universidad Católica de Loja
---	--

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO
ENSAYO DE COLOR

SOLICITANTE: Luis Sánchez
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL	ENSAYO: COLOR
Proyecto: Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de Malacatos"	Norma: Clasificación del color. Nomenclatura de Munsell
	Realizado: Luis Sánchez

Muestra	Matiz	Claridad	Pureza	CODIGO MUNSELL
Ceibopamba	7.5 Y	6	2	7.5 Y [6/2]
Cangahua	10 Y	5	2	10 Y [5/2]
Chinguilamaca	5 Y	7	3	5 Y [7/3]
Palanda	7,5 YR	7	4	7,5 YR [7/4]
Arena fina	10 Y	6	2	10 Y [6/2]

M.Sc. Alonso Zúñiga S.
DIRECTOR DE PROYECTO
DE FIN DE TITULACIÓN

Luis Sánchez Q.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO

ENSAYO DE SENSACIÓN AL TACTO

SOLICITANTE: Luis Sánchez
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución UTPL
Proyecto: Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de Malacatos"

ENSAYO:
Norma: Sensación al tacto (S.N)
Realizado : Luis Sánchez

Muestra	Característica	Tipo de suelo
Ceibopamba	Forma cinta, se siente el grado de plasticidad	Arcilla
Cangahua	Forma cinta	Arcilla
Chinguilamaca	Forma cinta, no es muy plastica	Limo
Palanda	Ligeramente forma cinta	Limo
Arena fina	No forma cinta	Arena

M.Sc. Alonso Zúñiga S.
DIRECTOR DE PROYECTO
DE FIN DE TITULACIÓN

Luis Sánchez
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO
ENSAYO DE CONSISTENCIA

SOLICITANTE: Luis Sánchez
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución UTPL
Proyecto: Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de Malacatos"

ENSAYO:
Norma: Consistencia (S.N)
Realizado : Luis Sánchez

Muestra	Característica	Consistencia
Ceibopamba	El pedazo es muy fuerte duro de romper	Extremadamente fuerte
Cangahua	El trozo se rompe bajo una moderada presión de los dedos	Fuerte
Chinguilamaca	El pedazo de suelo de disgrega con una leve presión de los dedos	frágil
Palanda	El pedazo de suelo de disgrega con una leve presión de los dedos	frágil
Arena fina	La estructura se rompe antes de tomarla	Suelta

M.Sc. Alonso Zúñiga S.
DIRECTOR DE PROYECTO
DE FIN DE TITULACIÓN

Luis Sánchez
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO
ENSAYO DE TEXTURA

SOLICITANTE: Luis Sánchez
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución UTPL
Proyecto: Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de Malacatos"

ENSAYO:
Norma: Textura (S.N)
Realizado : Luis Sánchez

Muestra	Característica	Textura
Ceibopamba	Se le puede dar la forma de anillo sin que muestre grietas	Arcillosa
Cangahua	Se le puede dar la forma de anillo pero muestra algunas grietas	Arcillo Limosa
Chinguilamaca	Se puede doblar hasta darle una forma de U, sin forzarlo y sin que se rompa	Franco Arcillosa
Palanda	Se puede doblar hasta darle una forma de U, sin forzarlo pero forma grietas	Franco o Franco Arcillosa
Arena fina	La muestra permanece floja y separada, y solo puede juntarse dándole la forma de pirámide	Arenoso

M.Sc. Alonso Zúñiga S.
DIRECTOR DE PROYECTO
DE FIN DE TITULACIÓN

Luis Sánchez Q.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO
ENSAYO DE IMPUREZAS

SOLICITANTE: Luis Sánchez
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución	UTPL	ENSAYO:
Proyecto:	Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de Malacatos"	Norma: Inspección visual de impurezas (S.N)
		Realizado : Luis Sánchez

Muestra	Impurezas	Tipo de impurezas
Ceibopamba	NO	No apreciables
Cangahua	SI	Cobertura superficial vegetal
Chinguilamaca	Ligeramente	Esporádicas raíces
Palanda	NO	No apreciables
Arena fina	NO	No apreciables

M.Sc. Alonso Zúñiga S.
DIRECTOR DE PROYECTO
DE FIN DE TITULACIÓN

Luis Sánchez Q.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

ANEXO

DETERMINACIÓN DE LÍMITES DE ATTERBERG

SOLICITANTE: Luis Sánchez

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución UTPL

Proyecto: Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de Malacatos"

ENSAYO: Límites de Atterberg

Norma: INEN 691 e INEN 692

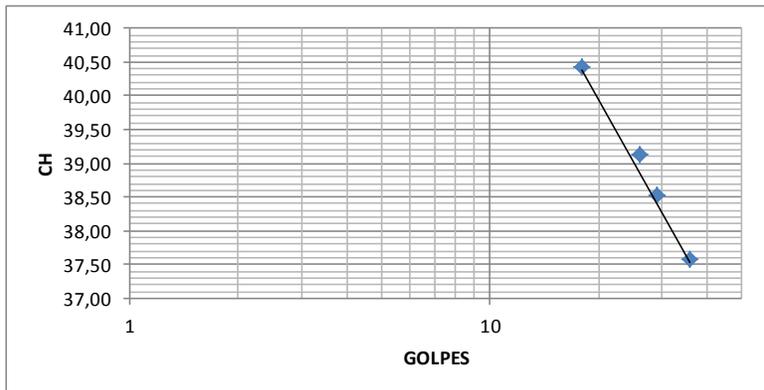
Realizado : Luis Sánchez

Mezcla: Ceibopamba Porcentaje: 100

LIMITE LIQUIDO

No.	PESO REC.	PESO REC+HUM	No DE GOLPES	PESO REC+SECO	CH
G9	56,78	67,02	26	64,14	39,13
G4	59,85	69,02	18	66,38	40,43
GB1	53,71	62,87	21	60,32	
G7	61,64	71,56	36	68,85	37,59
M1	57,72	66,17	29	63,82	38,52

LL
39



LIMITE PLASTICO

No.	PESO REC.	PESO REC+HUM	PESO REC+SECO	CH
G2	52,6	53,48	53,3	22,60
G12	63,29	64,08	63,95	22,64
GB5	61,28	62,15	61,99	22,70

LP
22,65

IP= 16,35



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

ANEXO
DETERMINACIÓN DE LÍMITES DE ATTERBERG

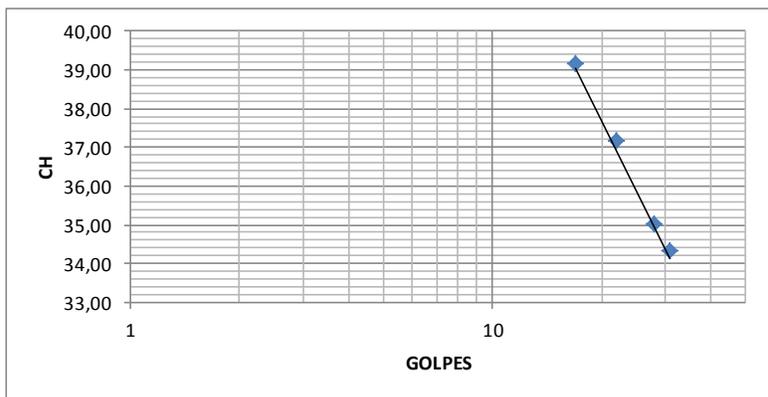
SOLICITANTE: Luis Sánchez
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución	UTPL	ENSAYO:	Límites de Atterberg
Proyecto:	Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de Malacatos"	Norma:	INEN 691 e INEN 692
		Realizado :	Luis Sánchez

Mezcla: Cangahua Porcentaje: 100

LIMITE LIQUIDO

No.	PESO REC.	PESO REC+HUM	No DE GOLPES	PESO REC+SECO	CH	
G9	67,11	73,72	17	71,86	39,16	LL 35,8
G4	59,5	64,74	22	63,32	37,17	
GB1	58,01	64,45	28	62,78	35,01	
G7	56,26	62,64	31	61,01	34,32	



LIMITE PLASTICO

No.	PESO REC.	PESO REC+HUM	PESO REC+SECO	CH	
G2	57,81	58,71	58,56	21,62	LP 21,74
G12	60,44	61,69	61,46	21,86	
GB5	62,86	63,78	63,61	21,73	

IP= 14,06



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

ANEXO
DETERMINACIÓN DE LÍMITES DE ATTERBERG

SOLICITANTE: Luis Sánchez
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL
Proyecto: Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de Malacatos"

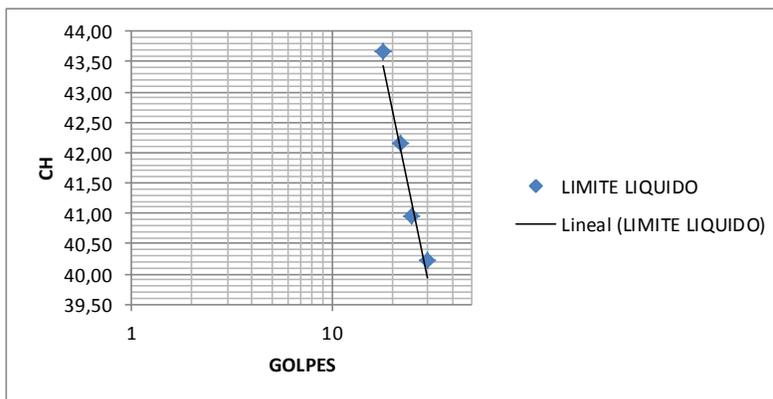
ENSAYO: Límites de Atterberg
Norma: INEN 691 e INEN 692
Realizado: Luis Sánchez

Mezcla: MCH Porcentaje: 100

LIMITE LIQUIDO

No.	PESO REC.	PESO REC+HUM	No DE GOLPES	PESO REC+SECO	CH
G9	72,93	80,74	30	78,5	40,22
G4	61,75	69,39	25	67,17	40,96
GB1	52,84	59,92	22	57,82	42,17
G7	61,27	70,45	18	67,66	43,66

LL
41



LIMITE PLASTICO

No.	PESO REC.	PESO REC+HUM	PESO REC+SECO	CH
G2	57,58	58,1	58,02	20,41
G12	55,48	56,22	56,05	20,57
GB5	58,16	58,86	58,73	20,48

LP
20,45

IP= 20,56



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

ANEXO
DETERMINACIÓN DE LÍMITES DE ATTERBERG

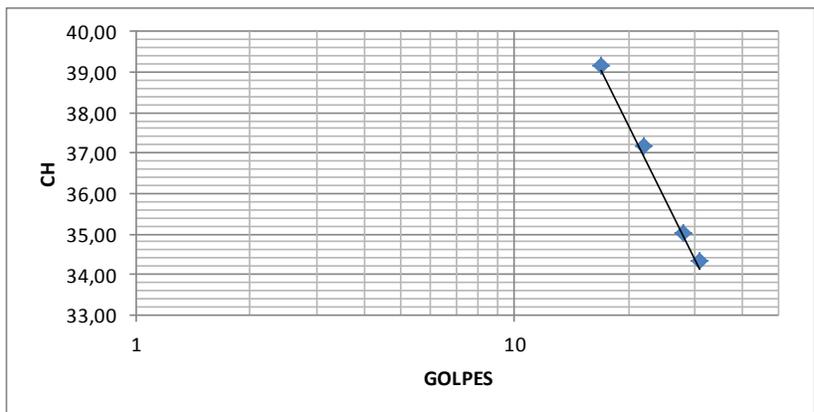
SOLICITANTE: Luis Sánchez
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución	UTPL	ENSAYO:	Límites de Atterberg
Proyecto:	Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de Malacatos"	Norma:	INEN 691 e INEN 692
		Realizado :	Luis Sánchez

Mezcla: MPL Porcentaje: 100

LIMITE LIQUIDO

No.	PESO REC.	PESO REC+HUM	No DE GOLPES	PESO REC+SECO	CH	
G9	67,11	73,72	17	71,86	39,16	LL 35,6
G4	59,5	64,74	22	63,32	37,17	
GB1	58,01	64,45	28	62,78	35,01	
G7	56,26	62,64	31	61,01	34,32	



