

UNIVERSIDAD DE CUENCA



Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Química

Caracterización de arcillas y pastas usadas en la elaboración artesanal de ladrillos en la parroquia Susudel y su optimización para la fabricación de ladrillos para recubrimiento de pisos

Trabajo de titulación previo a
la obtención del título de
Ingeniera Química

Autor:

Elsa Paola Tenesaca Zhagui

C.I. 0107456444

Directora:

Ing. Quim. Sandra Catalina Peñaherrera Palacios

C.I. 0102102142

Cuenca - Ecuador

2019



RESUMEN

El presente trabajo se desarrolla como parte del proyecto “Later Eris: Creatividad y Diversificación del ladrillo de Susudel”; tiene como objetivo mejorar la dosificación de pastas, para que permitan generar nuevos diseños de ladrillos para revestimiento de pisos, basándose en la caracterización de materias primas y pastas ya usadas en la producción de ladrillos panelón. Se han caracterizado 11 arcillas y 4 pastas diferentes, mediante pruebas de humedad, granulometría, plasticidad, contracciones, absorción de agua y pH. Esta información es de utilidad al momento de inferir en el comportamiento de las arcillas dentro del diseño de mezclas.

Como un análisis previo a este diseño se elaboran prototipos usando cuatro pastas diferentes preparadas por los artesanos para la producción de ladrillos panelón dando como resultado que la pasta de Sanglia no requiere ser modificada, mientras que las de Susudel Centro, San Gerónimo y Pullcanga requieren una nueva dosificación de sus componentes, esto se realiza mediante un diseño de mezclas, para la selección de las pastas se considera el menor porcentaje de absorción de agua y el mayor módulo de resistencia a la flexión, obteniendo para la pasta Nuevo Susudel una mezcla óptima del 80% de arcilla Plástica y 20% de arcilla Arenosa; para la pasta San Gerónimo una mezcla óptima contiene 20% de arcilla Negra y un 80% de arcilla Lastre, finalmente para la pasta Pullcanga la mejor mezcla cuenta con un 16,67% de arcilla Negra, 16,66% de arcilla Roja y un 67,66% de arcilla Lastre; al final del proceso se logra conseguir piezas que permitan generar nuevos diseños de ladrillos para revestimiento de pisos.

PALABRAS CLAVES: Arcillas, Pastas, Ladrillos para pisos, Optimización, Resistencia a la flexión, Absorción de agua.



ABSTRACT

The present work is developed as part of the project "Later Eris: Creativity and Diversification of Susudel brick"; Its objective is to improve the dosage of pastes, so that they can generate new designs of bricks for floor covering, based on the characterization of raw materials and pastes already used in the production of panelboard bricks. 11 clays and 4 different pastes have been characterized, by tests of humidity, granulometry, plasticity, contractions, water absorption and pH. This information will be useful when inferring the behavior of clays in the design of mixtures.

As a preliminary analysis of this design, prototypes were made using four different pastes prepared by the artisans for the production of panel-like bricks, resulting in the fact that the Sanglia paste does not need to be modified, while those of Susudel Centro, San Gerónimo and Pullcanga require a new dosage of its components, this is done by a design of mixtures, for the selection of the pastes was considered the lowest percentage of water absorption and the highest modulus of resistance to bending, obtaining for the pasta Nuevo Susudel an optimal mix of 80 % Plastic clay and 20% Sandy clay; for the San Gerónimo paste, an optimal mixture contains 20% of Black clay and 80% of clay Lastre, finally for pulp Pullcanga the best mixture has 16.67% of Black clay, 16.66% of Red clay and a 67 , 66% clay Ballast, at the end of the process, bricks were obtained that allow the generation of new brick designs for floor covering.

KEY WORDS: Clays, Pastes, Floor bricks, Optimization, Resistance to bending, Absorption of water.



INDICE GENERAL

RESUMEN.....	2
ABSTRACT	3
CLÁUSULA DE LICENCIA Y AUTORIZACIÓN DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL.....	10
CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL.....	11
AGRADECIMIENTOS	12
DEDICATORIA.....	13
INTRODUCCIÓN.....	14
OBJETIVOS	16
OBJETIVO GENERAL.....	16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
METODOLOGIA.....	17
CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN TEÓRICA.....	18
1.1 LOS REVESTIMIENTOS DE PISO EN LA HISTORIA.....	18
1.2 DEFINICIÓN DE LADRILLO.....	19
1.2.1 LADRILLOS PARA PISO	19
1.3 MATERIAS PRIMAS USADAS PARA ELABORAR LADRILLOS CERÁMICOS	20
1.3.1 LAS ARCILLAS	20
1.3.1.1 Clasificación de las arcillas.....	20
1.3.2 LAS ARCILLAS ROJAS	21
1.3.2.1 Propiedades de las arcillas rojas	21
1.3.2.1.1 Plasticidad.....	21
1.3.2.1.2 Distribución granulométrica.....	22
1.3.2.1.3 Capacidad de absorción de agua.....	23
1.3.2.1.4 Contracción	23
1.3.2.1.5 pH de las arcillas	24
1.3.3 OTROS MATERIALES NECESARIOS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS	24
1.4 PROCESO DE OBTENCIÓN DE LADRILLOS ARTESANALES	25
1.4.1 EL SECADO	26
1.4.2 LA COCCIÓN.....	27
1.4.3 HORNOS USADOS EN FABRICACION DE LADRILLOS.....	27
1.4.4 CAMBIOS QUE OCURREN EN LAS ARCILLAS DURANTE EL PROCESO DE COCCIÓN.....	27
CAPITULO 2: LA PRODUCCIÓN LADRILLERA EN EL ECUADOR Y EN EL AZUAY	30
2.1 LOS MINERALES ARCILLOSOS EN EL PAIS	30
2.2 LA PRODUCCIÓN LADRILLERA EN EL ECUADOR	30
2.3 EL SECTOR LADRILLERO NACIONAL	31
2.4 LA PARROQUIA SUSUDEL Y LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS.....	32



- 2.4.1 LA PARROQUIA SUSUDEL.....32
- 2.4.2 LA FABRICACIÓN ARTESANAL DE LADRILLOS EN SUSUDEL.....33
- 2.5 PROCESO PRODUCTIVO ACTUAL PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS EN SUSUDEL34
 - 2.5.1 EXTRACCIÓN DE LA MATERIA PRIMA34
 - 2.5.2 SELECCIÓN Y TRATAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA35
 - 2.5.3 DOSIFICACIÓN Y MEZCLADO35
 - 2.5.4 MOLDEADO36
 - 2.5.5 SECADO36
 - 2.5.6 COCCIÓN37
 - 2.5.7 Venta y Distribución.....38
- 2.6 SITUACIÓN ACTUAL DE LA PRODUCCIÓN DE LADRILLOS EN SUSUDEL40
 - 2.6.1 NÚMERO TOTAL DE LADRILLERAS EN SUSUDEL40
 - 2.6.2 TIPOS DE LADRILLOS QUE PRODUCEN.....41
 - 2.6.3 PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE LADRILLOS PARA REVESTIMIENTO DE PISO 42
 - 2.6.4 TIEMPO PARA LA QUEMA DE LADRILLOS.....42
 - 2.6.5 ARCILLAS UTILIZADAS POR LOS ARTESANOS EN LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS.....43
 - 2.6.6 PORCENTAJES DE MEZCLAS DE LAS ARCILLAS MÁS USADAS POR LOS ARTESANOS.....44

CAPITULO 3: CARACTERIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS Y PASTAS45

- 3.1 MUESTREO DE LAS ARCILLAS Y PASTAS45
- 3.2 ANÁLISIS DE PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS48
 - 3.2.1 PROPIEDADES FÍSICAS.....48
 - 3.2.1.1 ANÁLISIS DE HUMEDAD PORCENTUAL..... 48
 - 3.2.1.2 ANALISIS GRANULOMÉTRICO 49
 - Método húmedo-seco usado para el análisis granulométrico 50
 - 3.2.1.3 Índice de plasticidad..... 61
 - 3.2.1.4 Contracción al secado..... 62
 - 3.2.1.5 Contracción a la quema..... 63
 - 3.2.1.6 Contracción total 63
 - 3.2.1.7 Porcentaje de absorción de agua y espacio poroso 64
 - 3.2.1.8 Propiedades Químicas 65
 - 3.3 ANALISIS DE RESULTADOS66

CAPITULO 4: OPTIMIZACIÓN DE PASTAS PARA LADRILLOS DE PISOS 72

- 4.1 NUEVOS DISEÑOS DE MOLDES.....72
 - 4.1.1 CRITERIOS CONSIDERADOS EN EL DISEÑO DE MOLDES E IMPRONTAS72
 - 4.1.2 MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE MOLDES 72
 - 4.1.2.1 Ventajas de usar moldes de acero en la elaboración de ladrillos de revestimiento de piso 73
 - 4.1.3 PRUEBAS CON LAS PASTA ACTUALES73
 - 4.1.4 ELABORACIÓN DE PROTOTIPOS DE LADRILLOS.....74
 - 4.1.5 CARACTERIZACIÓN CUALITATIVA DE PROTOTIPOS, DURANTE LOS PROCESOS DE OBTENCIÓN 78
 - 4.1.6 CRITERIOS TOMADOS PARA LA CALIFICACIÓN.....78
 - DURANTE LA FORMACIÓN 78
 - 4.1.6.1 DURANTE EL DESMOLDE..... 78
 - 4.1.6.2 DURANTE EL SECADO..... 78



4.1.6.3	DESPUÉS DE LA QUEMA	79
4.1.7	DISEÑO DE MEZCLAS.....	83
4.1.7.1	Diseño Simplex – Lattice	84
4.1.7.2	Planteamiento del diseño de mezclas.....	85
4.1.8	PORCENTAJES DE AGUA EN LAS PASTAS	87
4.1.8.1	Variables de Respuesta	88
4.1.8.2	Procedimiento experimental	89
4.2	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	94
4.2.1	CARACTERIZACIÓN VISUAL DE LAS PIEZAS	94
4.2.2	ABSORCIÓN DE AGUA Y RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (VARIABLES DE RESPUESTA).....	94
4.2.3	ANÁLISIS QUÍMICO.....	99
4.3	EVALUACIÓN DEL DISEÑO	100
4.3.1	Modelos matemáticos.....	100
4.3.2	SELECCIÓN DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LAS MEZCLAS.....	101
4.3.3	Validación de los modelos obtenidos	103
4.3.4	Comparación entre modelos	105
4.3.5	Superficies de respuesta	107
4.3.5.1	Superficies de Respuesta para la absorción de agua.....	108
4.3.5.2	Superficies de respuesta para resistencia a la flexión	110
CONCLUSIONES.....		111
RECOMENDACIONES.....		113
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS		114
ANEXOS		121

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Composición porcentual de una pasta para la elaboración de ladrillos.....	25
Tabla 2.	Datos del sector ladrillero Ecuatoriano.....	31
Tabla 3.	Datos del sector ladrillero en la provincia del Azuay	32
Tabla 4.	Porcentajes de mezclas para las arcillas	44
Tabla 5.	Porcentajes de mezclas de las arcillas.....	46
Tabla 6.	Número de ladrilleras en las Comunidades de Susudel	46
Tabla 7.	Muestras de arcillas recolectadas para el análisis físico y químico	47
Tabla 8.	Porcentajes de humedad de las arcillas en estudio.....	49
Tabla 9.	Porcentajes de humedad para cada una de las pastas de las cuatro comunidades en estudio	49
Tabla 10.	Clasificación mineralógica para las arcillas	50
Tabla 11.	Clasificación de Seger para las arcillas	50
Tabla 12.	Número de tamiz con su respectiva abertura	50
Tabla 13.	Distribución Granulométrica para las arcillas de Pullcanga (Negra)	51
Tabla 14.	Distribución Granulométrica para las arcillas de Pullcanga (Roja).....	51
Tabla 15.	Distribución Granulométrica para las arcillas de Pullcanga (Lastre)	52
Tabla 16.	Distribución Granulométrica para las arcillas de San Gerónimo (Negra)	53
Tabla 17.	Distribución Granulométrica para las arcillas de San Gerónimo (Lastre).....	53



Tabla 18. Distribución Granulométrica para las arcillas de Nuevo Susudel (Plástica) 54

Tabla 19. Distribución Granulométrica para las arcillas de Nuevo Susudel (Arenosa)..... 55

Tabla 20. Distribución Granulométrica para las arcillas de Sanglia (Roja) 56

Tabla 21. Distribución Granulométrica para las arcillas de Sanglia (Blanca) 56

Tabla 22. Distribución Granulométrica para las arcillas de Sanglia (Lastre) 57

Tabla 23. Distribución Granulométrica para las arcillas de Sanglia (Arenosa)..... 57