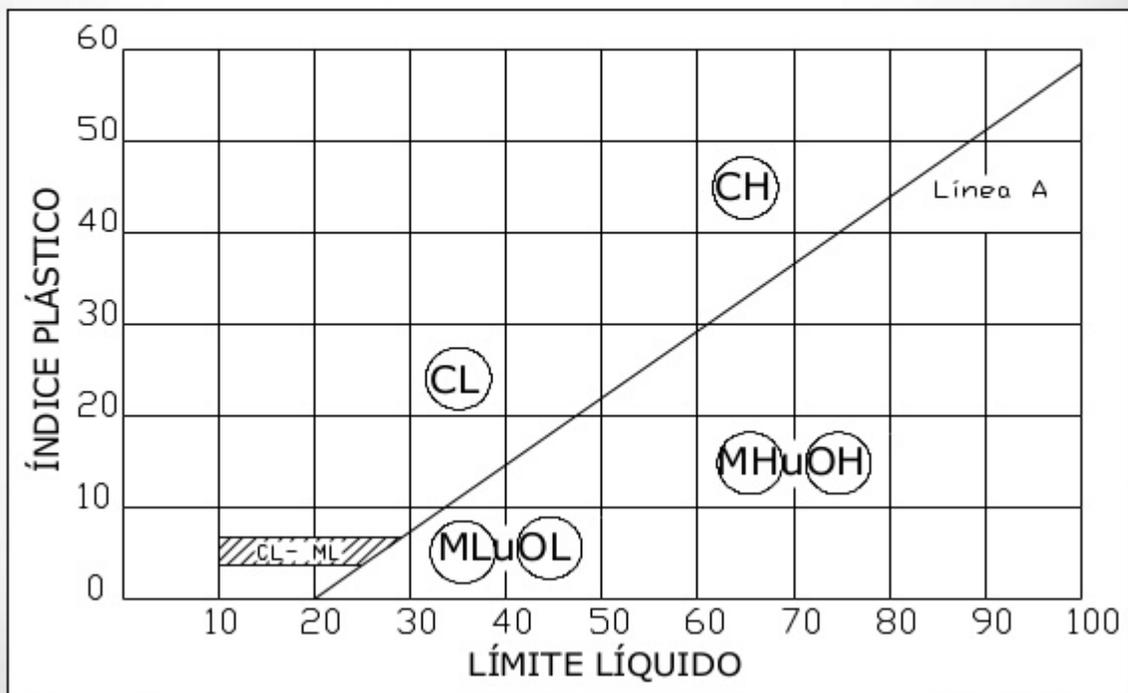
LIMITE PLASTICO

No.	PESO REC.	PESO REC+HUM	PESO REC+SECO	CH	
G2	57,81	58,71	58,51	26,60	LP 26,70
G12	60,44	61,69	61,45	26,80	
GB5	62,86	63,78	63,58	26,70	

IP= 8,90

CLASIFICACIÓN UNIFICADA DE SUELOS (SUCS)

- Fig. 1.1. Carta de plasticidad





UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO
ENSAYO DE DENSIDAD

SOLICITANTE: Luis Sánchez
DIRECCIÓN: San Cayetano

INFORME:
CÓDIGO LAB: RM-DN-C-004

Institución: UTPL
Proyecto: TESIS
Fiscalizador:
Constructor:

ENSAYO:
Norma: NTE INEN 156:2009
Fecha: 06/11/2015
Realizado: Luis Sánchez

Muestra: Ceibopamba

DATOS:

Peso Recipiente:	150,11	t°C:	20,8
Peso Recipiente + Muestra:	200,15		
Peso Muestra:	50,04 gr		
Lectura inicial:	0,4 ml		
Lectura Final:	19,5 ml		
Diferencia de volumen:	19,1 ml		

DENSIDAD :	2,620 gr/cm ³
DENSIDAD :	2614,76 kg/m ³
PESO ESPECÍFICO :	2,615

M.Sc. Alonso Zúñiga S.
DIRECTOR DE PROYECTO
DE FIN DE TITULACIÓN

Luis Sánchez Q.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO
ENSAYO DE DENSIDAD

SOLICITANTE: Luis Sánchez
DIRECCIÓN: San Cayetano

INFORME:
CÓDIGO LAB: RM-DN-C-004

Institución: UTPL
Proyecto: TESIS
Fiscalizador:
Constructor:

ENSAYO:
Norma: NTE INEN 156:2009
Fecha: 06/11/2015
Realizado: Luis Sánchez

Muestra: Cangahua

DATOS:

Peso Recipiente:	121,58	t°C:	20,8
Peso Recipiente + Muestra:	171,31		
Peso Muestra:	49,73 gr		
Lectura inicial:	0,4 ml		
Lectura Final:	20 ml		
Diferencia de volumen:	19,6 ml		

DENSIDAD : 2,540 gr/cm³
DENSIDAD : 2534,92 kg/m³
PESO ESPECÍFICO : 2,535

M.Sc. Alonso Zúñiga S.
DIRECTOR DE PROYECTO
DE FIN DE TITULACIÓN

Luis Sánchez Q.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO 4
ENSAYO DE DENSIDAD

SOLICITANTE: Luis Sánchez
DIRECCIÓN: San Cayetano

INFORME:
CÓDIGO LAB: RM-DN-C-004

Institución: UTPL
Proyecto: TESIS
Fiscalizador:
Constructor:

ENSAYO:

Norma: NTE INEN 156:2009
Fecha: 06/11/2015
Realizado: Luis Sánchez

Muestra: Chinguilamaca

DATOS:

Peso Recipiente:	121,58	t°C:	20,8
Peso Recipiente + Muestra:	166,58		
Peso Muestra:	45 gr		
Lectura inicial:	0,9 ml		
Lectura Final:	19,3 ml		
Diferencia de volumen:	18,4 ml		

DENSIDAD : 2,450 gr/cm³
DENSIDAD : 2445,10 kg/m³
PESO ESPECÍFICO : 2,445

M.Sc. Alonso Zúñiga S.
DIRECTOR DE PROYECTO
DE FIN DE TITULACIÓN

Luis Sánchez Q.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO
ENSAYO DE DENSIDAD

SOLICITANTE: Luis Sánchez
DIRECCIÓN: San Cayetano

INFORME:
CÓDIGO LAB: RM-DN-C-004

Institución: UTPL
Proyecto: TESIS
Fiscalizador:
Constructor:

ENSAYO:

Norma: NTE INEN 156:2009
Fecha: 06/11/2015
Realizado: Luis Sánchez

Muestra: Palanda

DATOS:

Peso Recipiente:	121,58	t°C:	20,8
Peso Recipiente + Muestra:	171,5		
Peso Muestra:	49,92 gr		
Lectura inicial:	0,7 ml		
Lectura Final:	19,75 ml		
Diferencia de volumen:	19,05 ml		

DENSIDAD :	2,620 gr/cm ³	2,62
DENSIDAD :	2614,76 kg/m ³	
PESO ESPECÍFICO :	2,615	

M.Sc. Alonso Zúñiga S.
DIRECTOR DE PROYECTO
DE FIN DE TITULACIÓN

Luis Sánchez Q.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN

Anexo 1. Ensayos realizados a la materia prima. Químicos



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO
ENSAYO DE DETERMINACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA

SOLICITANTE: Luis Sánchez
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución	UTPL	ENSAYO:
Proyecto:	Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de Malacatos"	Norma: Determinación de la materia orgánica (S.N)
		Realizado : Luis Sánchez

Muestra	Efervescencia	Materia orgánica
Ceibopamba	NO	NO
Cangahua	NO	NO
Chinguilamac:	NO	NO
Palanda	NO	NO
Arena fina	NO	NO

Ing. Alonso Zúñiga
DIRECTOR DE PROYECTO
DE FIN DE TITULACIÓN

Luis Sánchez
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO
ENSAYO DE PRESENCIA DE CARBONATOS

SOLICITANTE: Luis Sánchez
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución	UTPL	ENSAYO:
Proyecto:	Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de Malacatos"	Norma: Presencia de carbonatos (S.N)
		Realizado : Luis Sánchez

Muestra	Efervescencia	Carbonatos
Ceibopamba	NO	NO
Cangahua	LEVE	NO
Chinguilamaca	LEVE	NO
Palanda	NO	NO
Arena fina	LEVE	NO

Ing. Alonso Zúñiga
DIRECTOR DE PROYECTO
DE FIN DE TITULACIÓN

Luis Sánchez
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO

Determinación del Potencial Hidrógeno (pH)

SOLICITANTE: Luis Sánchez

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución UTPL

Proyecto: Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de Malacatos"

ENSAYO:

Norma: Determinación del pH de los suelos

Realizado : Luis Sánchez

Muestra	pH 1	pH 2	pH 3	pH
Ceibopamba	7,63	7,79	7,55	7,66
Cangahua	7,12	7,2	7,18	7,17
Arena Fina	7,32	7,35	7,28	7,32
Chinguilamaca	8,6	8,7	8,61	8,64
Palanda	5,83	5,9	5,9	5,88

Ing. Alonso Zúñiga
DIRECTOR DE PROYECTO
DE FIN DE TITULACIÓN

Luis Sánchez
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO
DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE ESPECÍFICA

SOLICITANTE: Luis Sánchez
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución UTPL	ENSAYO: Norma: Determinación de la S.E, mediante el azul de metileno Realizado : Luis Sánchez
Proyecto: Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de Malacatos"	

Muestra: Ceibopamba

Datos	
Ws (AM)	1 g
Vol(AM)sol.	200 ml
N	17
Av	6,02E+23 mol ⁻¹
Sup(AM).	1,3E-14 cm ²
Ws (arcilla)	10 g

Leyenda

$$Se = \frac{1}{319,87 \text{ gr} / \text{mol}} \cdot \frac{Ws(AM)}{Vol(AM)sol.} \cdot (N \cdot 0,5 \text{ ml}) \cdot Av \cdot Sup(AM) \cdot \frac{1}{Ws(arcilla)}$$

Donde:

Ws(AM): Es el peso en gramos del azul de metileno colocado en la suspensión patrón.

Vol(AM)sol.: Es el volumen total utilizado en la solución patrón en ml.

N: Es el número de veces que se agregaron 0,5 ml de la solución patrón con azul de metileno.

Av = 6,02 x 10²³ /mol (es el Número de Avogadro)

Sup (AM): Es el área cubierta por un catión de azul de metileno, asumida generalmente en 130 Å².

Ws(arcilla): Es el peso seco de la arcilla en gr. que se utilizó en el ensayo.

Superficie específica

Se 10,4 m²/g

Ing. Alonso Zúñiga
DIRECTOR DE TESIS

Luis Sánchez
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO
DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE ESPECÍFICA

SOLICITANTE: Luis Sánchez
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL
Proyecto: Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de Malacatos"

ENSAYO:
Norma: Determinación de la S.E, mediante el azul de metileno
Realizado: Luis Sánchez

Muestra: Cangahua

Datos	
Ws (AM)	1 g
Vol(AM)sol.	200 ml
N	80
Av	6,02E+23 mol ⁻¹
Sup(AM).	1,3E-14 cm ²
Ws (arcilla)	10 g

Leyenda

$$Se = \frac{1}{319,87 \text{ gr/l mol Vol(AM)sol.}} \cdot \frac{Ws(AM)}{(N \cdot 0,5 \text{ ml}) \cdot Av \cdot Sup(AM)} \cdot \frac{1}{Ws(arcilla)}$$

Donde:

Ws(AM): Es el peso en gramos del azul de metileno colocado en la suspensión patrón.

Vol(AM)sol.: Es el volumen total utilizado en la solución patrón en ml.

N: Es el número de veces que se agregaron 0,5 ml de la solución patrón con azul de metileno.

Av = 6,02 x 10²³ /mol (es el Número de Avogadro)

Sup(AM): Es el área cubierta por un catión de azul de metileno, asumida generalmente en 130 Å².

Ws(arcilla): Es el peso seco de la arcilla en gr. que se utilizó en el ensayo.

Superficie específica

Se 48,9 m²/g

Ing. Alonso Zúñiga
DIRECTOR DE TESIS

Luis Sánchez
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO
DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE ESPECÍFICA

SOLICITANTE: Luis Sánchez
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL
Proyecto: Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de Malacatos"

ENSAYO:
Norma: Determinación de la S.E, mediante el azul de metileno
Realizado: Luis Sánchez

Muestra: Arena Fina

Datos	
Ws (AM)	1 g
Vol(AM)sol.	200 ml
N	65
Av	6,02E+23 mol ⁻¹
Sup(AM).	1,3E-14 cm ²
Ws (arcilla)	10 g

Leyenda

$$Se = \frac{1}{319,87 \text{ gr/l mol Vol(AM)sol.}} \cdot \frac{Ws(AM)}{(N \cdot 0,5 \text{ ml}) \cdot Av \cdot Sup(AM)} \cdot \frac{1}{Ws(arcilla)}$$

Donde:

Ws(AM): Es el peso en gramos del azul de metileno colocado en la suspensión patrón.

Vol(AM)sol.: Es el volumen total utilizado en la solución patrón en ml.

N: Es el número de veces que se agregaron 0,5 ml de la solución patrón con azul de metileno.

Av = 6,02 x 10²³ /mol (es el Número de Avogadro)

Sup(AM): Es el área cubierta por un catión de azul de metileno, asumida generalmente en 130 Å².

Ws(arcilla): Es el peso seco de la arcilla en gr. que se utilizó en el ensayo.

Superficie específica

Se 39,8 m²/g

Ing. Alonso Zúñiga
DIRECTOR DE TESIS

Luis Sánchez
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO
DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE ESPECÍFICA

SOLICITANTE: Luis Sánchez
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL
Proyecto: Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de Malacatos"

ENSAYO:
Norma: Determinación de la S.E. mediante el azul de metileno
Realizado: Luis Sánchez

Muestra: Palanda

Datos	
Ws (AM)	1 g
Vol(AM)sol.	200 ml
N	33
Av	6,02E+23 mol ⁻¹
Sup(AM).	1,3E-14 cm ²
Ws (arcilla)	10 g

Leyenda

$$Se = \frac{1}{319,87 \text{ gr/l mol Vol(AM)sol.}} \cdot \frac{Ws(AM)}{(N \cdot 0,5 \text{ ml}) \cdot Av \cdot Sup(AM)} \cdot \frac{1}{Ws(arcilla)}$$

Donde:

Ws(AM): Es el peso en gramos del azul de metileno colocado en la suspensión patrón.

Vol(AM)sol.: Es el volumen total utilizado en la solución patrón en ml.

N: Es el número de veces que se agregaron 0,5 ml de la solución patrón con azul de metileno.

Av = 6,02 x 10²³ /mol (es el Número de Avogadro)

Sup(AM): Es el área cubierta por un catión de azul de metileno, asumida generalmente en 130 Å².

Ws(arcilla): Es el peso seco de la arcilla en gr. que se utilizó en el ensayo.

Superficie específica

Se 20,18 m²/g

Ing. Alonso Zúñiga
DIRECTOR DE TESIS

Luis Sánchez
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO
DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE ESPECÍFICA

SOLICITANTE: Luis Sánchez
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución UTPL
Proyecto: Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de Malacatos"

ENSAYO:
Norma: Determinación de la S.E, mediante el azul de metileno
Realizado : Luis Sánchez

Muestra: Chinguilamaca

Datos	
Ws (AM)	1 g
Vol(AM)sol.	200 ml
N	148
Av	6,02E+23 mol ⁻¹
Sup(AM).	1,3E-14 cm ²
Ws (arcilla)	10 g

Leyenda

$$Se = \frac{1}{319,87 \text{ gr/l mol Vol(AM)sol.}} \cdot \frac{Ws(AM)}{(N \cdot 0,5 \text{ ml}) \cdot Av \cdot Sup(AM)} \cdot \frac{1}{Ws(arcilla)}$$

Donde:

Ws(AM): Es el peso en gramos del azul de metileno colocado en la suspensión patrón.

Vol(AM)sol.: Es el volumen total utilizado en la solución patrón en ml.

N: Es el número de veces que se agregaron 0,5 ml de la solución patrón con azul de metileno.

Av = 6,02 x 10²³ /mol (es el Número de Avogadro)

Sup (AM): Es el área cubierta por un catión de azul de metileno, asumida generalmente en 130 Å².

Ws(arcilla): Es el peso seco de la arcilla en gr. que se utilizó en el ensayo.

Superficie específica

Se 90,5 m²/g

Ing. Alonso Zúñiga
DIRECTOR DE TESIS

Luis Sánchez
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO
FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX)

SOLICITANTE: Luis Sánchez
DIRECCIÓN: San Cayetano

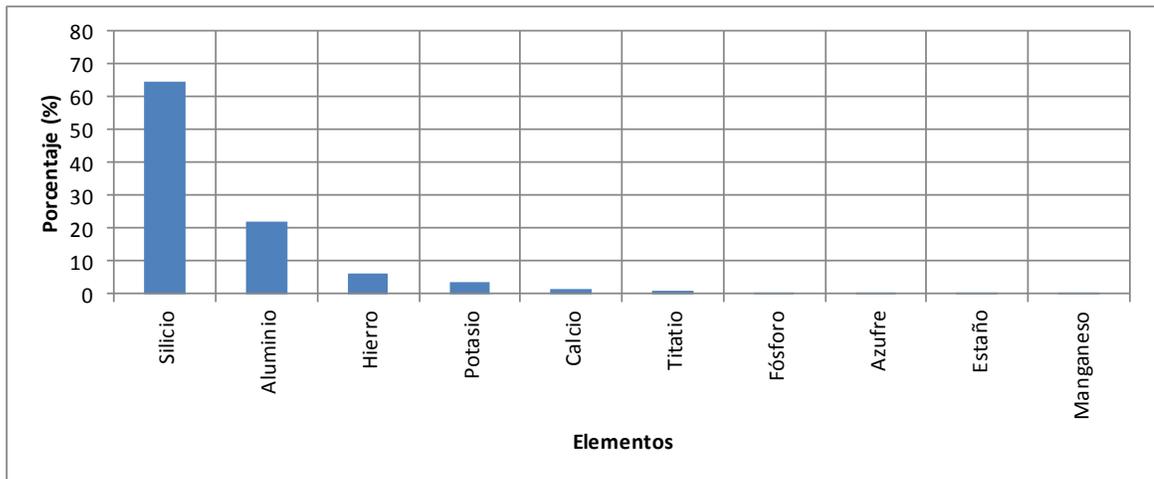
Institución UTPL
Proyecto: Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de Malacatos"

ENSAYO:
Norma: Fluorescencia de Rayos X.
Meaning Light Element
Realizado : Luis Sánchez

Datos de la muestra:

Análisis #	817
Lugar	Malacatos
Código	Mina Ceibopamba
Método	Meaning Light Element

ELEMENTO		%
SiO ₂	Silicio	64,8
Al ₂ O ₃	Aluminio	22,1
Fe ₂ O ₃	Hierro	6,4
K ₂ O	Potasio	3,5
CaO	Calcio	1,3
TiO ₂	Titatio	0,77
P ₂ O ₅	Fósforo	0,26
S	Azufre	0,25
SnO ₂	Estaño	0,21
MnO	Manganeso	0,16
CeO ₂	Cerio	0,08
Cr ₂ O ₃	Cromo	0,06
ZrO ₂	Zirconio	0,04
V ₂ O ₅	Vanadio	0,02
Rb	Rubidio	0,02
WO ₂	Wolframio	0,02
NiO	Níquel	0,01
CuO	Cobre	0,01



Ing. Alonso Zúñiga
DIRECTOR DE PROYECTO
DE FIN DE TITULACIÓN

Luis Sánchez
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO
FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX)

SOLICITANTE: Luis Sánchez
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución UTPL
Proyecto: Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de Malacatos"

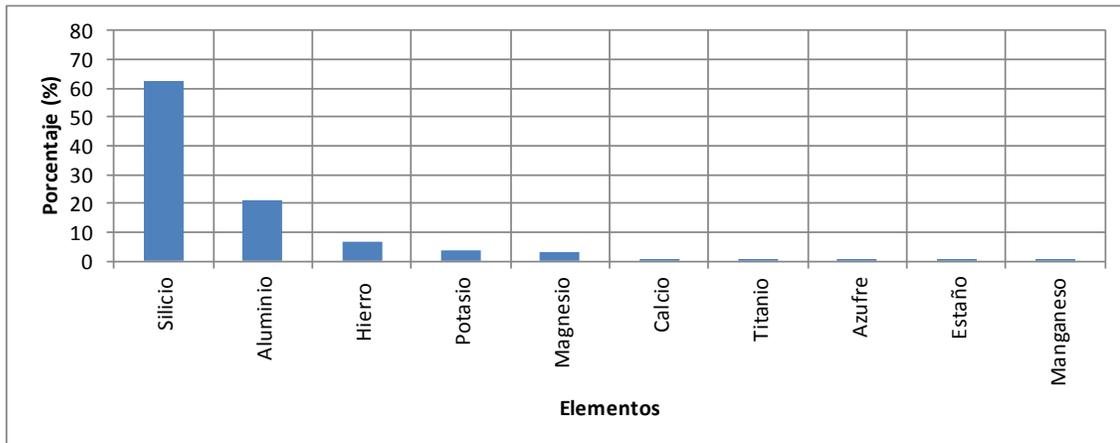
ENSAYO:

Norma: Fluorescencia de Rayos X.
Meaning Light Element
Realizado : Luis Sánchez

Datos de la muestra:

<i>Análisis #</i>	<i>818</i>
<i>Lugar</i>	<i>Malacatos</i>
<i>Codigo</i>	<i>Mina Cangahua</i>
<i>Método</i>	<i>Meaning Light Element</i>

	ELEMENTO	%
SiO ₂	Silicio	62,5
Al ₂ O ₃	Aluminio	21,4
Fe ₂ O ₃	Hierro	6,99
K ₂ O	Potasio	3,76
MgO	Magnesio	2,94
CaO	Calcio	0,95
TiO ₂	Titanio	0,74
S	Azufre	0,21
SnO ₂	Estaño	0,21
MnO	Manganeso	0,2
Cr ₂ O ₃	Cromo	0,06
V ₂ O ₅	Vanadio	0,02
ZnO	Zinc	0,02
Rb	Rubidio	0,02
NiO	Niquel	0,01
CuO	Cobre	0,01
Sr	Estroncio	0,01



Ing. Alonso Zúñiga
DIRECTOR DE PROYECTO
DE FIN DE TITULACIÓN

Luis Sánchez
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO
FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX)

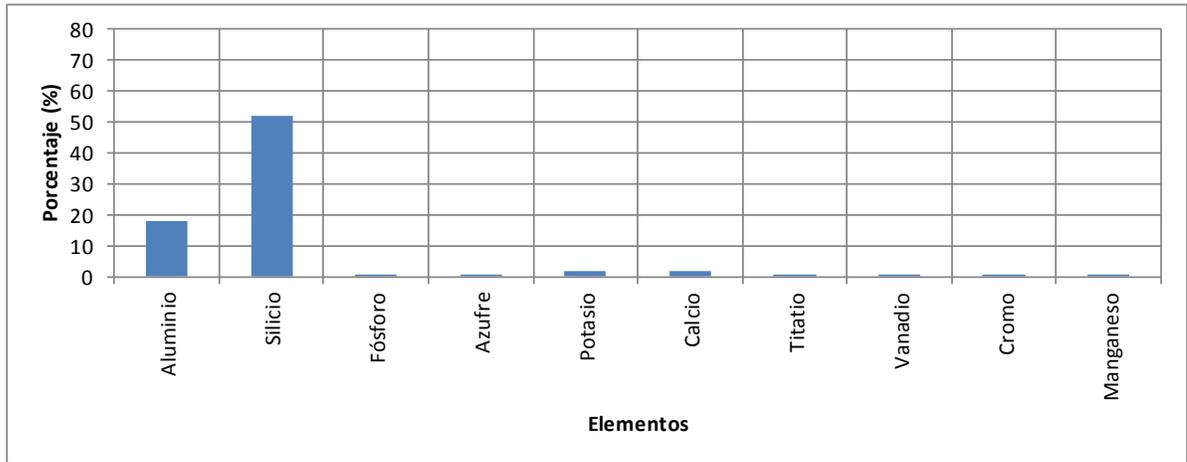
SOLICITANTE: Luis Sánchez
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución	UTPL	ENSAYO:
Proyecto:	Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de Malacatos"	Norma: Fluorescencia de Rayos X. Meaning Light Element
		Realizado : Luis Sánchez

Datos de la muestra:

<i>Análisis #</i>	<i>893</i>
<i>Lugar</i>	<i>Malacatos</i>
<i>Codigo</i>	<i>Mina Chinguilamaca</i>
<i>Método</i>	<i>Meaning Light Element</i>