Tabla 24. Distribución Granulométrica para la pasta de Pullcanga 58

Tabla 25. Distribución Granulométrica para la pasta de San Gerónimo 59

Tabla 26. Distribución Granulométrica para la pasta de Nuevo Susudel 59

Tabla 27. Distribución Granulométrica para la pasta de Sanglia 60

Tabla 28. Índice de Plasticidad para las arcillas 62

Tabla 29. Índice de Plasticidad para las pastas en estudio 62

Tabla 30. Porcentajes de contracción (al secado, a la quema y total) para las arcillas..... 63

Tabla 31. Porcentajes de contracción (al secado, a la quema y total) para las pastas analizadas..... 64

Tabla 32. Porcentajes de absorción de agua para las arcillas de Pullcanga 65

Tabla 33. Porcentajes de absorción de agua para las pastas en análisis..... 65

Tabla 34. pH de cada una de las arcillas 66

Tabla 35. pH para cada una de las pastas de las cuatro comunidades..... 66

Tabla 36. Caracterización de las arcillas 69

Tabla 37. Caracterización de las pastas 70

Tabla 38. Escala de Puntaje..... 78

Tabla 39. Calificación para cada uno de los prototipos 80

Tabla 40. Matriz de experimentos para una pasta de dos componentes..... 86

Tabla 41. Matriz de experimentos para una pasta de tres componentes..... 86

Tabla 42. Porcentaje de agua para cada uno de los experimentos..... 87

Tabla 43. Ciclo de quema para las muestras de ladrillo de revestimiento de piso 92

Tabla 44. Caracterización visual de las piezas 94

Tabla 45. Absorción de agua y Resistencia a la Flexión para los experimentos de la pasta Nuevo Susudel..... 95

Tabla 46. Absorción de agua y Resistencia a la Flexión para los experimentos de la pasta San Gerónimo..... 95

Tabla 47. Absorción de Agua y Resistencia a la Flexión para los experimentos de la pasta Pullcanga 96

Tabla 48. Clasificación de las Baldosas Cerámicas de acuerdo a la Norma INEN 97

Tabla 49. Requisitos del módulo de rotura para baldosas del Grupo AIII 98

Tabla 50. Análisis químico para las arcillas de Nuevo Susudel..... 99

Tabla 51. Análisis químico para las arcillas de San Gerónimo 99

Tabla 52. Análisis químico para las arcillas de Pullcanga 99

Tabla 53. Análisis Químico racional de las arcillas 100

Tabla 54. Modelos matemáticos de primer, segundo y tercer orden para la absorción de agua..... 102

Tabla 55. Modelos matemáticos de primer, segundo y tercer orden para la resistencia a la flexión 102

Tabla 56. Análisis de varianza para la absorción de agua (Nuevo Susudel) 103

Tabla 57. Análisis de varianza para la absorción de agua (San Gerónimo) 103

Tabla 58. Análisis de varianza para la absorción de agua (Pullcanga)..... 104



Tabla 59. Análisis de varianza para la resistencia a la flexión(Nuevo Susudel)..... 104
Tabla 60. Análisis de varianza para la resistencia a la flexión(San Gerónimo)..... 104
Tabla 61. Análisis de varianza para la resistencia a la flexión(Pullcanga) 104
Tabla 62. Comparación entre los modelos de 1er, 2do y 3er orden por medio de la prueba F (Nuevo Susudel) 105
Tabla 63. Comparación entre los modelos de 1er, 2do y 3er orden por medio de la prueba F (San Gerónimo) 106
Tabla 64. Comparación entre los modelos de 1er, 2do y 3er orden por medio de la prueba F (Pullcanga)..... 106

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Proceso general para la elaboración de ladrillos 26
Gráfica 2. Porcentaje de producción de ladrillos en el Ecuador 31
Gráfica 3. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de ladrillos panelón..... 39
Gráfica 4. Número de ladrilleras existentes en Susudel..... 40
Gráfica 5. Artesanos que elaboran ladrillos para piso 41
Gráfica 6. Tipos de ladrillos para revestimiento de piso 41
Gráfica 7. Tiempos de quema en los hornos artesanales 42
Gráfica 8. Formas de obtención de la materia prima (arcillas) 43
Gráfica 9. Tipos de arcillas usadas 43
Gráfica 10. Curvas de Distribución Granulométrica de las arcillas de Pullcanga 52
Gráfica 11. Curvas de Distribución Granulométrica para las arcillas de San Gerónimo..... 54
Gráfica 12. Curvas de Distribución Granulométrica para las arcillas de Nuevo Susudel ... 55
Gráfica 13. Curvas de Distribución Granulométrica para cada una de las arcillas de Sanglia 58
Gráfica 14. Curvas de Distribución Granulométrica para las pastas en estudio 60
Gráfica 15. Límites de Atterberg 61
Gráfica 16. Diagrama de flujo para la elaboración de prototipos 77
Gráfica 17. Representación de los factores espaciales para diferentes componentes de mezcla 84
Gráfica 18. Diseño Simplex Lattice (3,2) Aumentado..... 85
Gráfica 19. Ciclo de quema para las muestras de ladrillo de revestimiento de piso 93
Gráfica 20. Superficie de respuesta para la absorción de agua de la pasta Nuevo Susudel 108
Gráfica 21. Superficie de respuesta para la absorción de agua de la pasta San Gerónimo 108
Gráfica 22. Superficie de respuesta para la absorción de agua de la pasta Pullcanga.... 109
Gráfica 23. Superficie de respuesta para la resistencia a la flexión de la pasta Nuevo Susudel..... 110
Gráfica 24. Superficie de respuesta para la resistencia a la flexión de la pasta San Gerónimo 110
Gráfica 25. Superficie de respuesta para la resistencia a la flexión de la pasta Pullcanga 111



INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Revestimiento de piedra y ladrillo	19
Ilustración 2. Mosaico de ladrillo de piso	19
Ilustración 3. Horno usado en las ladrilleras artesanales	27
Ilustración 4. Mapa Cartográfico de la Parroquia Susudel.....	33
Ilustración 5. Comunidad de Susudel, provincia del Azuay	34
Ilustración 6. Mezclado y formación de la pasta.....	35
Ilustración 7. Moldeado de ladrillos panelón	36
Ilustración 8. Secado al ambiente de ladrillos panelón.....	37
Ilustración 9. Quema de ladrillos en un horno rectangular	38
Ilustración 10. Mapa que representa la toma de muestras de la parroquia Susudel.....	47
Ilustración 11. Molde hexagonal	74
Ilustración 12. Molde de chacana	74
Ilustración 13. Pieza prototipo hexagonal	75
Ilustración 14. Pieza prototipo chacana	75
Ilustración 15. Secado de los prototipos	76
Ilustración 16. Muestras completamente secas listas para ingresar al horno	76
Ilustración 17. Prototipos con grietas(San Gerónimo).....	81
Ilustración 18. Prototipos con grietas (Nuevo Susudel).....	81
Ilustración 19. Prototipos con grietas (Pullcanga)	81
Ilustración 20. Prototipos sin imperfecciones (Sanglia)	82
Ilustración 21. Molde de madera contrachapada	82
Ilustración 22. Prototipo usando moldes de madera	82
Ilustración 23. Molde Orgánico	88
Ilustración 24. Molde chacana de 4 lados.....	88
Ilustración 25. Pesaje de las arcillas	89
Ilustración 26. Consistencia adecuada de las pastas.....	90
Ilustración 27. Moldes listos para la fabricación de ladrillos	90
Ilustración 28. Moldeo de los ladrillos para piso.....	91
Ilustración 29. Ladrillos para piso recientemente formados.....	91
Ilustración 30. Secado de las piezas a temperatura ambiente	91
Ilustración 31. Pulido y eliminación de rebabas	92
Ilustración 32. Horno cargado con piezas quemadas.....	93
Ilustración 33. Ladrillos para revestimiento de piso quemados	93



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio
Institucional

Elsa Paola Tenesaca Zhagüi en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Caracterización de arcillas y pastas usadas en la elaboración artesanal de ladrillos en la parroquia Susudel y su optimización para fabricación de ladrillos para recubrimiento de pisos", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 04 de Enero de 2019

Elsa Paola Tenesaca Zhagüi

C.I: 0107456444



Cláusula de Propiedad Intelectual

Elsa Paola Tenesaca Zhagüi, autora del trabajo de titulación "Caracterización de arcillas y pastas usadas en la elaboración artesanal de ladrillos en la parroquia Susudel y su optimización para fabricación de ladrillos para recubrimiento de pisos", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 04 de Enero de 2019


Elsa Paola Tenesaca Zhagüi

C.I: 0107456444



AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primero, al buen pastor, Dios, quien ha sido mi luz y mi guía cuando existía oscuridad en el largo camino que he recorrido, por darme una familia y unos amigos tan especiales.

A mis padres por ser un ejemplo a seguir y enseñarme el significado de la perseverancia y la paciencia.

A mis profesores, quienes durante toda mi vida estudiantil supieron impartir sus conocimientos con cariño y dedicación, sin descuidar el lado humano. A todos aquellos que han colaborado en mi formación profesional y personal.

Un agradecimiento especial, a mí Directora de Tesis, Ing. Catalina Peñaherrera, por compartir conmigo sus conocimientos y experiencias que han permitido la realización de este proyecto. Gracias por sus consejos, paciencia y tiempo.

A la Doctora María Elena Cazar, por compartir sus conocimientos y su tiempo.

A todos los miembros del proyecto "Later Eris: Creatividad y Diversificación del ladrillo de Susudel", gracias por dejarme formar parte de este gran propósito que me ha permitido adquirir nuevos conocimientos y compartir con personas dispuestas a trabajar por los demás.

A los artesanos de la parroquia Susudel, mil gracias por compartir sus conocimientos y experiencias, que fueron una parte fundamental para el desarrollo de este proyecto.

Al arquitecto Edison Castillo, responsable del laboratorio de Construcciones y Aplicaciones Bioclimáticas de la Facultad de Arquitectura, gracias por su amistad y por compartir sus conocimientos para la realización de este proyecto.

A mis amigos, gracias por hacer cada clase más amena y divertida, y por ser un gran apoyo a nivel académico y personal.

Finalmente mi gratitud a todas las personas que me brindaron su apoyo y ayuda durante la realización de este trabajo.



DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a Dios, quien me ha brindado la sabiduría y la fortaleza, para conseguir todos los propósitos que me he planteado, por ser mi guía y recorrer este camino junto a mí.

A las personas más especiales, mis ángeles de la guarda, mi hermano Geovanny y abuelita María Luz de quienes tengo muy presente sus consejos y que desde el cielo me continúan guiando y cuidado.

A mi padre, Deifilio, quien supo enseñarme a trabajar duro por lo que se quiere conseguir, por apoyarme incondicionalmente en las decisiones que he tomado y que muchas veces no fueron las correctas, por cada sacrificio que ha hecho y por estar presente en cada una de las etapas de mi vida. A mi madre, Rosario, quien ha sido mi ejemplo a seguir, por ser ese ser incondicional, pendiente de los suyos, por enseñarme el valor de las cosas, y por trabajar inalcanzablemente y nunca darse por vencida. Gracias por la estupenda educación que me brindaron y por ser mi pilar fundamental.

A Christian y Daniela, hermanos y amigos, por hacer cada día mejor que el anterior con sus locuras y ocurrencias, gracias, por su apoyo y ayuda incondicional que han hecho que cada vez trate de ser una mejor persona.

Y a todas esas personas que quiero y aprecio...



INTRODUCCIÓN

Desde tiempos antiguos las arcillas han sido usadas por el hombre en varias actividades, primordialmente dentro de la industria de la construcción, es así que en estas últimas décadas su importancia económica es muy elevada (Flores, 2004), un claro ejemplo de esto es la producción artesanal de ladrillos que abastece de materias primas fundamentales para la construcción, por las ventajas que presentan como, durabilidad, altas resistencias físicas, químicas y mecánicas. (Vieira, Holanda, & Pinatti, 2000). Desde la antigüedad, los ladrillos para revestimiento de piso han sido usados en casas coloniales con un significado de poder político, económico y religioso (Martín, 2003), pero en la actualidad su uso es cada vez menor por la falta de diseños innovadores, baja promoción en el mercado, siendo reemplazados por madera, mármol, cemento o baldosas cerámicas.

Las arcillas que encontramos en la parroquia Susudel cuentan con características como plasticidad, permeabilidad, capacidad de absorción de agua, color luego de la quema, propiedades aprovechadas de buena manera por los artesanos, que hace varios años se dedican a la elaboración, venta y distribución principalmente de ladrillo panelón (Cabo, 2011). De acuerdo con el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial-Susudel 2014-2019, el 23% de la población se dedica a la elaboración de este tipo de ladrillo, pocos son los artesanos que producen ladrillos para revestimiento de piso con formas rectangulares o hexagonales, conocidos como ladrillos de obra (Naula, 2014).