ELEMENTO		%
Al ₂ O ₃	Aluminio	18,1
SiO ₂	Silicio	51,8
P ₂ O ₅	Fósforo	0,28
S	Azufre	0,57
K ₂ O	Potasio	1,89
CaO	Calcio	1,94
TiO ₂	Titatio	0,41
V ₂ O ₅	Vanadio	0,01
Cr ₂ O ₃	Cromo	0,05
MnO	Manganeso	0,12
Fe ₂ O ₃	Hierro	6,12
CO ₃ O ₄	Carbono	0,02
ZnO	Zinc	0,01
AS ₂ O ₃	Arsenico	0,01
Sr	Estroncio	0,03
ZrO ₂	Zirconio	0,03
SnO ₂	Estaño	0,17
CeO ₂	Cerio	0,06



Ing. Alonso Zúñiga
DIRECTOR DE PROYECTO
DE FIN DE TITULACIÓN

Luis Sánchez
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO
FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX)

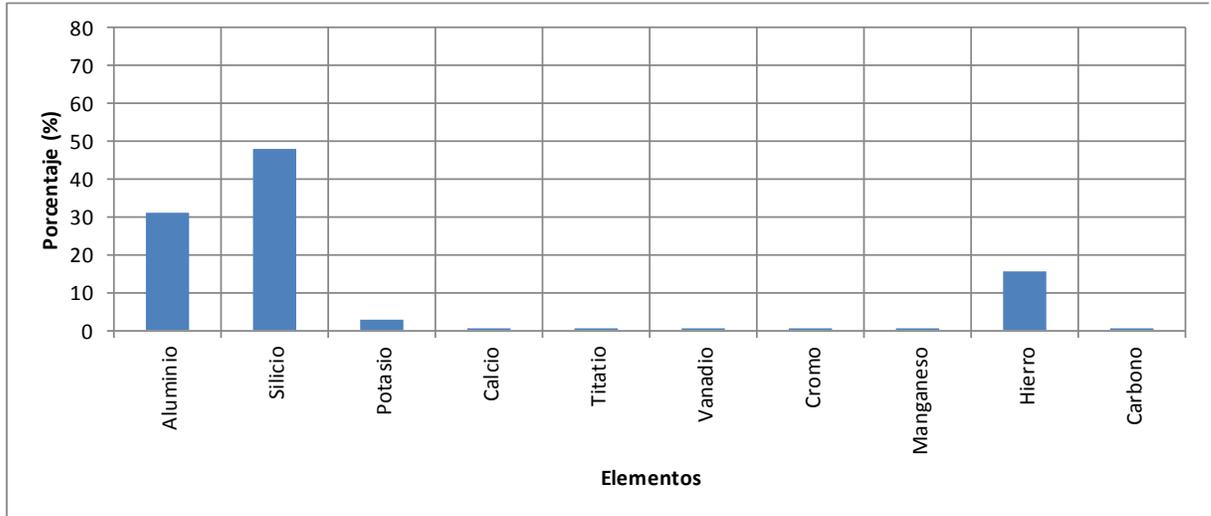
SOLICITANTE: Luis Sánchez
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución	UTPL	ENSAYO:
Proyecto:	Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de Malacatos"	Norma: Fluorescencia de Rayos X. Meaning Light Element
		Realizado : Luis Sánchez

Datos de la muestra:

<i>Análisis #</i>	<i>894</i>
<i>Lugar</i>	<i>Malacatos</i>
<i>Código</i>	<i>Mina Palanda</i>
<i>Método</i>	<i>Meaning Light Element</i>

	ELEMENTO	%
Al ₂ O ₃	Aluminio	31,2
SiO ₂	Silicio	47,9
K ₂ O	Potasio	2,87
CaO	Calcio	0,03
TiO ₂	Titatio	0,72
V ₂ O ₅	Vanadio	0,01
Cr ₂ O ₃	Cromo	0,06
MnO	Manganeso	0,08
Fe ₂ O ₃	Hierro	15,45
CO ₃ O ₄	Carbono	0,02
ZnO	Zinc	0,01
ZrO ₂	Zirconio	0,03
SnO ₂	Estaño	0,25
Ta ₂ O ₅	Tantalio	0,04



Ing. Alonso Zúñiga
DIRECTOR DE PROYECTO
DE FIN DE TITULACIÓN

Luis Sánchez
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO
FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX)

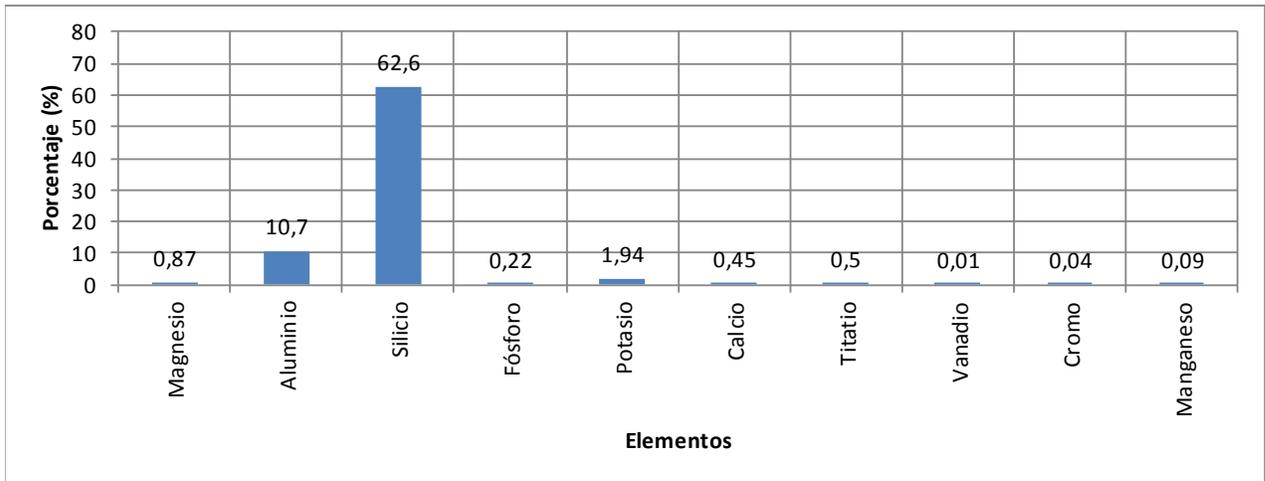
SOLICITANTE: Luis Sánchez
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución	UTPL	ENSAYO:
Proyecto:	Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de Malacatos"	Norma: Fluorescencia de Rayos X. Meaning Light Element
		Realizado : Luis Sánchez

Datos de la muestra:

<i>Análisis #</i>	<i>892</i>
<i>Lugar</i>	<i>Malacatos</i>
<i>Código</i>	<i>Mina de Arena Fina</i>
<i>Método</i>	<i>Meaning Light Element</i>

ELEMENTO		%
MgO	Magnesio	0,87
Al ₂ O ₃	Aluminio	10,7
SiO ₂	Silicio	62,6
P ₂ O ₅	Fósforo	0,22
K ₂ O	Potasio	1,94
CaO	Calcio	0,45
TiO ₂	Titatio	0,5
V ₂ O ₅	Vanadio	0,01
Cr ₂ O ₃	Cromo	0,04
MnO	Manganeso	0,09
Fe ₂ O ₃	Hierro	3,13
Rb	Rubidio	0,01
ZrO ₂	Zirconio	0,03
SnO ₂	Estaño	0,16
CeO ₂	Cerio	0,02
HfO ₂	Hafnio	0,03



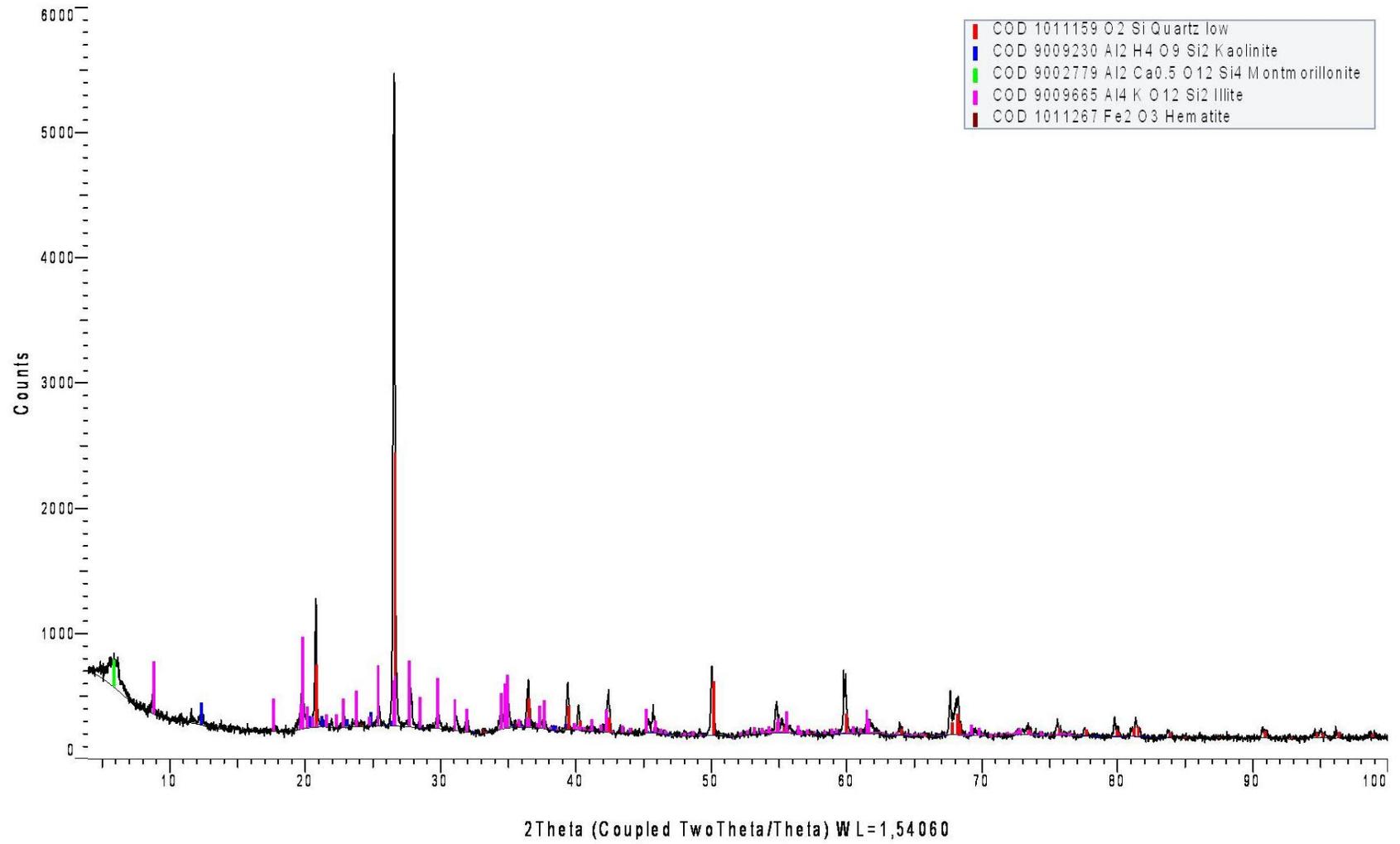
Ing. Alonso Zúñiga
 DIRECTOR DE PROYECTO
 DE FIN DE TITULACIÓN

Luis Sánchez
 PROFESIONAL EN FORMACIÓN

Difracción de rayos X

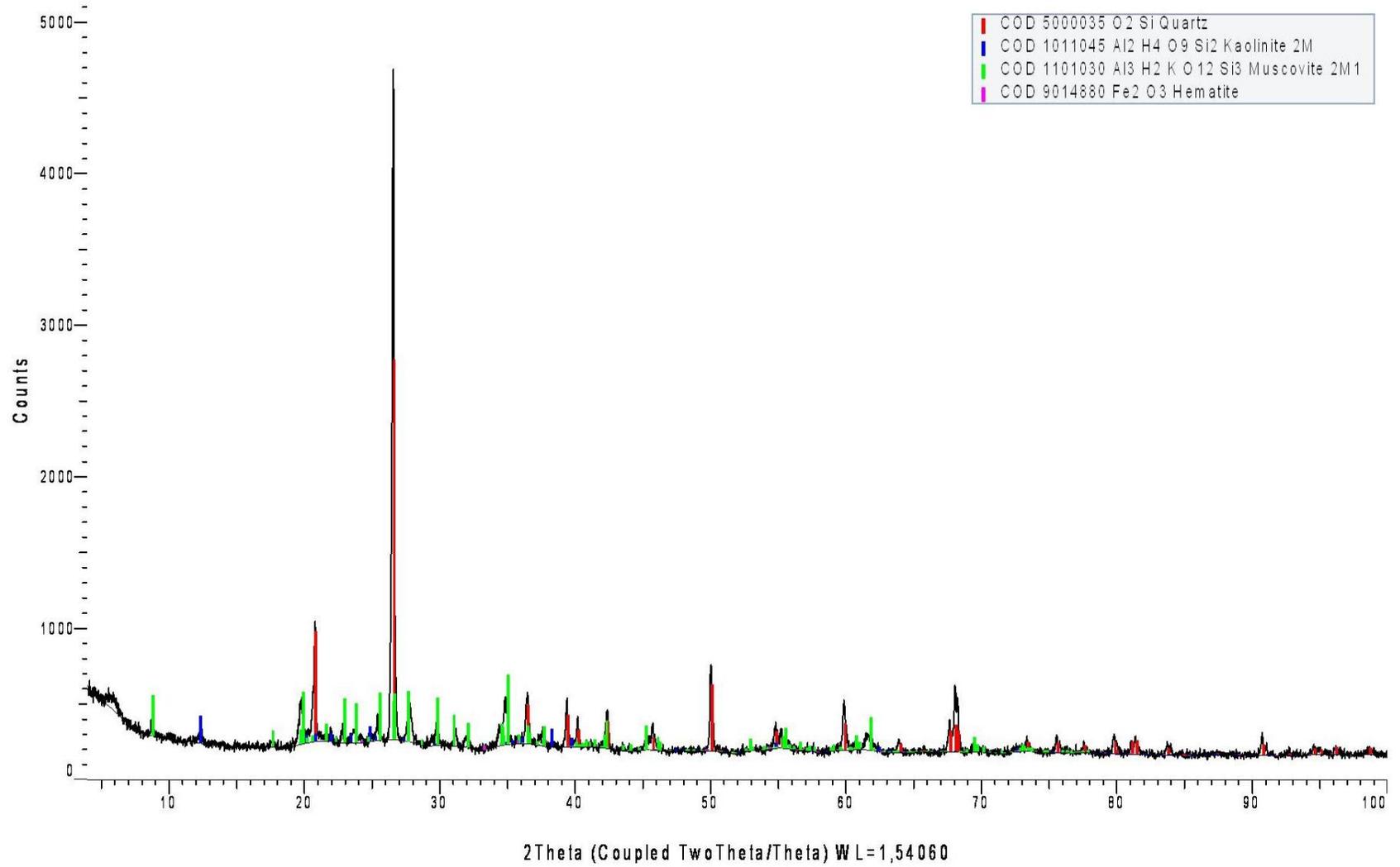
Mina Ceibopamba

MCB (Coupled TwoTheta/Theta)



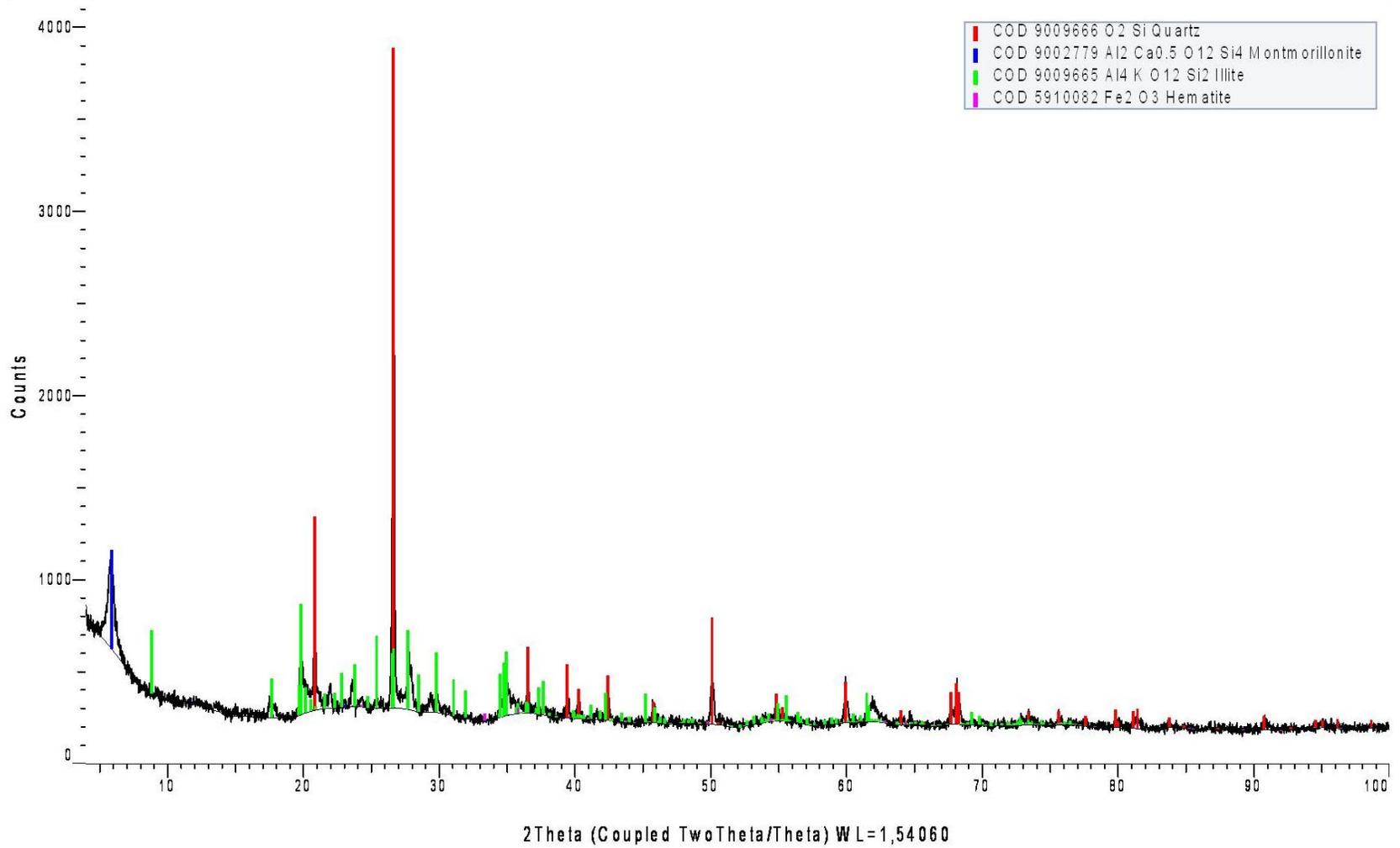
Mina Cangahua

8 (Coupled TwoTheta/Theta)



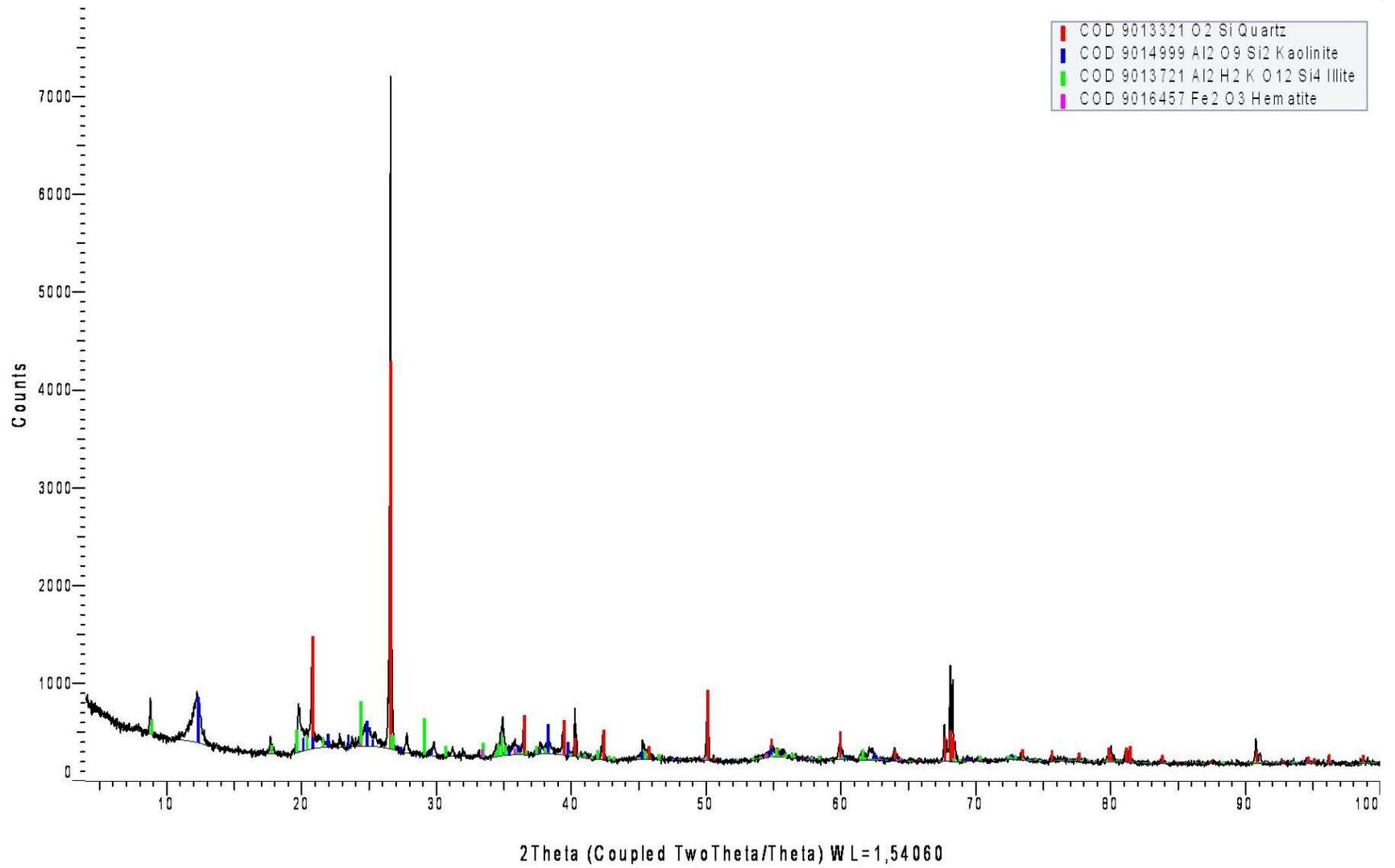
Mina Chinguilamaca

MCH (Coupled TwoTheta/Theta)