La producción de ladrillos desarrollada en Susudel enfrenta dificultades como monoproducción y escasez de mercado, situaciones que han llevado a los artesanos a conformarse con pocas ventas y escasas ganancias, ocasionando que el producto pierda competitividad en el mercado por la elevada oferta y poca demanda. Estas problemáticas han despertado el interés en desarrollar alternativas que incidan directamente en la producción, calidad y diversidad de los productos. Es así que por medio de proyecto "Later Eris: Creatividad y Diversificación del ladrillo de Susudel", el cual cuenta con la colaboración de las Facultades de Arquitectura y Urbanismo, Artes y Ciencias Químicas, se busca estimular la multiplicidad de formas y usos del ladrillo, con la propuesta de realizar nuevos diseños de ladrillos para revestimiento de pisos.



Como parte de este proyecto se realizó el presente trabajo de titulación de la carrera de Ingeniería Química con él que se mejoró las pastas usadas actualmente por los artesanos de la zona en la elaboración de ladrillos panelón, previo a una caracterización de materias primas y pastas, con la cual se obtuvieron ladrillos para revestimiento de piso con nuevos formas y diseños, y que cumplen con porcentajes de absorción de agua de acuerdo a la norma NTE INEN 644 y mejor resistencia a la flexión, contribuyendo de esta forma al desarrollo de las ladrilleras en Susudel.



OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Mejorar la dosificación de pastas, para que permitan generar nuevos diseños de ladrillos para revestimiento de pisos, basándose en la caracterización de materias primas y pastas ya usadas en la producción de ladrillos panelón.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las principales materias primas usadas en la producción de ladrillos y su procedencia.
- Identificar las etapas y condiciones actuales de producción de ladrillos.
- Caracterizar las materias primas y pastas usadas en la producción de ladrillos panelón, por medio de pruebas de medición de humedad, pH, granulometría, plasticidad, porcentajes de contracción y absorción de agua.
- Optimizar tres diferentes pastas que permitan obtener ladrillos de revestimiento de piso con nuevos modelos y propiedades físicas y mecánicas mejoradas.
- Determinar el porcentaje de absorción de agua y la resistencia a la flexión de acuerdo con las normas INEN 296 Y 295 respectivamente, tomadas como referencia para la comprobación de la calidad del producto final.

METODOLOGIA

Para el cumplimiento de los objetivos planteados, esta investigación se desarrolló en dos etapas: la primera etapa estuvo enmarcada en caracterizar las materias primas y las pastas por medio de análisis físicos y químicos, y la segunda abordó una evaluación previa de los prototipos y la experimentación en base al diseño de mezclas para optimizar las pastas que lo requieran.

Las pruebas de caracterización de las materias primas permitieron inferir en las características que mostraron las arcillas dentro de cada uno de los experimentos planteados por el diseño de mezclas. La caracterización de arcillas y pastas usadas en la elaboración artesanal de ladrillos en la parroquia Susudel y su optimización para la fabricación de ladrillos para recubrimiento de pisos se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Cerámica de la Universidad de Cuenca, campus Balzay y en el Laboratorio de Construcciones y Aplicaciones Bioclimáticas de la Facultad de Arquitectura.

La caracterización de las materias primas y pastas se realizó por medio de análisis de humedad, plasticidad, contracciones, absorción de agua y pH. Mientras que para el diseño de mezclas se utilizó un diseño Simplex-Lattice cuando se trabajó con dos variables, mientras que para el diseño con tres variables se utilizó un diseño Simplex-Aumentado, las variables de respuesta fueron la caracterización visual (variable cualitativa), absorción de agua y resistencia a la flexión (variables numéricas).

Cabe recalcar que los ensayos de humedad, se realizaron en una estufa marca Quincy Lab Inc., la plasticidad se ejecutó por medio del método Casa Grande, y para la determinación del pH se utilizó un potenciómetro marca BOECO Germany, pH meter BT 600. Las pruebas de flexión se efectuaron usando un equipo conocido como Prensa ACCU TEK 250 de la marca ELE International.

Por medio del programa STATGRAPHICS y un análisis de varianza se pudo evaluar los modelos matemáticos de primer, segundo y tercer orden que se generaron al realizar el diseño de mezclas.

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN TEÓRICA

1.1 LOS REVESTIMIENTOS DE PISO EN LA HISTORIA

La historia de los recubrimientos cerámicos se remonta a principios de nuestra civilización y han estado siempre relacionados con el deseo del hombre de combinar la belleza, la utilidad y la funcionalidad. Los recubrimientos cerámicos ya eran usados desde siglos antes de Cristo, los arqueólogos han encontrado en el valle del Nilo piezas de recubrimiento como lozas esmaltadas y cocidas con más de 12000 años de antigüedad (Cuellar, 2000).

Una de las primeras civilizaciones en desarrollar los recubrimientos cerámicos fue Mesopotamia, donde la materia prima usada estaba formada de arcilla y arena, y por su complejidad y costo eran reservados para los revestimientos exteriores y las construcciones de lujo (Cultrone, 2004), mientras que los Persas ya decoraban sus recubrimientos esmaltados y los ladrillos que usaban para embellecer sus construcciones. Los Sarracenos quienes no eran ni constructores ni fabricantes de recubrimientos, al conquistar Persia, se convirtieron en grandes decoradores y usaron los recubrimientos por razones de belleza y durabilidad, desarrollando así recubrimientos con diseños geométricos, varios patrones y colores (Cuellar, 2000).

Cuando los Sarracenos (Moros) conquistaron España, la elaboración de los recubrimientos se vio influenciado por el estilo de decoración español. El comercio avanzado entre España e Italia ayudó al desarrollo del arte de la elaboración de recubrimientos, los italianos asimilaron los conceptos, y rápidamente surgieron figuras como *Luca della Robbia*, cuyo trabajo, inspirado en temas religiosos, aún sigue vigente (Restrepo, 2011). Por muchos siglos el revestimiento cerámico fue sinónimo de lujo; vistosos murales brillantemente coloreados, los ladrillos de recubrimientos acicalaban las fachadas de templos, casas, palacios, puentes, caminos y las paredes de las ciudades ancestrales (Rosales, 2004).

Actualmente España e Italia son considerados los máximos exponentes en producción, diseño e innovación de la industria de recubrimientos cerámicos (Cuellar, 2000).

En América, el arte de la fabricación de recubrimientos fue traído por los españoles durante la conquista y una de sus más importantes expresiones fue la Talavera, en donde manualmente eran decorados los recubrimientos con colores vivos e intensos (Restrepo, 2011).



Ilustración 1. Revestimiento de piedra y ladrillo

Fuente: <https://www.pinterest.es/pin/464574517783981638/>



Ilustración 2. Mosaico de ladrillo de piso

Fuente: <https://www.pinterest.es/pin/528047125049086585/>

1.2 DEFINICIÓN DE LADRILLO

La norma NTE-INEN 293-1997 define al ladrillo como “pieza de arcilla moldeada y cocida en forma de paralelepípedo o prisma regular, que se emplea en albañilería”. Se denomina ladrillo al elemento usado en la construcción fabricado a partir de arcilla o tierra arcillosa, en algunas ocasiones con adición de otros materiales, de consistencia permanente y que al secarse no presenta grietas, nódulos o deformaciones (Gavilanes & Santellán, 2016). Su forma común y más conocida es de un paralelepípedo de seis caras, permitiendo levantar muros y otras estructuras (Álvarez, 2012). Los ladrillos se obtienen por un proceso de moldeo, secado y cocción al rojo a una temperatura mínima de 800°C, consiguiendo un producto más homogéneo, de color rojizo, con resistencia uniforme, y que al ser golpeado con un material duro emite un sonido metálico (Gavilanes & Santellán, 2016).

1.2.1 LADRILLOS PARA PISO

Conocidos también como ladrillos de obra, debido a que su producción es limitada, discontinua, de pocas unidades y de manera artesanal, sus formas pueden ser muy variadas desde superficies cuadradas, hexagonales hasta figuras muy complejas, si se los compara con los ladrillos de pared, presentan características diferentes y que únicamente coinciden en el aspecto rústico y el elevado porcentaje de absorción de



agua. Sus particularidades los hacen especiales y casi exclusivamente para edificaciones que buscan rusticidad (Restrepo, 2011). El cuerpo es de color térreo con variación de tonalidades, de grano heterogéneo apreciables a simple vista, poros, incrustaciones, la superficie de cara vista y las aristas tienen irregularidades propias de esta variedad (Account, 2002). Son muy resistentes a la luz solar, conservan el color a lo largo del tiempo, resisten a los golpes y a los cambios de temperatura (Alteret Cerámicas, 2016).

1.3 MATERIAS PRIMAS USADAS PARA ELABORAR LADRILLOS CERÁMICOS

1.3.1 LAS ARCILLAS

Las arcillas son uno de los materiales más abundantes en la naturaleza y una de las bases para la elaboración de productos cerámicos entre ellos la fabricación de ladrillos, elementos importantes dentro de la industria de la construcción (Lema, 2015). Las arcillas son depósitos térreos, formados por material granuloso muy fino, cuyas partículas son de tamaño inferior a $2\mu\text{m}$. Son minerales de aluminosilicatos hidratados y cristalinos (Besoain, 1985), las cuales presentan propiedades plásticas con cantidades apropiadas de agua y con endurecimiento al secado y sobre todo a la quema (Palacios, 2005).

1.3.1.1 Clasificación de las arcillas

Existen muchas formas de clasificar a las arcillas, ya sea desde el punto de vista mineralógico, geológico, por su composición química, color, temperatura de cocción, porosidad después de la cocción y por sus aplicaciones industriales (Astudillo & Avilés, 2005). Desde el punto de vista de las aplicaciones de los materiales se pueden clasificar a las arcillas industriales de la siguiente manera:

- Arcillas rojas de calcinación
- Arcillas blancas de calcinación
 - Caolines (residuales o sedimentarios)
 - Arcillas grasas (Arévalo, 2005)
- Arcillas refractarias
 - Caolines sedimentarios
 - Arcillas refractarias
 - Arcillas de alto contenido de alúmina
- Arcillas de productos arcillosos pesados
- Arcillas para gres



- Arcillas fácilmente fusibles (Astudillo & Avilés, 2005)

En el presente trabajo serán utilizadas las arcillas rojas, que son manejadas especialmente en cerámica industrial (pavimentos, revestimientos) y alfarería (Baltuille, 2009).

1.3.2 LAS ARCILLAS ROJAS

Estas arcillas se encuentran distribuidas ampliamente en la naturaleza, son de bajo costo, su composición es muy variable, de grano bastante fino y su color puede variar entre café rojizo brillante a color chocolate, su color proviene comúnmente de sus componentes férricos, ya que contiene Fe_2O_3 en un elevado porcentaje, además otros minerales que le acompañan son magnetita, goethita y pirita (Bernal, Cabezas, Espitia, Mojica, & Quintero, 2003).

1.3.2.1 Propiedades de las arcillas rojas

Algunas características propias de estas arcillas se enumeran a continuación:

1. El color es muy variable van desde amarillas, pardas, rojizas hasta cafés.
2. Al moldearlas con agua y cortarlas poseen una superficie brillante.
3. Estas arcillas poseen alrededor del 3 al 8 % de óxido de hierro.
4. Al ser mezcladas con agua, forman masas muy plásticas pudiendo contener hasta un 30% en peso de agua.
5. Las contracción al secado varía desde 4.8 a 9.6% (Morales, 2005).
6. El punto de fusión de estas arcillas se encuentran entre 1150°C y 1300°C. Por la presencia de óxido de hierro el color tras la cocción en atmósfera oxidante es rojizo, y en atmósfera reductora da un color más pardo y si existe presencia de cal provoca un color más pálido (Morales, 2005).
7. Luego de la cocción la pieza cerámica sufre una disminución de su peso y tamaño. El material cocido es poroso, con una absorción de agua que dependerá tanto de la temperatura a la que fue quemada como de la granulometría del material (Bruguera, 1984).

1.3.2.1.1 Plasticidad

“La plasticidad es una propiedad básica de la arcilla que permite la conformación de una pasta plástica, cuando se somete a la acción de una fuerza, se deforma y conserva esta forma perfectamente después del cese de la aplicación de la fuerza” (Fenili et al., 2004). La plasticidad indica la cantidad de agua que necesita una arcilla para formar una pasta que sea fácilmente moldeable y que mantenga esa forma, mientras que cuando la arcilla está seca no es plástica y se disgrega fácilmente (Alvarez & Chacho, 2015).



Según Singer & Singer, 1979, la plasticidad está ligada con las relaciones físico-químicas entre las partículas coloidales de la arcilla y el agua, o de aquellas entre sí, siendo afectada por los siguientes factores:

- Composición mineralógica
- Tamaño de partículas y distribución de tamaños
- Capacidad de cambio de catión, cationes y pH
- Tensión superficial del agua

Uno de los métodos más sencillos para determinar tal propiedad es el de los límites de Atterberg. (Santos, Malagón, & Córdoba, 2011)

- Límite líquido (LL): Punto de paso del estado líquido al estado plástico, se determina por la cantidad de agua que contiene un material en el momento que pierde la fluidez y la capacidad de escurrirse como un líquido denso. (Sembenelli, 1966)
- Límite plástico (LP): Es el punto de paso del estado plástico al estado de semisólido, y se mide por la cantidad de agua que contiene un material en el momento que pierde la plasticidad y que no puede ser moldeado. (Sembenelli, 1966)
- Índice de plasticidad: El estado plástico se presenta en un rango estrecho de humedades, comprendidas entre los límites líquido y plástico. Este rango genera el Índice de Plasticidad "IP", que es la diferencia de valores entre el límite líquido y el límite plástico (Duque, 2017), el índice de plasticidad nos indica el intervalo de trabajabilidad de la pasta cerámica (Santos, Malagón, & Córdoba, 2011).