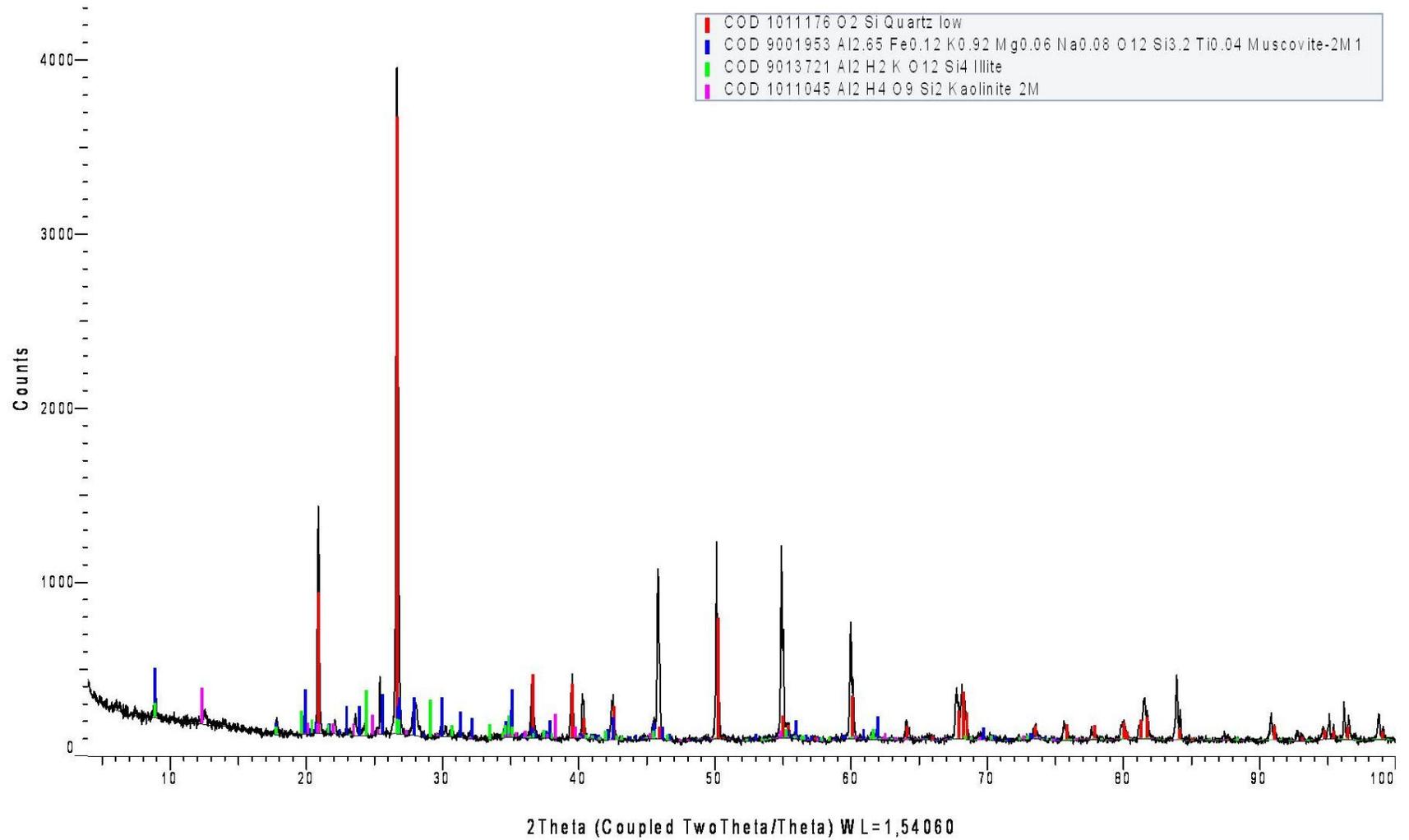
Mina Palanda

MPL (Coupled TwoTheta/Theta)



Mina de arena fina

MAF (Coupled TwoTheta/Theta)





UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO
Análisis termogravimétrico (ATG)

SOLICITANTE: Luis Sánchez
DIRECCIÓN: San Cayetano

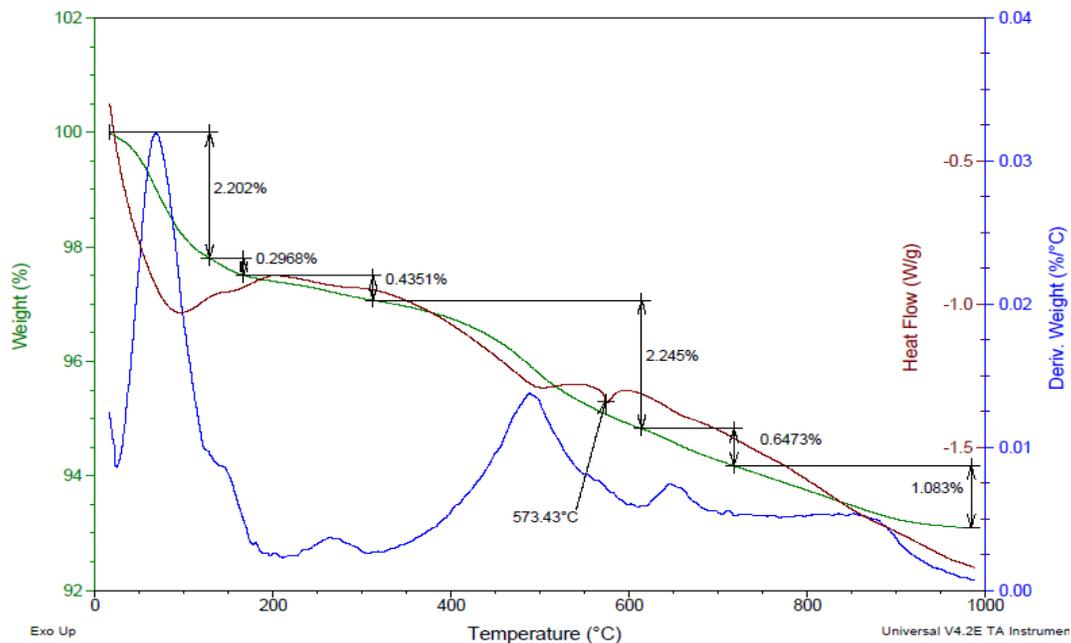
Institución: UTPL
Proyecto: Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de Malacatos"

ENSAYO:
Norma: Análisis Termogravimétrico (atg) S.N
Realizado: Luis Sánchez

Sample: MAR-80-001
Size: 56.4440 mg
Method: Ramp
Comment: MAR 80% 001 LUIS SANCHEZ DR VICTOR GARCÍA

DSC-TGA

File: F:\VICTORMAR-80-001.001
Operator: PACOF
Run Date: 24-Nov-2015 12:18
Instrument: SDT Q600 V8.3 Build 101



M.Sc. Alonso Zúñiga S.
DIRECTOR DE PROYECTO
DE FIN DE TITULACIÓN

Luis Sánchez Q.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

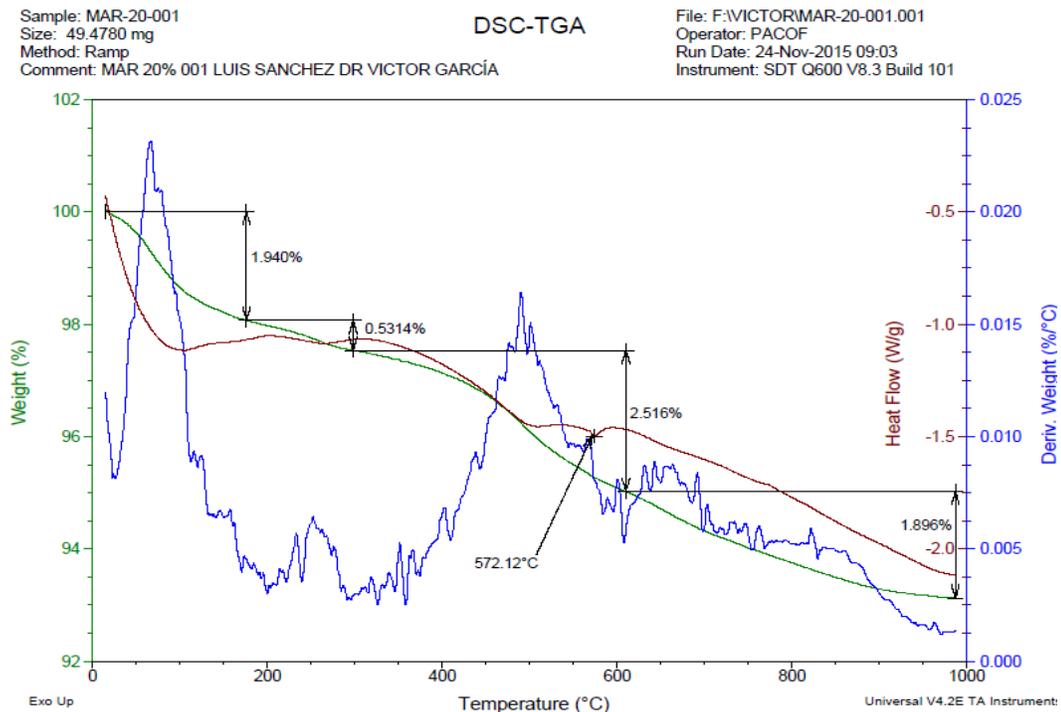
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO
Análisis termogravimétrico (ATG)

SOLICITANTE: Luis Sánchez
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL
Proyecto: Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de Malacatos"

ENSAYO:
Norma: Análisis Termogravimétrico (atg) S.N
Realizado: Luis Sánchez



M.Sc. Alonso Zúñiga S.
DIRECTOR DE PROYECTO
DE FIN DE TITULACIÓN

Luis Sánchez Q.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

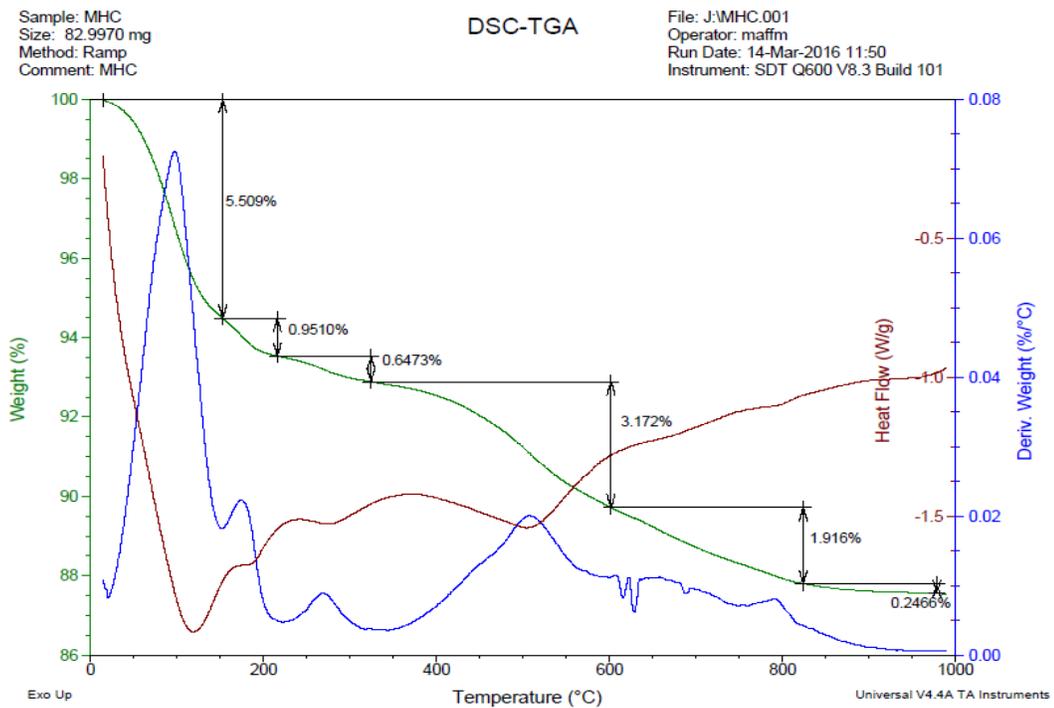
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO
Análisis termogravimétrico (ATG)

SOLICITANTE: Luis Sánchez
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL
Proyecto: Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de Malacatos"

ENSAYO:
Norma: Análisis Termogravimétrico (atg) S.N
Realizado: Luis Sánchez



M.Sc. Alonso Zúñiga S.
DIRECTOR DE PROYECTO
DE FIN DE TITULACIÓN

Luis Sánchez Q.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

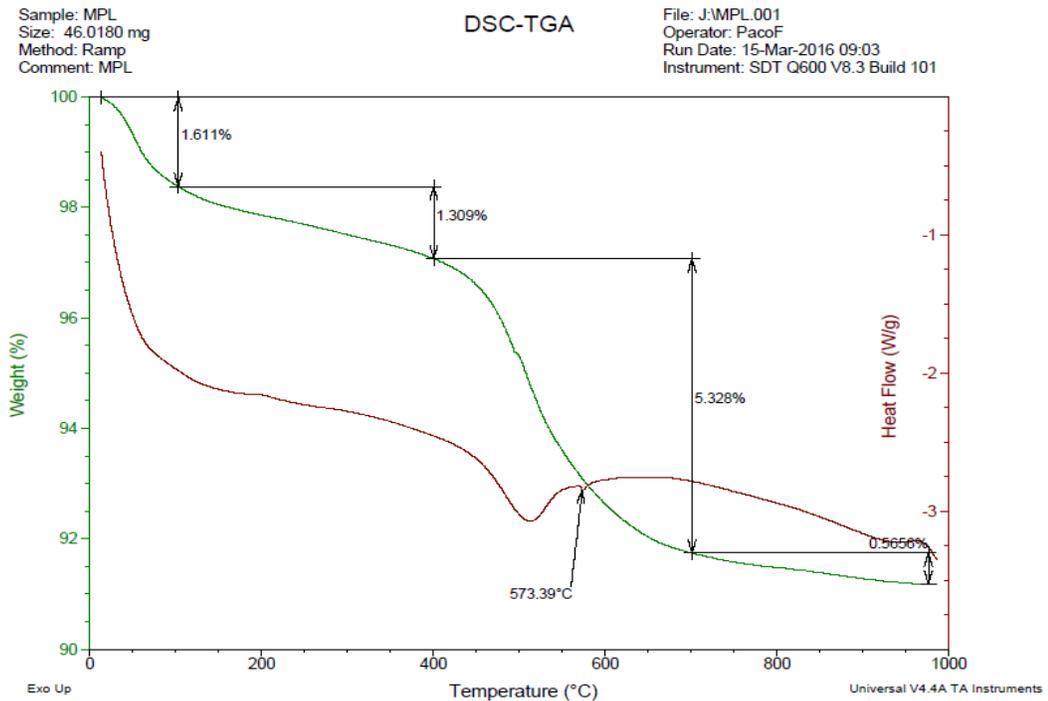
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO
Análisis termogravimétrico (ATG)

SOLICITANTE: Luis Sánchez
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL
Proyecto: Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de Malacatos"

ENSAYO:
Norma: Análisis Termogravimétrico (atg) S.N
Realizado: Luis Sánchez



M.Sc. Alonso Zúñiga S.
DIRECTOR DE PROYECTO
DE FIN DE TITULACIÓN

Luis Sánchez Q.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

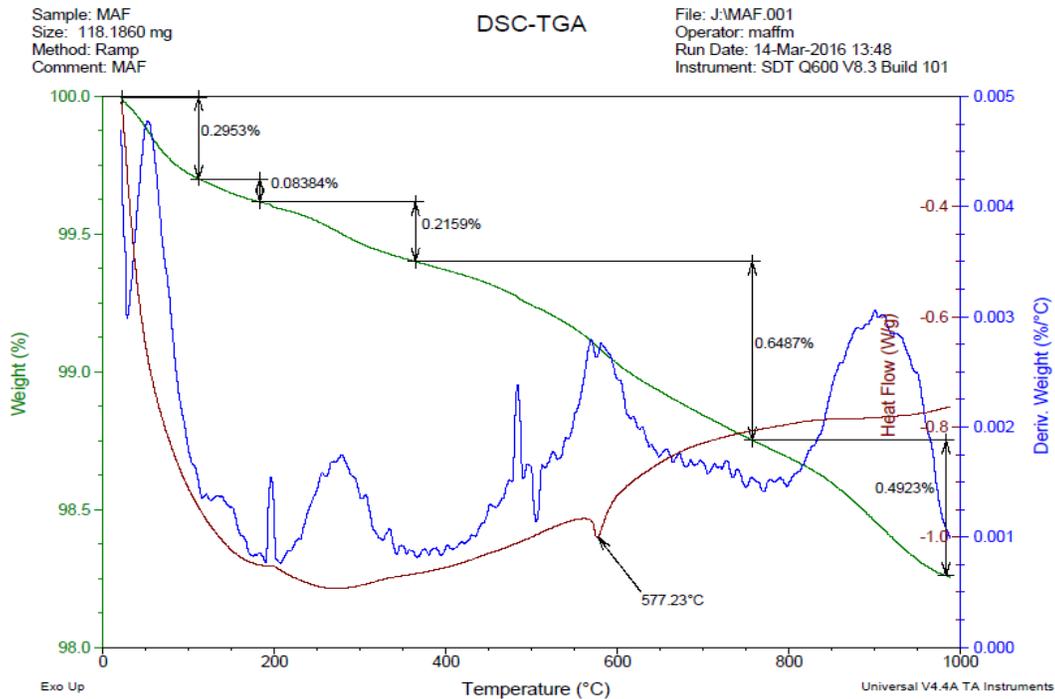
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO
Análisis termogravimétrico (ATG)

SOLICITANTE: Luis Sánchez
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL
Proyecto: Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de Malacatos"

ENSAYO:
Norma: Análisis Termogravimétrico (atg) S.N
Realizado: Luis Sánchez



M.Sc. Alonso Zúñiga S.
DIRECTOR DE PROYECTO
DE FIN DE TITULACIÓN

Luis Sánchez Q.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN

Anexo 2. Ensayos de compresión diametral.



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAMETRAL

SOLICITANTE: Luis Sánchez
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución	UTPL	ENSAYO:	
Proyecto:	Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de Malacatos"	Norma:	Ensayo de compresión diametral. Tracción Indirecta
		Realizado :	Luis Sánchez

Mezcla	Porcentaje (%)	W _{sia} (g)	D _{si} (cm)	E _{si} (cm)	W _s (g)	D _s (cm)	E _s (cm)	W _h (g)	D _h (cm)	E _h (cm)	ft (Mpa)	F.I.O (Mpa/kg)	C _{ss} (%)	CT (%)
MCB/MCA	50/50	123,42	6,75	1,78	112,69	6,63	1,83	106,75	6,47	1,75	3,91	36,61	8,88	9,67
	60/40	123,71	6,66	1,73	103,91	6,56	1,71	100,18	6,50	1,69	4,49	44,79	3,31	6,75
	70/30	123,95	6,70	1,77	102,58	6,53	1,72	97,28	6,48	1,69	2,60	26,77	3,51	11,28
	80/20	119,33	6,72	1,79	106,16	6,69	1,76	100,39	6,63	1,73	4,72	47,00	3,25	5,51
	100/0	127,69	6,73	1,77	106,36	6,65	1,75	100,77	6,52	1,70	3,50	34,72	6,66	10,30
MCB/MAF	30/70	125,75	6,71	1,76	107,61	6,60	1,73	101,99	6,56	1,71	3,52	34,53	2,18	7,01
	90/10	140,10	6,96	1,88	115,12	6,67	1,80	109,52	6,61	1,80	2,27	20,70	1,90	13,53
	80/20	147,90	7,02	1,86	126,96	6,72	1,82	121,19	6,67	1,72	1,78	14,73	6,90	17,05
MCB/MPL	70/30	170,33	7,04	1,89	142,95	6,70	1,80	136,80	6,49	1,75	1,65	12,08	8,89	22,33
	50/50	154,89	7,06	1,78	123,91	6,60	1,85	116,24	6,48	1,78	1,69	14,52	7,60	16,47
	60/40	148,74	7,01	1,94	118,40	6,75	1,92	111,17	6,62	1,83	1,50	13,51	8,18	16,45
MPL/MAF	70/30	155,23	7,09	1,87	125,90	6,81	1,94	118,36	6,63	1,85	1,95	16,45	9,87	13,97
	90/10	150,85	7,08	2,08	119,46	6,99	2,02	111,64	6,84	1,98	0,09	0,79	5,82	11,21
	80/20	153,92	7,01	2,04	122,31	6,93	2,06	115,02	6,89	2,03	0,03	0,27	2,56	3,93
MCB/MCH	70/30	149,08	6,97	1,99	119,37	6,91	1,98	112,69	6,85	1,96	0,04	0,34	2,61	5,15
	70/30	149,58	7,05	1,91	118,93	6,97	1,90	110,48	6,75	1,91	2,47	22,37	5,74	8,19
	60/40	152,56	7,14	2,11	124,61	6,96	2,00	116,05	6,78	1,93	2,40	20,65	8,45	18,24
MCH/MAF	50/50	151,97	7,02	2,35	119,72	6,91	2,19	110,75	6,82	2,12	1,80	16,24	5,68	15,56
	70/30	131,60	7,06	1,80	99,85	6,64	1,92	91,82	6,55	1,86	0,56	6,05	5,71	11,36
	80/20	152,70	7,04	1,94	116,13	6,64	2,02	107,62	6,56	1,97	0,94	8,77	4,80	12,36
	90/10	150,19	7,02	1,91	117,33	6,68	1,96	109,75	6,64	1,97	1,88	17,17	0,61	7,84

Ing. Alonso Zúñiga
DIRECTOR DE PROYECTO
DE FIN DE TITULACIÓN

Luis Sánchez
PROFESIONAL EN FORMACIÓN

Anexo 2. Ensayos a ladrillos con mezclas óptimas.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA La Universidad Católica de Loja
---	--

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

SOLICITANTE: Luis Sánchez DIRECCIÓN: San Cayetano	INFORME: LAB-DGMIC-RM-02-15
--	------------------------------------

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE (Mezclas Óptimas)	Pág 1 de 2
--	------------

Institución: U.T.P.L. Proyecto: Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de malacatos" Constructor:	ENSAYO: Norma: NTE INEN 294:1977 Fecha: 04/04/2016 Realizado: Berenice Zúñiga T.
---	---

DATOS DE ENSAYO									
N°	Identificación de la muestra	Referencia de Laboratorio	Edad días	Largo cm	Ancho cm	Espesor cm	Carga kN	Esf Mpa	Densidad (kg/m ³)
1	RM-CS-LAD-001	15-011	30	25,67	13,12	8,61	580,5	17,24	1,59
2	RM-CS-LAD-002	15-012	30	25,83	13,24	8,46	530,2	15,52	1,59
3	RM-CS-LAD-003	15-013	30	26,47	13,26	8,56	590,2	16,81	1,53
4	RM-CS-LAD-004	15-014	30	26,00	13,18	8,40	404,5	11,81	1,58
5	RM-CS-LAD-005	15-015	30	26,04	13,05	8,48	429,3	12,64	1,54
6	RM-CS-LAD-006	15-016	30	25,99	13,15	8,50	413,5	12,10	1,54
7	RM-CS-LAD-007	15-017	30	27,15	13,27	8,40	426,2	11,83	1,56
8	RM-CS-LAD-008	15-018	30	27,00	13,27	8,41	421,1	11,75	1,55
9	RM-CS-LAD-009	15-019	30	27,10	13,32	8,39	430,3	11,92	1,55

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK	1Mpa=10kg/cm ²
--	---------------------------

TIPOS DE FALLA					
1: Doble cono	2: Cono y falla vertical	3: Falla vertical	4: Fractura diagonal	5: Fractura lateral	6: Fractura en borde

OBSERVACIONES: Las muestras, los datos de referencia, la identificación y edad de las probetas fueron proporcionados por el interesado. La prueba de cilindros se realiza en presencia del Ing. Juan Carlos Peñarreta e Ing. Diego Valdivieso. Todos los cubos presentan en una de sus caras una curvatura apreciable no pudiendo perfilar la muestra en esta cara, por lo cual se ha aplicado carga a las caras de los especímenes cúbicos que tienen superficies verdaderamente planas.

Ing. Berenice Zúñiga Torres
 Responsable de Laboratorios

MSc. Belizario Zárate Torres
 Sección Departamental de Estructuras,
 Transporte y Construcción.



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

SOLICITANTE: Luis Sánchez
DIRECCIÓN: San Cayetano

INFORME: LAB-DGMIC-RM-02-15

ENSAYO DE COPRESIÓN SIMPLE (Mezclas Óptimas)

Pág 1 de 2

Institución U.T.P.L

Proyecto: Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de malacatos"

Constructor:

ENSAYO:

Norma: NTE INEN 294:1977

Fecha: 04/04/2016

Realizado: Berenice Zúñiga T.

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Referencia de Laboratorio	Edad días	Largo cm	Ancho cm	Espesor cm	Carga kN	Esf Mpa	Densidad (kg/m3)
1	RM-CS-LAD-010	15-011	30	26,28	12,93	8,34	354,4	10,43	1,65
2	RM-CS-LAD-011	15-012	30	26,28	13,17	8,34	333	9,64	1,63
3	RM-CS-LAD-012	15-013	30	26,28	13,32	8,29	325,2	9,30	1,65
4	RM-CS-LAD-013	15-014	30	26,39	13,08	8,48	299,3	8,67	1,47
5	RM-CS-LAD-014	15-015	30	26,45	13,13	8,41	266,5	7,67	1,49
6	RM-CS-LAD-015	15-016	30	26,42	13,11	8,39	280,2	8,09	1,49

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

TIPOS DE FALLA

1: Doble cono	2: Cono y falla vertical	3: Falla vertical	4: Fractura diagonal	5: Fractura lateral	6: Fractura en borde
---------------	--------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	----------------------

OBSERVACIONES: Las muestras, los datos de referencia, la identificación y edad de las probetas fueron proporcionados por el interesado.