1.3.2.1.2 Distribución granulométrica

Característica de suma importancia, dado que de ella va a depender el grado de empaquetamiento de las partículas y, por tanto, las propiedades físico-mecánicas de los cerámicos (porosidad, absorción de agua, resistencia a la flexión, etc.). Por otro lado, la distribución granulométrica permite predecir el carácter plástico o desgrasante de la arcilla, teniendo en cuenta que el material arcilloso tiene tamaños de partículas pequeños, del orden de unas pocas micras, mientras que la fracción desengrasante o arenosa tiene un tamaño de partícula mucho mayor (García, Ibarra, & López, 2013).

Cada arcilla posee una granulometría propia que difiere de otras arcillas, esta propiedad depende de varios factores como la dimensión de las partículas de caolinita, materiales



procedentes de la roca madre o añadidos durante el desplazamiento o la sedimentación (Lema, 2015).

1.3.2.1.3 Capacidad de absorción de agua

Según Inga & Saetama, 2009, la capacidad de absorción de agua se define como “ La cantidad de agua que puede retener una arcilla o una pasta cerámica luego de la cocción”, y esta capacidad se relaciona directamente con la porosidad y la superficie específica con la que cuenta la arcilla. La cantidad de agua que pueda absorber la arcilla depende del volumen no ocupado por las partículas sólidas, poros, que contiene la arcilla y en los cuales se sitúan las moléculas de agua (Scalone, 2012).

La capacidad que tienen las arcillas quemadas de absorber agua influye en algunas características finales de la pieza, como la consistencia física y la durabilidad, si la absorción de agua es elevada se presentan cambios volumétricos significativos o permeabilidad alta a la penetración del agua y puede causar decoloraciones en la pieza cerámica (García, Guerrero, & Monroy, 2014), así también durante la etapa de cocción ocurre la disminución de la porosidad del material (absorción de agua), ocasionando que la densidad aumente y se mejore la resistencia mecánica del mismo, la absorción de agua es un referente del grado de vitrificación y depende de la temperatura de cocción y del tiempo, así como de la composición del cuerpo; la temperatura a la cual se forma la fase líquida disminuye al adicionar fundentes, tales como los feldespatos (Muñoz, Muñoz, Mancill, & Rodríguez, 2007). Por lo que es necesario conocer la capacidad de absorción de agua del producto cerámico cuando se somete continuamente a grandes cantidades de agua (Guerrero, Espinel, & Sánchez, 2017).

1.3.2.1.4 Contracción

Esta propiedad definirá el tamaño final de la pieza cerámica, el porcentaje de contracción de las arcillas es propia de cada una y para poder predecir la contracción final de un ladrillo es necesario conocer la contracción de las arcillas que forman la pasta y de la pasta en sí. Si bien existen arcillas que presentan un contracción del 10% sin deformarse durante el proceso de secado y quema, sin presentar trizaduras ni roturas, esto no es común, y se da cuando las arcillas presentan capilaridad ideal, por lo que Zea, 2005 recomienda, que los valores de contracción total de una arcilla usada en la elaboración de ladrillos debe estar entre el 1% y 6%, si se tiene arcillas con un mayor porcentaje de contracción, se debe mezclar con arcillas magras. La contracción en una pieza cerámica se produce durante dos etapas:

- Durante el secado ambiental y hasta 110°C.



- Durante el proceso de quema que va desde 110°C hasta 1000°C, que corresponde a la temperatura de cocción más elevada para ladrillos artesanales (Zea, 2005).

1.3.2.1.5 pH de las arcillas

El pH es la medida de acidez o de alcalinidad de una solución. El pH es la concentración de iones o cationes hidrógeno [H⁺] presentes en determinada sustancia (Mansilla, 2013). El pH es un parámetro fundamental dentro de la industria cerámica, es así que cambios en el mismo ejercen una marcada influencia en la plasticidad. Muchas arcillas naturales rojas para ladrillos presentan una elevada acidez, mientras que los caolines presentan elevada alcalinidad (Deleg, 2010).

1.3.3 OTROS MATERIALES NECESARIOS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS

Como en todo proceso cerámico, en la elaboración de ladrillos se forma una pasta, que es la mezcla de materiales arcillosos (plásticos), desengrasantes y fundentes. Según Galabru 1977, una buena pasta para obtener ladrillos debe presentar la siguiente composición:

Tabla 1. Composición porcentual de una pasta para la elaboración de ladrillos

Caolinita	25-30%
Arena cuarzosa	50-70%
Óxido de hierro	5-10%
Cal	0-20%

Fuente: (Galabru, 1977)

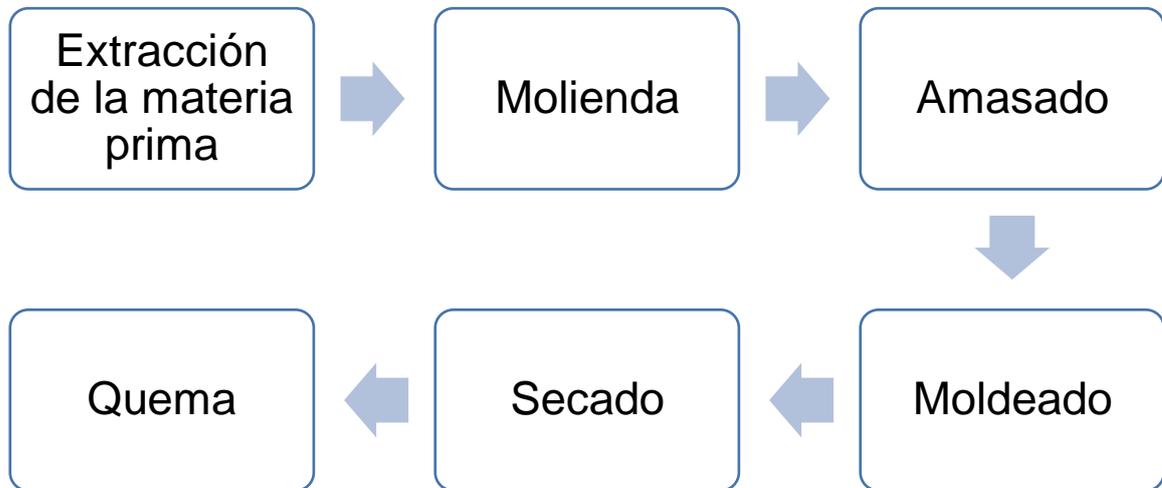
- En la pasta cerámica, las arcillas son las responsables de la formación de la pieza por la plasticidad que presenta al igual que la resistencia en verde lo que permiten la manipulación de las piezas en los proceso de secado y quema (Galán & Aparicio, 2005).
- La arena que puede ser silíceas y de grano fino, es el material desengrasante cuya función es la de disminuir la elevada plasticidad de las arcillas, facilitando la desecación, brindando mayor cohesión y evitando el agrietamiento de la pieza cerámica durante la cocción. Puede servir como desengrasante cualquier material que no pierda volumen durante la cocción (Heras, 1992).
- El óxido de calcio actúa como fundente, es decir que durante la cocción funde a menor temperatura que los otros componentes, reaccionado con ellos para formar vidrio, lo que proporciona al producto quemado resistencia a la flexión, además de permitir la reducción de la temperatura de cocción. Es recomendable porcentajes menores al 25%, ya que cantidades mayores provocarán un exceso de CO₂ y un hinchamiento en las piezas (Pullaguari, 2017).
- El óxido de hierro además de actuar como fundente, mejora la resistencia a la compresión luego de la cocción y aporta el color rojo.

Tanto el carbonato de calcio y el hierro cuando no se encuentran en cantidades excesivas durante la cocción, provocan la vitrificación de las piezas, haciendo que los ladrillos sean más resistentes a la abrasión, al ataque químico y al impacto. (Flores, 2004).

1.4 PROCESO DE OBTENCIÓN DE LADRILLOS ARTESANALES

Por lo general un proceso cerámico consiste en transformar la pasta cerámica (mezcla de las materias primas), en un producto con características diferentes a las iniciales. Estos productos obtenidos pueden ser muy básicos desde ladrillos y tejas artesanales pasando por las baldosas, vajillas, sanitarios, etc., hasta productos complejos y con características especiales como los nuevos materiales cerámicos.

El gráfico que se presenta a continuación nos muestra brevemente el proceso de fabricación de ladrillos, en el capítulo 2 se describe a detalle la elaboración de ladrillos en la parroquia Susudel.



Gráfica 1. Proceso general para la elaboración de ladrillos
Fuente: (Galabru, 1977)

El secado y quema son las etapas críticas del proceso productivo ya que en éstas tienen lugar deformaciones, trizaduras y roturas que llevan a la pérdida de las piezas.

1.4.1 EL SECADO

En el proceso de secado se produce una disminución en el volumen de la pieza, proporcional al agua eliminada, se incrementa la resistencia mecánica, la densidad y rigidez, al mismo tiempo que aumenta la fragilidad (Guasumba, Olmedo, & Paguay, 2014). El proceso de secado se produce en dos fases:

- **Etapa 1:** La velocidad de secado es constante y rápida, debido a que el agua de la superficie de la arcilla se evapora en el aire circundante; y el agua interior emigra, por acción capilar hacia la superficie para remplazarla (Deleg, 2010).
- **Etapa 2:** El contenido de humedad se ha reducido hasta que los granos cerámicos han quedado en contacto, aquí puede presentarse poca o ninguna contracción. La contracción en el secado va a depender básicamente de la cantidad de agua que contiene la pasta y de la plasticidad de los materiales presentes en la misma (Deleg, 2010). La velocidad de evaporación puede ser controlada mediante la temperatura, humedad y velocidad del flujo de aire.

1.4.2 LA COCCIÓN

Para que la arcilla que fue moldeada se endurezca, es necesario someterla a un proceso de cocción, para lo cual los hornos son la pieza clave de todo proceso cerámico (Morales, 2005), dentro del cual, por medio de la acción del calor, se dan transformaciones físicas y químicas, otorgando a la pieza cerámica nuevas propiedades de dureza y resistencia (Blasco, Ferrero, García, & González, 2015).

1.4.3 HORNOS USADOS EN FABRICACION DE LADRILLOS

La etapa clave de la elaboración de ladrillos es la quema, para ello se hace uso de hornos tipo volcán, este tipo de horno requiere muy poca inversión para su construcción; los combustibles utilizados para la quema en este horno dependen mucho de los disponibles en cada región; en ciertas zonas se utiliza leña y/o carbón (Luján & Guzmán, 2015). Estos hornos, de combustión, cuentan con una cámara o espacios en los cuales se colocan los ladrillos de forma manual, de tal manera que los gases de combustión puedan circular a través de los mismos, el fuego es abastecido directamente sobre las piezas, es decir la carga de leña o carbón se realiza por la parte inferior sin ningún control de la temperatura y los gases calientes fluyen de abajo hacia arriba, por lo general no poseen una chimenea esto hace que el suministro de oxígeno no sea el correcto, provocando una baja eficiencia térmica y una alta cantidad de contaminantes lo que se evidencia en un elevado volumen de humo negro (Fontalvo & Gutierrez, 2014).



*Ilustración 3. Horno usado en las ladrilleras artesanales
Fuente: Autora*

1.4.4 CAMBIOS QUE OCURREN EN LAS ARCILLAS DURANTE EL PROCESO DE COCCIÓN.

La cocción es un proceso fisicoquímico caracterizado por la movilidad atómica, la misma que une las partículas de arcilla y provoca una disminución en la porosidad; es necesario mantener la rapidez de variación de la temperatura del horno, dado que cambios



bruscos generan una rápida dilatación o contracción y provocan tensiones que llegan a fracturar las piezas, así también se debe conocer y mantener los rangos de temperatura durante el proceso de cocción, los cuales dependerán del tipo de pasta y piezas (Guerrero et al., 2017).

Durante el proceso de cocción se dan dos tipos de cambios:

- Cambios fisicoquímicos: variación de la estructura química y la estructura cristalina.
- Cambios mecánicos: dilatación, porosidad, resistencia mecánica (Morales, 2005).

Las reacciones químicas que se llevan a cabo, están dadas por la composición mineralógica, química y granulométrica de las arcillas. Durante las etapas de la cocción se pueden diferenciar varias transformaciones que se producen a diferentes niveles de temperatura (Morales, 2005).

1. En las primeras etapas del calentamiento se elimina el agua interlaminar alojada entre los planos moleculares de la sustancia arcillosa, esto se da a una temperatura aproximada de 100°C que corresponde a la desorción de dicha agua, esta etapa se completa a los 200°C (Morales, 2005).
2. A temperaturas comprendidas entre 200°C y 500°C tienen lugar las reacciones de oxidación de la materia orgánica (Barba et al., 2002).
3. Entre 450°C y 600°C se produce la deshidroxilación del material arcilloso.
4. A 573°C se produce el cambio alotrópico $\alpha \rightarrow \beta$ cuarzo. Esta transformación produce un cambio brusco en la contracción de la pieza (Barba et al., 2002).
5. A temperaturas próximas a 800°C tiene lugar la descomposición del CaCO_3 , con liberación de CO_2 , la cual está asociada con el efecto endotérmico situado a 790°C. Esta transformación, al igual que las reacciones de oxidación de la materia orgánica e inversión del cuarzo, conducen a una expansión progresiva de las muestras (Barba et al., 2002).
6. Entre los 800°C y 900°C se produce una sinterización rápida de las muestras, que se manifiesta con una rápida contracción y una reducción paralela de la porosidad y de la superficie específica, en consecuencia, la contracción se debe a la sinterización de las fases amorfas procedentes de la descomposición de los minerales arcillosos y del CaO procedente del CaCO_3 (Barba et al., 2002).



7. Finalmente a temperaturas superiores a 1100°C, se produce una fusión progresiva de las fases cristalinas y la sinterización de la fase líquida desarrollada rica en Ca^{2+} (Barba et al., 2002).

CAPITULO 2: LA PRODUCCIÓN LADRILLERA EN EL ECUADOR Y EN EL AZUAY

En este capítulo se abordan temas estadísticos relacionados con la producción ladrillera en el Ecuador y en el Azuay, datos que fueron tomados de un estudio realizado por Swisscontact, siendo parte fundamental del mismo la elaboración de ladrillos panelón, en la parroquia Susudel. Además en este capítulo se describe cada una de las etapas del proceso y se analizó la producción actual de ladrillos en Susudel, esto último en base a la información recolectada por el proyecto “Later Eris: Creatividad y Diversificación del ladrillo de Susudel”.

2.1 LOS MINERALES ARCILLOSOS EN EL PAIS

Los minerales arcillosos se encuentran dentro de la rama de los minerales no metálicos, el Ecuador dispone de varios de estos recursos, siendo los más importantes caliza, mármol, arcilla, yeso, baritina y bentonita. Cuenta con grandes yacimientos de arcillas, pero debido a la calidad de las mismas no es posible su exportación por la alta cantidad de impurezas que contienen. Existen alrededor de 75 áreas de explotación de arcillas encontrándose la mayor concentración en la región Austral (Cornejo, 2016). En la provincia del Azuay la minería no metálica es muy importante, especialmente por la presencia de varias fábricas de cerámica plana, artística y de vajillas. Los principales depósitos de arcillas cercanas a la ciudad de Cuenca se localizan en la zona de Tinajillas, Sinincay y Racar (Uribe, 2015).

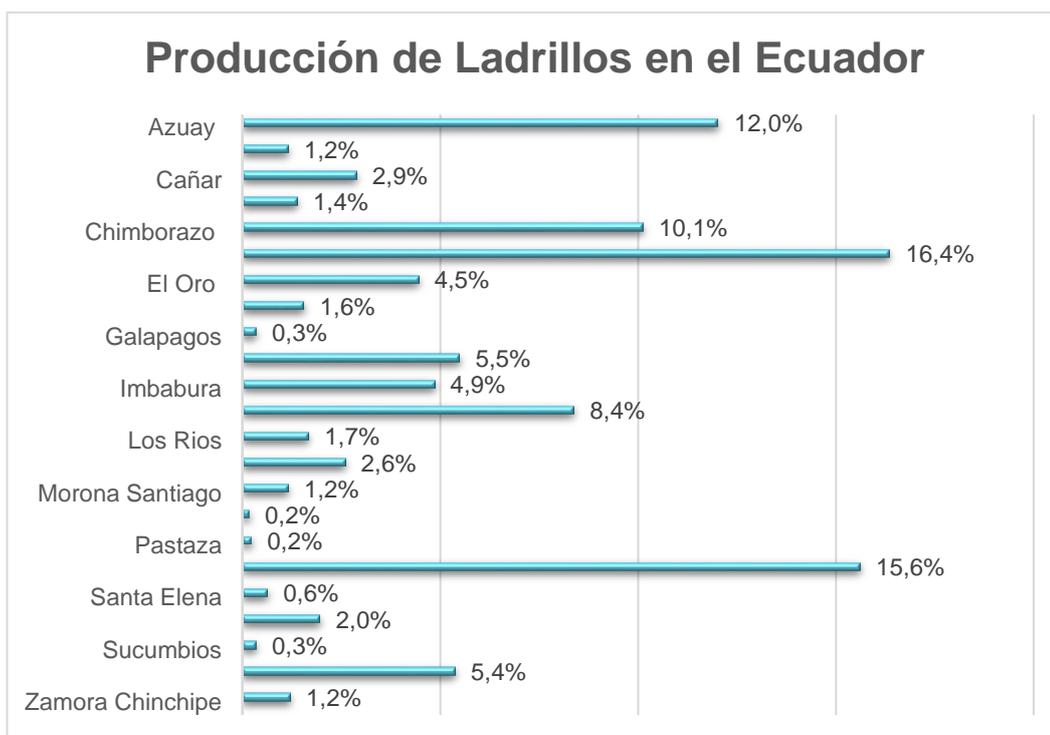
2.2 LA PRODUCCIÓN LADRILLERA EN EL ECUADOR

En el Ecuador la industria ladrillera se halla ampliamente difundida y se relaciona directamente con el sector de la construcción, que es principal consumidor de sus productos (Pacheco, 2015). De acuerdo con el Panorama Laboral y Empresarial del Ecuador, emitido por el INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos) en el año 2017, el sector de la construcción aportó con un 10,2% al PIB (Producto Interno Bruto) ecuatoriano y es considerado una de las industrias que mayores fuentes de empleo producen. En el país existen alrededor de 15000 establecimientos dedicados a estas actividades, de los cuales alrededor de 3800 están relacionados con la venta y distribución de ladrillos (Peña & Pinta, 2012); por lo tanto el desarrollo del sector ladrillero representa un parte fundamental para el rubro de la construcción.

2.3 EL SECTOR LADRILLERO NACIONAL

La Red de Ladrilleras Nacional (Red de Intercambio de Conocimientos para el Sector Ladrillero), iniciativa promovida por Swisscontact, indica que en el Ecuador existen 1734 productores de ladrillos, siendo las provincias con mayor número de productores Cotopaxi, Pichincha y Azuay.

Los datos de producción, tipos de productos ofertados, tipos de hornos y combustibles que utilizan las ladrilleras ecuatorianas se encuentran en los siguientes gráficos y tablas (Red de Ladrilleras, 2018).



Grafica 2. Porcentaje de producción de ladrillos en el Ecuador
Fuente: (Red de ladrilleras, 2018)

Tabla 2. Datos del sector ladrillero Ecuatoriano

Número de productores	1730 productores
Capacidad promedio hornos	3,11 millares
Producción promedio anual por empresa	33,81 millares
Producto más vendido	Piso, Teja, Tochano, Panelón artesanal, Gigantón
Tipo de combustible	Leña, Diésel, gasolina, residuos vegetales (cascara de café), aserrín

Fuente: (Red de Ladrilleras, 2018)

En la siguiente tabla se muestran datos obtenidos para el sector ladrillero en el Azuay.

Tabla 3. Datos del sector ladrillero en la provincia del Azuay

Número de productores	208 productores
Capacidad promedio hornos	7,93 millares
Producción promedio anual por empresa	52,02 millares
Producto más vendido	Piso, Teja, Tochano, Panelón artesanal
Tipo de combustible	Leña
Gasto combustible promedio por millar	152,8 dólares
Utilidades por millar	57,34 dólares

Fuente: (Red de Ladrilleras, 2018)

Como se puede ver la producción de ladrillos en el Azuay representa el 12% de la Producción Nacional con 208 de los 1730 productores nacionales, dentro de los productos ofertados no se tienen los ladrillos para revestimiento de piso, las ganancias por millar de ladrillos son bajas, por lo que es importante dar diversificación a estos productos con lo que se conseguirá mayores utilidades.

2.4 LA PARROQUIA SUSUDEL Y LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS

2.4.1 LA PARROQUIA SUSUDEL

La parroquia Susudel se encuentra ubicada al sur del Ecuador, aproximadamente a 85 km de la ciudad de Cuenca, pertenece al cantón San Felipe de Oña, provincia del Azuay. Se localiza en la cuenca del río Jubones y en la subcuenca del río León (Naula, 2014), limita al norte y al oeste con el cantón Nabón, al sur con el cantón Saraguro de la provincia de Loja, y al este con la parroquia urbana de Oña (Calderón, 2010). Se encuentra a una altura de 2140 m.s.n.m., su clima es moderadamente templado, con temperaturas que oscilan entre los 8°C y 18°C. La parroquia Susudel está conformada por doce comunidades: Susudel Centro, Chucudel o Nuevo Susudel, Los Pinos, Sanglia, Chacalata, Tamboloma-Palalín, Galluzhapa, Pullcanga, Ingapirca, Barín, Raricucho y San Gerónimo (Armijos, 2015).

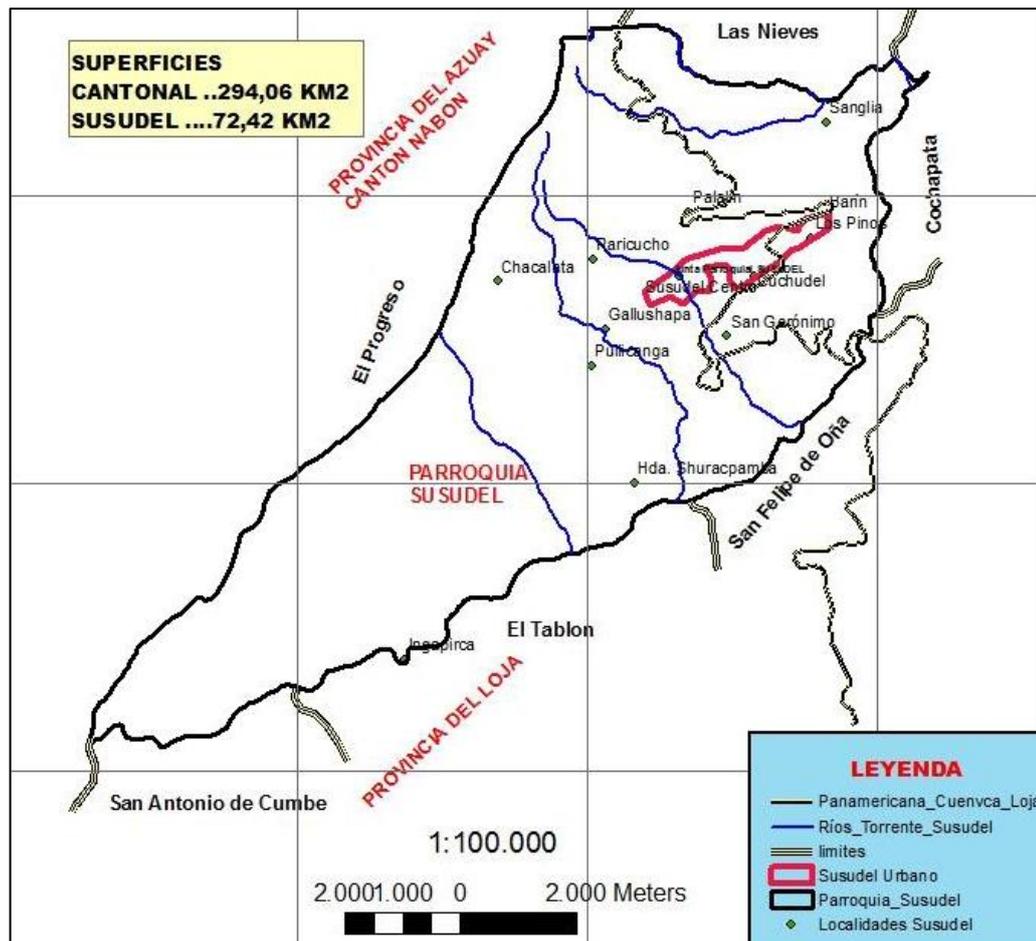


Ilustración 4. Mapa Cartográfico de la Parroquia Susudel
 Fuente: (Naula, 2014)

2.4.2 LA FABRICACIÓN ARTESANAL DE LADRILLOS EN SUSUDEL

La elaboración de ladrillos en esta zona es una técnica artesanal, se requieren materias primas como arcilla de buen calidad y combustible como la madera o el carbón, fáciles de obtener, también se necesitan períodos de tiempo secos y cálidos que sean lo suficientemente largos para un secado completo de los ladrillos y así evitar cuarteos o roturas durante la cocción (Lucassen, Ferrandis, & Carazo, 2003).

La mayor parte del año, Susudel, tiene un clima templado y debido a las características geológicas de esta área, los depósitos de arcillas, son aptos para la elaboración de ladrillos de forma artesanal en medio del núcleo familiar (Maldonado, 2009).



*Ilustración 5. Comunidad de Susudel, provincia del Azuay
Fuente: (Susudel Histórico, 2016)*

La producción de ladrillos en la parroquia Susudel, está ampliamente distribuida en la misma, las ladrilleras son de pequeño o de mediano tamaño, la elaboración de ladrillos no es una actividad reciente, se fabrican ladrillos panelón desde 1950, año en el cual la familia Moscoso implementó el primer horno comunitario ubicado en el centro parroquial. Desde entonces se han incrementado el número de productores, y en la actualidad se ha convertido en una de las principales fuentes de trabajo para los pobladores (Deleg, 2010), ya que el 23% de la población se dedica a esta actividad y ocupa el segundo lugar en importancia luego de la agricultura (Naula, 2014). Las comunidades de Susudel que producen ladrillos son: Pullcanga, San Gerónimo, Galluzhapa, Barín, Sanglia, Los Pinos, Tamboloma o Palalín, Nuevo Susudel y Susudel Centro (Deleg, 2010).

2.5 PROCESO PRODUCTIVO ACTUAL PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS EN SUSUDEL

La elaboración de ladrillos en la parroquia Susudel es netamente artesanal, y se describe a continuación:

2.5.1 EXTRACCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Antiguamente ésta se realizaba mediante el uso de picos y palas, pero ahora se usan retroexcavadoras, la tierra es extraída de bancos de los mismos materiales y es llevada en volquetes hacia los talleres dónde se almacenan (Gavilanes & Santellán, 2016),

algunas canteras de materias primas se encuentran muy alejadas, mientras que otros artesanos cuentan con sus canteras cerca del lugar de trabajo (Deleg, 2010).

2.5.2 SELECCIÓN Y TRATAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA

Cuando el material ha llegado al taller, se eliminan manualmente las piedras grandes y pequeñas, palos y materiales extraños, usando palas y picos se disgrega el material, para que obtenga un tamaño uniforme, esta etapa del proceso es importante para la calidad del producto final (Ordoñez & Sinchi, 2010).

2.5.3 DOSIFICACIÓN Y MEZCLADO

Por lo general en las ladrilleras no existen dosificaciones exactas de la materia prima y del agua, el artesano lo realiza al tanteo y con base a su experiencia, tratando de encontrar una mezcla adecuada para su producción (Jarama & Uzhca, 2016), antiguamente todos los artesanos mezclaban las arcillas con el agua y las depositaban en noques, en donde se realizaba el batido mediante la fuerza de bueyes o caballos, el tiempo de mezcla era de 6 a 8 horas, hasta obtener una mezcla homogénea, plástica y moldeable (Álvarez, 2012), en la actualidad la mayoría de los artesanos ya no lo utilizan, empleando en su lugar una “extrusora” (en realidad es una mezcladora) que funciona con energía eléctrica o combustible, esto significa un ahorro de tiempo y de recursos, haciendo que la pasta se obtenga rápidamente y que presente mejor trabajabilidad (Alvear & Palomeque, 2017).



Ilustración 6. Mezclado y formación de la pasta
Fuente: Autora

2.5.4 MOLDEADO

El moldeo se realiza sobre el piso previamente limpiado y aparejado, la pasta preparada, es colocada en moldes de madera paralelepípedos previamente humedecidos para evitar que la pieza se pegue a sus paredes, con los cuales se dan forma a los ladrillos, el exceso de pasta es eliminado ya sea mano o usando una llana, dándoles uniformidad e inmediatamente se retira el molde. El producto obtenido en esta etapa se los conoce como ladrillos en verde.

Los moldes pueden variar en sus dimensiones, el tamaño promedio de los ladrillos panelón, es 25 cm de largo, por 12 cm de ancho y 7cm de altura, pudiendo variar estas dimensiones desde 1-4 cm en el largo, entre 2-4 cm en el ancho y 0,5-2 cm en la altura, dependiendo de las exigencias de los consumidores (Deleg, 2010).



*Ilustración 7. Moldeado de ladrillos panelón
Fuente: Autora*

2.5.5 SECADO

El secado de los ladrillos se realiza con el objetivo de eliminar lentamente la mayor cantidad de agua libre, evitando así fisuras y roturas durante la cocción, los ladrillos recién formados y acomodados en el piso son secados bajo techo, en galpones con cubiertas de plástico, que resguardan las piezas crudas durante los cambios en las condiciones climáticas. Cuando los ladrillos han perdido la humedad necesaria y es posible manipularlos, se produce una etapa intermedia que es la del raspado y el pulido de los lados y caras del ladrillo con el fin de eliminar los excesos de pasta o ciertas deformaciones (Deleg, 2010), este raspado o pulido se realiza utilizando un machete o un pedazo de madera de borde regular; los ladrillos son apilados en forma de hileras, uno sobre otro para una buena circulación del aire, hasta que se encuentran totalmente

secos (Ordoñez & Sinchi, 2010). El secado de las piezas cerámicas tiene un período de duración de 5 a 15 días, dependiendo del clima.



Ilustración 8. Secado al ambiente de ladrillos panelón
Fuente: Autora

2.5.6 COCCIÓN

Una vez que los ladrillos se hallan completamente secos son trasladados al horno de manera manual y son acomodados en su interior, de tal forma que permitan una distribución uniforme a través del material, del calor y de los gases de combustión.

La cocción se realiza en hornos artesanales que pueden tener una geometría rectangular o circular, de fuego directo, es decir de tiro natural y abierto a la atmósfera.

Un problema con estos hornos es su baja eficiencia, especialmente en los rectangulares, debido a que las esquinas presentan puntos fríos, generando productos con deficiencia de cocción y por lo tanto de mala calidad, mientras que los hornos circulares dan lugar a una mejor transferencia interna del calor (Deleg, 2010). Una vez acomodados los ladrillos se cierra el horno, para lo cual se utilizan ladrillos crudos y las mismas arcillas como sellante para cubrirlo completamente y así optimizar la transferencia de calor.

Por lo general una quema comprende entre 8000 y 10000 ladrillos y dura entre 18 y 24 horas, según (Deleg, 2010), la temperatura de los hornos de Susudel varía entre 800°C en la parte inferior y 1000°C en la sección superior. Se usa como combustible madera seca de eucalipto, ramas, tiras delgadas o leña, además es necesaria una ventilación que alimente el fuego para una quema más homogénea.

En la fase inicial de la quema se introduce la leña en la boca de alimentación del horno con dos objetivos dar intensidad al fuego y lograr cierta ventaja en la quema del material que se encuentra sobre la boca de alimentación; posteriormente cada 40 o 60 minutos se alimenta con más leña al horno para llegar a la temperatura máxima y mantener la temperatura de cocción, es decir, evitar que el flujo de calor varíe cuando la temperatura de quema ha sido alcanzada, misma que se estabiliza después de 4 a 5 horas dependiendo del horno (Álvarez, 2012). Una vez finalizado el tiempo de quema, se debe esperar a que el horno se enfríe completamente, esto toma entre 5 y 10 días, transcurrido este tiempo se realiza la descarga del horno y el almacenaje del material.

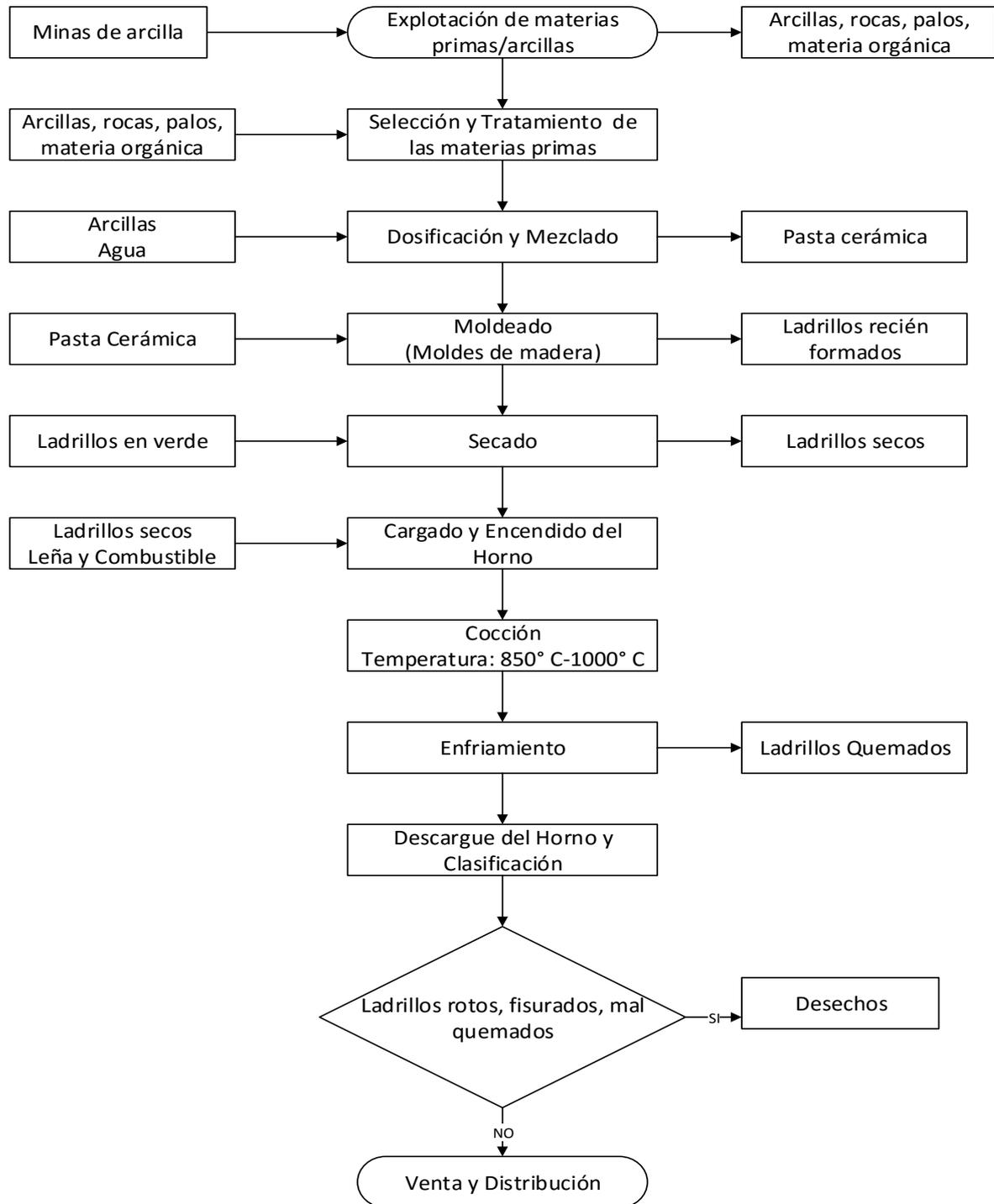


Ilustración 9. Quema de ladrillos en un horno rectangular
Fuente: Autora

2.5.7 Venta y Distribución

Los ladrillos son clasificados eliminando los que presentan roturas, fisuras o un quemado deficiente, los demás son apilados y están listos para su venta y distribución, que se puede realizar en el mismo taller a terceros y éstos son los encargados del transporte en camiones plataforma que tienen una capacidad aproximada de 2000 ladrillos o pueden ser vendidos directamente al consumidor final (Ordoñez & Sinchi, 2010).

DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS PANELÓN



Gráfica 3. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de ladrillos panelón

Fuente: Autora

2.6 SITUACIÓN ACTUAL DE LA PRODUCCIÓN DE LADRILLOS EN SUSUDEL

El proyecto “Later Eris: Creatividad y Diversificación del ladrillo de Susudel”, ha realizado un acercamiento al sector de estudio “Susudel”, mediante visitas de campo y la aplicación de encuestas a los artesanos propietarios de varias ladrilleras, ha levantado información del proceso productivo del ladrillo en cada una de sus fases, los tipos de ladrillos que elaboran, los moldes que utilizan, tiempos de fabricación y producción mensual y anual, datos que juntos a estudios realizados por Swisscontact se muestran a continuación.

2.6.1 NÚMERO TOTAL DE LADRILLERAS EN SUSUDEL

Ladrilleras en Susudel

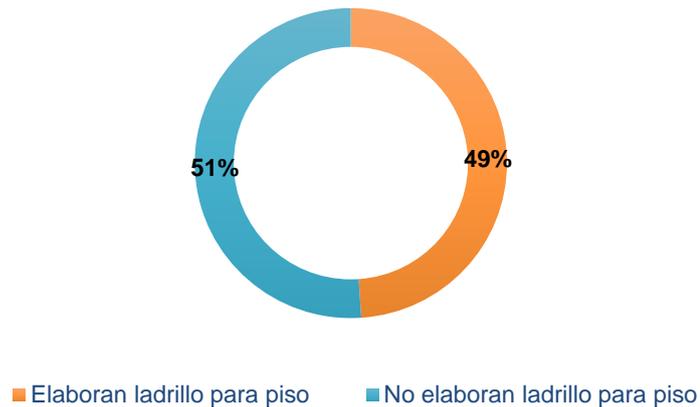


Gráfica 4. Número de ladrilleras existentes en Susudel

Fuente: Later Eris: Creatividad y Diversificación del ladrillo de Susudel

En Susudel existen 55 ladrilleras distribuidas en las diferentes comunidades, de las cuales, 8 se encuentran abandonadas y 47 están en funcionamiento. De las ladrilleras en funcionamiento 23 elaboran ladrillos para piso.

Elaboración de ladrillos para piso

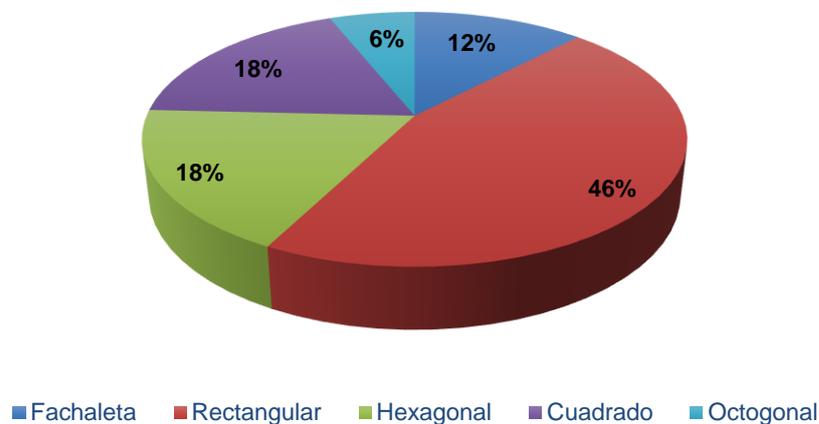


Gráfica 5. Artesanos que elaboran ladrillos para piso
Fuente: Later Eris: Creatividad y Diversificación del ladrillo de Susudel

De acuerdo con el levantamiento de datos, se tiene que alrededor de un 50% de los ladrilleros de Susudel han elaborado o elaboran ladrillos para revestimiento de piso, mientras que el otro 50% nunca ha elaborado este tipo de ladrillo.

2.6.2 TIPOS DE LADRILLOS QUE PRODUCEN

Tipos de ladrillos para revestimiento de piso



Gráfica 6. Tipos de ladrillos para revestimiento de piso
Fuente: Later Eris: Creatividad y Diversificación del ladrillo de Susudel

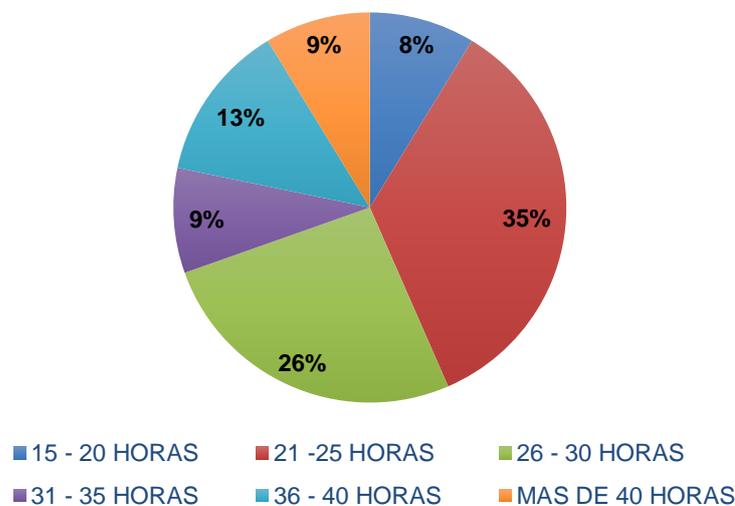
Los ladrillos para revestimiento de piso que más se fabrican son de forma rectangular, hexagonal y cuadrada, es decir formas simples, estos datos son de utilidad al momento de diseñar los nuevos modelos tratando de buscar formas y tramas que sean innovadoras.

2.6.3 PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE LADRILLOS PARA REVESTIMIENTO DE PISO

La producción de ladrillos para revestimiento de piso, únicamente se hace bajo pedido, es decir que este producto es poco conocido en el mercado, quienes saben de este ladrillo y lo compran son personas particulares y arquitectos que necesitan para sus obras, ya sea en construcciones o restauraciones.

2.6.4 TIEMPO PARA LA QUEMA DE LADRILLOS

Tiempo de Quema



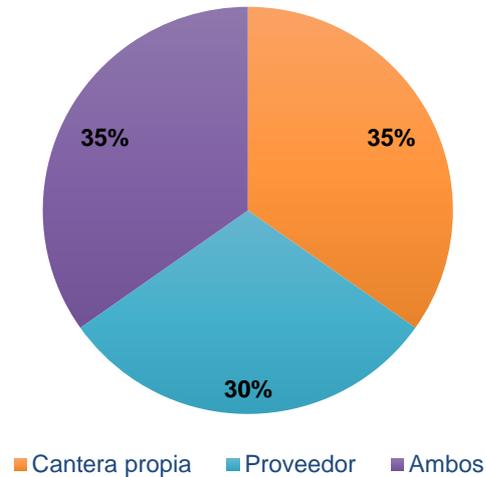
Grafica 7. Tiempos de quema en los hornos artesanales

Fuente: Later Eris: Creatividad y Diversificación del ladrillo de Susudel

Los tiempos de quema son de gran importancia, para conseguir las propiedades finales en el producto, y se observa que al 61% de los encuestados les toma quemar los ladrillos entre 21 y 30 horas, teniendo en cuenta que es únicamente el período de quema sin contar con el tiempo de enfriamiento.

2.6.5 ARCILLAS UTILIZADAS POR LOS ARTESANOS EN LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS

Aprovisionamiento de Arcillas

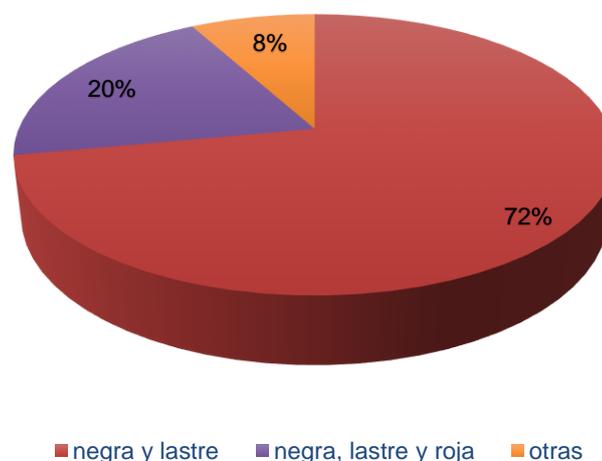


Grafica 8. Formas de obtención de la materia prima (arcillas)
Fuente: Later Eris: Creatividad y Diversificación del ladrillo de Susudel

Las arcillas utilizadas pueden provenir de dos fuentes, canteras propias o proveedores que se encuentran en las diferentes comunidades.

El trabajo de campo realizado por Deleg, 2010, proporciona información que se muestra a continuación:

Arcillas usadas en las ladrilleras



Grafica 9. Tipos de arcillas usadas
Fuente: (Deleg, 2010)



2.6.6 PORCENTAJES DE MEZCLAS DE LAS ARCILLAS MÁS USADAS POR LOS ARTESANOS

Tabla 4. Porcentajes de mezclas para las arcillas

% NEGRA	% LASTRE	% ROJA	% OTROS
66,67%	33,33%	-----	-----
20%	20%	60%	-----
50%	30%	20%	-----
-----	10%	40%	50%

Fuente: (Deleg, 2010)

Los datos recolectados por medio del trabajo de campo realizado por el proyecto Later Eris y mediante una revisión bibliográfica, fueron usados al momento de realizar la toma de muestras de las arcillas, teniendo en consideración las comunidades. Se obtuvo información sobre los tipos de molde, porcentajes de mezclas de los diferentes tipos de arcillas, y de las etapas del proceso productivo.



CAPITULO 3: CARACTERIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS Y PASTAS

Dentro de este capítulo se dan a conocer los procedimientos para la caracterización tanto física como química de las materias primas (arcillas) y pastas, así como el análisis químico. La caracterización es de gran utilidad al momento de plantear el diseño experimental el mismo que permite obtener pastas apropiadas para la elaboración de ladrillos para revestimiento de pisos. Dicho diseño experimental se describe en el próximo capítulo.

Las pruebas físicas que se ejecutaron sobre las materias primas y las pastas fueron:

- Determinación del porcentaje de humedad
- Granulometría por tamizado
- Índice de plasticidad
- Porcentaje de contracción al secado, a la quema y contracción total
- Porcentaje de absorción de agua
- Porcentaje de espacio poroso

Las pruebas químicas que se realizaron fueron:

- Análisis de pH

3.1 MUESTREO DE LAS ARCILLAS Y PASTAS

Por medio del mismo, se toma un conjunto de elementos (arcillas) que se conoce como muestra; que es representativa y permite predecir el comportamiento de la población (López, 2004). El muestreo se realiza con el fin de que el estudio se ejecute en menor tiempo, usando un menor consumo de recursos, un control y un análisis profundo de las variables (López, 2004).

Existen dos maneras por las cuáles se pueden seleccionar las muestras; un muestreo aleatorio o probabilístico en el cuál todos los elementos tienen la misma probabilidad de ser seleccionados y ser parte de la muestra y el muestreo no aleatorio o de juicio que consiste en el uso de criterios y conocimientos que permitan identificar los elementos que forman parte de la población (Villanueva, 2006).

Dentro del muestreo no probabilístico se encuentra el muestreo intencional, que permite elegir casos particulares de una población, limitando a las muestras únicamente para estos casos; en un muestreo por conveniencia, en cambio, se toman las muestras que

resultan accesibles y próximas para la investigación; y en un muestreo accidental o consecutivo las muestras son seleccionadas hasta completar el tamaño de la muestra deseado (Otzen & Manterola, 2017).

Antes de seleccionar las muestras, se realizó una visita y levantamiento de información de las comunidades de la parroquia Susudel que cuentan con una producción artesanal de ladrillos, lo que facilitó la selección de los componentes de la muestra. Es así que se escogió un muestreo no probabilístico, realizado de manera intencional ya que se optó por muestras particulares de la población, debido a la variabilidad de la misma. Además se creyó conveniente justificar cada uno de los puntos por los que se usó este muestreo.

- La población total en estudio fue de 23 sujetos, que correspondió al número total de artesanos que elaboran ladrillos para revestimiento de piso. Esta información provino de la gráfica N° 5 presentada en el capítulo N° 2.
- Del total de la población se tomó 4 muestras diferentes, una muestra representó a las arcillas más utilizadas entre los artesanos de las comunidades productoras de ladrillos en Susudel. Las tres muestras restantes correspondieron a mezclas de arcillas variadas y diferentes entre sí.

Tabla 5. Porcentajes de mezclas de las arcillas

MEZCLAS DE ARCILLAS	PORCENTAJES
Negra y lastre	72%
Negra, lastre y roja	20%
Otras	8%

Fuente: Autora

- En las cuatro comunidades existe por lo menos una ladrillera que produce ladrillos para revestimiento de pisos, no de manera constante pero si bajo pedido.

Tabla 6. Número de ladrilleras en las Comunidades de Susudel

COMUNIDAD	NÚMERO DE LADRILLERAS
Nuevo Susudel	10 ladrilleras
Sanglia	2 ladrilleras
Pullcanga	1 ladrillera
San Gerónimo	1 ladrillera

Fuente: Autora

- Las comunidades seleccionadas, se encuentran en puntos específicos de la parroquia, que prácticamente abarca casi en su totalidad a Susudel como se puede observar en este gráfico.

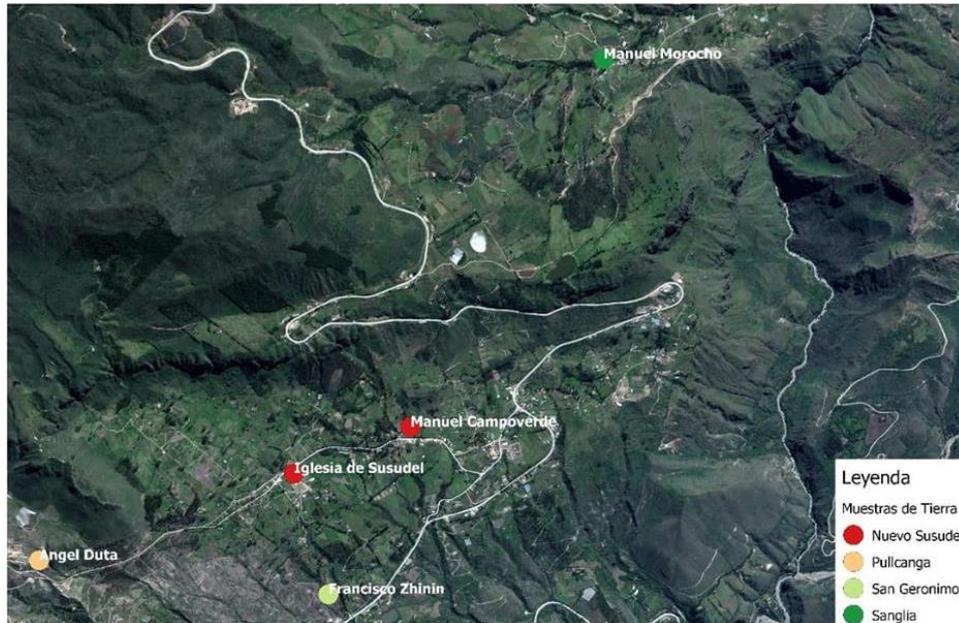


Ilustración 10. Mapa que representa la toma de muestras de la parroquia Susudel
Fuente: Later Eris: Creatividad y Diversificación del ladrillo de Susudel

- Las muestras seleccionadas, fueron de estas cuatro comunidades, cada una de las ladrilleras cuentan con mezclas de materiales (arcillas) diferentes y que además producen ladrillos para revestimiento de piso.
- Un punto significativo que se consideró para el muestreo es la disposición de los artesanos a colaborar con muestras de arcillas y pastas, así como con información necesaria.

Las muestras recolectadas fueron.

Tabla 7. Muestras de arcillas recolectadas para el análisis físico y químico

COMUNIDAD	MUESTRAS DE ARCILLAS
Pullcanga	Negra, Lastre y Roja
San Gerónimo	Negra y Lastre
Nuevo Susudel	Plástica y Arenosa
Sanglia	Roja, Blanca, Lastre y Arenosa

Fuente: Autora



- De estas cuatro comunidades a más de estudiar las arcillas también se realizó un análisis tanto físico como químico de las pastas con las cuales trabajan los artesanos, en total se analizó 11 tipos de arcillas y 4 tipos de pastas.

Cabe indicar que los nombres dados a las arcillas en estas comunidades a veces coinciden, pero al momento de tomar las muestras y analizar a simple vista sus características como consistencia, color y la ubicación en las que se encontraban no parecían iguales a pesar de su nombre común, por lo que se decidieron realizar las pruebas iniciales en todas.

3.2 ANÁLISIS DE PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Se cuenta con un total de 15 muestras, 11 que corresponden a los diferentes tipos de arcillas y 4 que pertenecen a las pastas utilizadas en la elaboración de ladrillo panelón, en estas 15 muestras se analizaron tanto propiedades físicas como químicas.

3.2.1 PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas se realizaron sobre las materias primas (arcillas) y pastas en dos estados antes y después de la cocción y comprenden.

En materiales crudos: determinación del porcentaje de humedad, índice de plasticidad, contracción al secado.

En materiales cocidos: contracción a la quema, porcentaje de absorción de agua y porcentaje de porosidad.

3.2.1.1 ANÁLISIS DE HUMEDAD PORCENTUAL

La humedad que poseen las arcillas crudas pueden influenciar en algunas propiedades físicas como la densidad aparente, espacio poroso, consistencia, en si se define a la humedad como la relación entre la masa de agua contenida por unidad de masa de las partículas sólidas expresada en términos de porcentaje (Flores & Alcalá, 2010). Según Corredor & Moreno, 2011, el agua que contienen las arcillas es sensible a la temperatura de secado por lo que se usó temperaturas entre 105°C y 110°C.

Por medio de este análisis se conoció la cantidad de agua que tienen tanto las arcillas como las pastas, este parámetro fue fundamental al momento de la dosificación de las nuevas pastas ya que indicó la cantidad de agua que se debe adicionar para lograr una buena trabajabilidad y compactación de la pasta. El método que se utilizó fue el gravimétrico, con desecación en la estufa a una temperatura de 110°C, el procedimiento está descrito en el Anexo 1.1. Los resultados tanto para arcillas como pastas fueron los siguientes.

Humedad de las arcillas
Tabla 8. Porcentajes de humedad de las arcillas en estudio

COMUNIDAD	TIPO DE ARCILLA	HUMEDAD (%)
Pullcanga	Negra	5,46%
	Roja	6,77%
	Lastre	9,11%
San Gerónimo	Negra	8,96%
	Lastre	7,53%
Nuevo Susudel	Plástica	4,20%
	Arenosa	5,23%
Sanglia	Roja	24,43%
	Blanca	37,84%
	Lastre	10,68%
	Arenosa	16,54%

Fuente: Autora

Humedad de las pastas

Este parámetro se determinó cuando las pastas tenían la humedad y la consistencia adecuada para que los artesanos preparen sus ladrillos.

Tabla 9. Porcentajes de humedad para cada una de las pastas de las cuatro comunidades en estudio

PASTA/COMUNIDAD	HUMEDAD (%)
Pullcanga	24,70%
San Gerónimo	20,00%
Nuevo Susudel	21,40%
Sanglia	28,50%

Fuente: Autora

3.2.1.2 ANALISIS GRANULOMÉTRICO

Es la distribución en porcentaje de los diversos tamaños de los agregados de una muestra (Corral, 2012), lo que permite conocer las cantidades en peso de cada tamaño que aportan al peso total. Para la separación por tamaños se usan mallas de diferentes aberturas, las mismas que proporcionan el tamaño máximo de agregado retenido en cada una de ellas (Chavez de los Santos, 2014). Existen varias maneras de clasificar a las arcillas, las más usadas en el campo cerámico son:

1. Clasificación mineralógica

Tabla 10. Clasificación mineralógica para las arcillas

>2 mm	Gravas
2 mm - 0,0625 mm	Arenas
0,0625 mm – 0,0039 mm	Limos
<0,0039 mm	Arcillas

Fuente: (Morales, 2005)

2. Clasificación de Seger

Tabla 11. Clasificación de Seger para las arcillas

>0,333 mm	Arena gruesa
0,333 mm – 0,04 mm	Arena fina
0,04 mm – 0,025 mm	Polvo impalpable
0,025 mm- 0,001mm	Polvo extrafino
<0,01 mm	Arcillas

Fuente: (Morales, 2005)

Para el análisis granulométrico, se manejaron tamices de la serie ASTM, el número de tamiz y su abertura se detallan a continuación.

Tabla 12. Número de tamiz con su respectiva abertura

NÚMERO DE TAMIZ	ABERTURA (mm)
4	4,75
8	2,36
16	1,18
30	0,6
50	0,3
100	0,15
200	0,075
400	0,038

Fuente: Autora

Método húmedo-seco usado para el análisis granulométrico

Este método consiste en agregar un líquido por lo general agua a la muestra en tratamiento con el fin de arrastrar a través del tamiz las partículas más finas, a este proceso se lo conoce como deslamando, y es más eficiente especialmente para materiales de granulometría muy fina como las arcillas (Arévalo, 2005), el procedimiento



usado se describe en el Anexo 1.2 y fue el indicado para la caracterización de arcillas y pastas.

Arcillas

Tabla 13. Distribución Granulométrica para las arcillas de Pullcanga (Negra)

COMUNIDAD			PULLCANGA		
Tipo de arcilla			Negra		
Malla	Abertura (mm)	Peso (g)	% Retenido	% Acumulado	% Pasa
4	4,75	0,40	0,19%	0,19%	99,81%
8	2,36	2,90	1,37%	1,56%	98,44%
16	1,18	8,70	4,11%	5,67%	94,33%
30	0,6	21,40	10,12%	15,79%	84,21%
50	0,3	27,00	12,76%	28,55%	71,45%
100	0,15	22,50	10,64%	39,19%	60,81%
200	0,075	12,50	5,91%	45,10%	54,90%
400	0,038	6,90	3,26%	48,36%	51,64%
<400		109,25	51,64%	100,00%	0,00%

Fuente: Autora

Tabla 14. Distribución Granulométrica para las arcillas de Pullcanga (Roja)

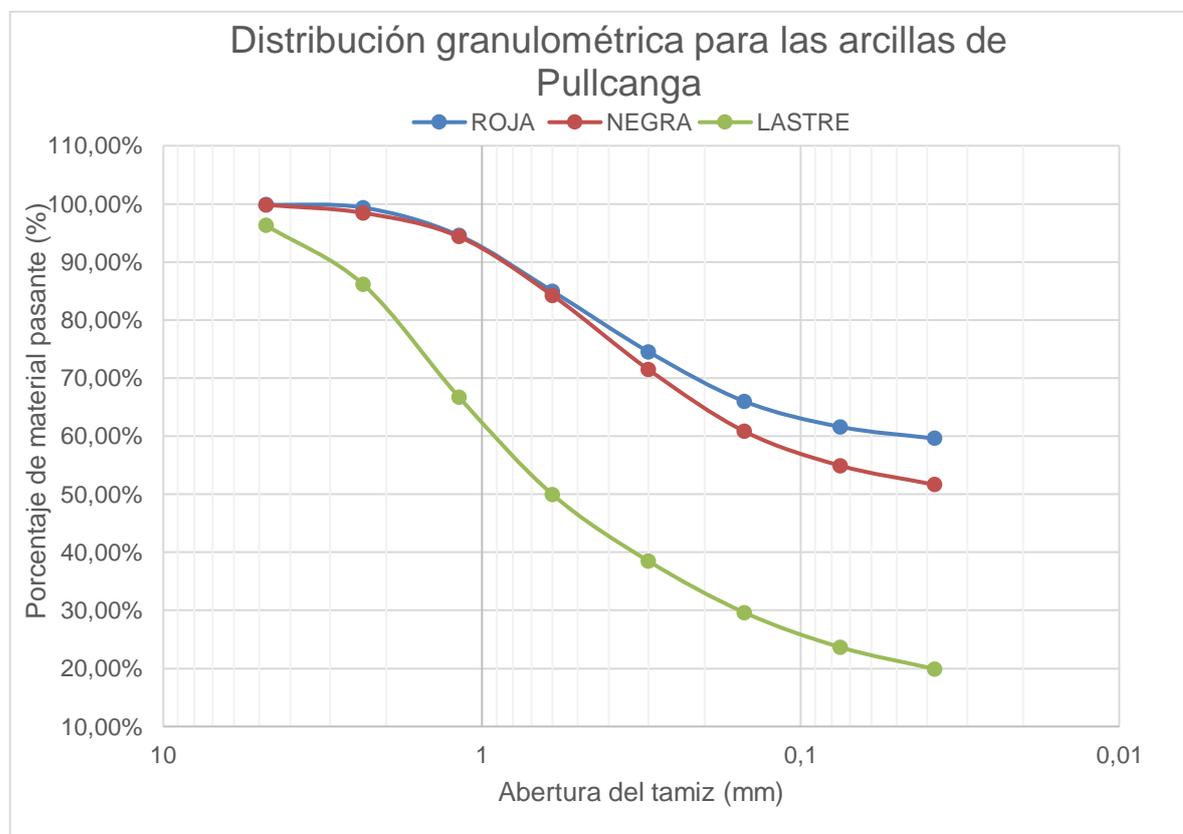
COMUNIDAD			PULLCANGA		
Tipo de arcilla			Roja		
Malla	Abertura (mm)	Peso (g)	% Retenido	% Acumulado	% Pasa
4	4,75	0,30	0,14%	0,14%	99,86%
8	2,36	1,10	0,51%	0,65%	99,35%
16	1,18	10,30	4,81%	5,46%	94,54%
30	0,6	20,60	9,61%	15,07%	84,93%
50	0,3	22,30	10,41%	25,48%	74,52%
100	0,15	18,30	8,54%	34,02%	65,98%
200	0,075	9,40	4,39%	38,40%	61,60%
400	0,038	4,30	2,01%	40,41%	59,59%
<400		127,70	59,59%	100,00%	0,00%

Fuente: Autora

Tabla 15. Distribución Granulométrica para las arcillas de Pullcanga (Lastre)

COMUNIDAD		PULLCANGA			
Tipo de arcilla		Lastre			
Malla	Abertura (mm)	Peso (g)	% Retenido	% Acumulado	% Pasa
4	4,75	7,90	3,74%	3,74%	96,26%
8	2,36	21,40	10,14%	13,88%	86,12%
16	1,18	41,00	19,42%	33,30%	66,70%
30	0,6	35,40	16,77%	50,06%	49,94%
50	0,3	24,20	11,46%	61,53%	38,47%
100	0,15	18,70	8,86%	70,38%	29,62%
200	0,075	12,60	5,97%	76,35%	23,65%
400	0,038	7,90	3,74%	80,09%