La prueba de cilindros se realiza en presencia del Ing. Juan Carlos Peñarreta e Ing. Diego Valdivieso.

Todos los cubos presentan en una de sus caras una curvatura apreciable no pudiendo perfilar la muestra en esta cara, por lo cual se ha aplicado carga a las caras de los especímenes cúbicos que tienen superficies verdaderamente planas

Ing. Berenice Zúñiga Torres

Responsable de Laboratorios

MSc. Belizario Zárate Torres

Sección Departamental de Estructuras,
Transporte y Construcción.



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

SOLICITANTE: Luis Sánchez
DIRECCIÓN: San Cayetano

INFORME: LAB-DGMIC-RM-02-15

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE (Mezcla Óptima)

Pág 1 de 2

Institución U.T.P.L.
Proyecto: Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de malacatos"
Constructor:

ENSAYO:
Norma: NTE INEN 294:1977
Fecha: 02/05/2016
Realizado: Berenice Zúñiga T.

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Referencia de Laboratorio	Edad días	Largo cm	Ancho cm	Espesor cm	Carga kN	Esf Mpa	Densidad (kg/m ³)
1	RM-CS-LAD-010	15-011	30	26,20	13,09	8,49	751,9	21,93	1,63
2	RM-CS-LAD-011	15-012	30	26,01	13,15	8,25	730,2	21,19	1,68
3	RM-CS-LAD-012	15-013	30	25,95	13,13	8,45	700,1	20,55	1,63
4	RM-CS-LAD-013	15-014	30	26,36	13,18	8,21	650,8	18,73	1,59
5	RM-CS-LAD-014	15-015	30	26,35	13,22	8,18	680,5	19,54	1,60
6	RM-CS-LAD-015	15-016	30	# DIV/0!	# DIV/0!	# DIV/0!	0	# DIV/0!	# DIV/0!

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

TIPOS DE FALLA

1: Doble cono	2: Cono y falla vertical	3: Falla vertical	4: Fractura diagonal	5: Fractura lateral	6: Fractura en borde
---------------	--------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	----------------------

OBSERVACIONES: Las muestras, los datos de referencia, la identificación y edad de las probetas fueron proporcionados por el interesado. La prueba de cilindros se realiza en presencia del Ing. Juan Carlos Peñarreta e Ing. Diego Valdivieso. Todos los cubos presentan en una de sus caras una curvatura apreciable no pudiendo perfilar la muestra en esta cara, por lo cual se ha aplicado carga a las caras de los especímenes cúbicos que tienen superficies verdaderamente planas



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ANEXO

CARACTERIZACIÓN CONVENCIONAL (MEZCLAS ÓPTIMAS)

SOLICIT: Luis Sánchez
DIRECCI: San Cayetano

Instituci UTPL

Proyect: Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de Malacatos"

ENSAYO: varios

Norma: Absorción, Variación dimensional y varios.

Realizado : Luis Sánchez

ID	Mezcla	Porcentaje de mezcla (%)	Absorción (%)	Densidad g/cm^3	Porosidad Abierta (%)	Capilaridad	Variación dimensional (mm)	Compresión simple (MPa)	Peso (kg)
1	MCB/MCA	80/20	21,27	1,5	21,27	0,39	7,61	20,39	4,66
2	MCB/MCH	70/30	23,83	1,41	23,83	0,03	7,7	12,18	4,49
3	MCB/MCA	60/40	22,56	1,62	22,56	0,22	8,6	16,52	4,61
4	MCB/MPL	70/30	25,43	1,8	25,43	0,28	7,31	11,83	4,69
5	MCA/MAF	90/10	25,66	1,59	25,66	0,3	5,9	9,79	4,72
6	MCB/MAF	90/10	27,89	1,51	28,34	0,33	6,2	8,15	4,32

M.Sc. Alonso Zúñiga S.
DIRECTOR DE PROYECTO
DE FIN DE TITULACIÓN

Luis Sánchez Q.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN

Anexo 3. Ensayos a ladrillos hechos a mano por productores de la región.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA La Universidad Católica de Loja								
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES									
SOLICITANTE: Luis Sánchez DIRECCIÓN: San Cayetano	INFORME: LAB-DGMIC-RM-02-15								
Pág 1 de 2									
Institución: U.T.P.L. Proyecto: Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de malacatos" Constructor:	ENSAYO: Norma: NTE INEN 294:1977 Fecha: 26/01/2016 Realizado: Berenice Zúñiga T.								
COMPRESIÓN SIMPLE PARA PRODUCTORES DE LA REGIÓN (1 Y 2)									
DATOS DE ENSAYO									
N°	Identificación de la muestra	Referencia de Laboratorio	Edad días	Largo cm	Ancho cm	Espesor cm	Carga kN	Esf Mpa	Densidad (kg/m ³)
1	RM-CS-LAD-001	15-011	30	26,51	9,65	7,56	120	4,69	2,08
2	RM-CS-LAD-002	15-012	30	26,42	9,61	7,28	137	5,42	2,32
3	RM-CS-LAD-003	15-013	30	26,23	9,49	8,01	135	5,42	2,18
4	RM-CS-LAD-004	15-014	30	26,29	9,45	7,89	134	5,39	2,26
5	RM-CS-LAD-005	15-015	30	26,44	9,64	7,95	150	5,88	2,25
6	RM-CS-LAD-006	15-016	30	27,20	13,53	7,84	136	3,69	1,47
7	RM-CS-LAD-007	15-017	30	26,95	13,43	8,07	120	3,31	1,45
8	RM-CS-LAD-008	15-018	30	26,57	13,44	8,20	164	4,59	1,46
9	RM-CS-LAD-009	15-019	30	27,09	13,35	8,10	152,5	4,22	1,47
10	RM-CS-LAD-010	15-020	30	27,10	13,43	7,88	136,9	3,76	1,50
EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK								1Mpa=10kg/cm ²	
TIPOS DE FALLA									
1: Doble cono	2: Cono y falla vertical	3: Falla vertical	4: Fractura diagonal	5: Fractura lateral	6: Fractura en borde				
OBSERVACIONES: Las muestras, los datos de referencia, la identificación y edad de las probetas fueron proporcionados por el interesado. La prueba de cilindros se realiza en presencia del Ing. Juan Carlos Peñarreta e Ing. Diego Valdivieso. Todos los cubos presentan en una de sus caras una curvatura apreciable no pudiendo perfilar la muestra en esta cara, por lo cual se ha aplicado carga a las caras de los especímenes cúbicos que tienen superficies verdaderamente planas									

Ing. Berenice Zúñiga Torres
Responsable de Laboratorios

MSc. Belizario Zárate Torres
Sección Departamental de Estructuras,
Transporte y Construcción.



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

SOLICITANTE: Luis Sánchez
DIRECCIÓN: San Cayetano

INFORME: LAB-DGMIC-RM-02-15

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE (PRODUCTORES ARTESANALES 3 Y4)

Pág 1 de 2

Institución	U.T.P.L	ENSAYO: Norma: NTE INEN 294:1977 Fecha: 26/04/2016 Realizado: Berenice Zúñiga T.
Proyecto:	Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de malacatos"	
Constructor:		

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Referencia de Laboratorio	Edad días	Largo cm	Ancho cm	Espesor cm	Carga kN	Esf Mpa	Densidad (kg/m ³)
1	RM-CS-LAD-011	15-011	30	26,49	13,35	7,98	180	5,09	1,64
2	RM-CS-LAD-012	15-012	30	26,61	13,35	7,88	178	5,04	1,68
3	RM-CS-LAD-013	15-013	30	26,58	13,34	8,10	172	4,85	1,59
4	RM-CS-LAD-014	15-014	30	26,38	13,40	8,10	220	6,22	1,64
5	RM-CS-LAD-015	15-015	30	26,46	13,35	8,01	180	5,10	1,67
6	RM-CS-LAD-016	15-016	30	26,88	13,41	7,91	155,7	4,32	1,68
7	RM-CS-LAD-017	15-017	30	26,85	13,55	8,02	182	5,00	1,66
8	RM-CS-LAD-018	15-018	30	26,89	13,56	8,13	169,3	4,65	1,62
9	RM-CS-LAD-019	15-019	30	27,07	13,66	8,15	140,8	3,81	1,59
10	RM-CS-LAD-020	15-020	30	26,73	13,29	8,23	152,3	4,29	1,57

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

TIPOS DE FALLA

1: Doble cono	2: Cono y falla vertical	3: Falla vertical	4: Fractura diagonal	5: Fractura lateral	6: Fractura en borde
---------------	--------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	----------------------

OBSERVACIONES: Las muestras, los datos de referencia, la identificación y edad de las probetas fueron proporcionados por el interesado.
La prueba de cilindros se realiza en presencia del Ing. Juan Carlos Peñarreta e Ing. Diego Valdivieso.
Todos los cubos presentan en una de sus caras una curvatura apreciable no pudiendo perfilar la muestra en esta cara, por lo cual se ha aplicado carga a las caras de los especímenes cúbicos que tienen superficies verdaderamente planas

Ing. Berenice Zúñiga Torres
Responsable de Laboratorios

MSc. Belizario Zárate Torres
Sección Departamental de Estructuras,
Transporte y Construcción.



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

SOLICITANTE: Luis Sánchez INFORME: LAB-DGMIC-RM-02-15
DIRECCIÓN: San Cayetano

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE (PRODUCTOR 5)

Pág 1 de 2

Institución U.T.P.L. ENSAYO:
Proyecto: Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de malacato" Norma: NTE INEN 294:1977
Fiscalizador: Fecha: 27/04/2016
Constructor: Realizado: Berenice Zúñiga T.

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Referencia de Laboratorio	Edad días	Largo cm	Ancho cm	Espesor cm	Carga kN	Esf Mpa	Densidad (kg/m3)
1	RM-CS-LAD-011	15-011	30	27,30	13,66	8,18	260	6,97	1,54
2	RM-CS-LAD-012	15-012	30	26,92	13,53	8,33	200	5,48	1,56
3	RM-CS-LAD-013	15-013	30	27,06	13,79	7,95	230	6,17	1,59
4	RM-CS-LAD-014	15-014	30	27,36	13,35	8,00	210	5,75	1,60
5	RM-CS-LAD-015	15-015	30	27,05	13,75	7,88	195	5,24	1,60

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

TIPOS DE FALLA

1: Doble cono	2: Cono y falla vertical	3: Falla vertical	4: Fractura diagonal	5: Fractura lateral	6: Fractura en borde
---------------	--------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	----------------------

OBSERVACIONES: Las muestras, los datos de referencia, la identificación y edad de las probetas fueron proporcionados por el interesado.
La prueba de cilindros se realiza en presencia del Ing. Juan Carlos Peñarreta e Ing. Diego Valdivieso.
Todos los cubos presentan en una de sus caras una curvatura apreciable no pudiendo perfilar la muestra en esta cara, por lo cual se ha aplicado carga a las caras de los especímenes cúbicos que tienen superficies verdaderamente planas

Ing. Berenice Zúñiga Torres
Responsable de Laboratorios

MSc. Belizario Zárate Torres
Sección Departamental de Estructuras,
Transporte y Construcción.



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO
CARACTERIZACIÓN CONVENCIONAL (MEZCLAS ÓPTIMAS)

SOLICITANTE: Luis Sánchez
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución UTPL
Proyecto: Tesis: "Optimización de las mezclas para la fabricación de ladrillos artesanales en la región de Malacatos"

ENSAYO: varios
Norma: Absorción, Variación dimensional y varios.
Realizado : Luis Sánchez

Productor	Absorción (%)	Densidad g/cm^3	Porosidad Abierta (%)	Capilaridad $g/cm^2 \cdot min^{1/2}$	Variación dimensional (mm)	Compresión simple (MPa)	Peso (kg)
P1	27,68	1,59	27,68	0,25	11,5	5,36	4,33
P2	31,88	1,41	31,88	0,31	12,8	3,92	4,27
P3	23,27	1,53	23,27	0,23	9,1	5,26	4,66
P4	27,67	1,51	27,67	0,24	7,8	4,41	4,76
P5	27,05	1,63	27,05	0,24	8,8	5,92	4,7
PROMEDIO	27,51	1,53	27,51	0,25	10	4,97	4,54

M.Sc. Alonso Zúñiga S.
DIRECTOR DE PROYECTO
DE FIN DE TITULACIÓN

Luis Sánchez Q.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN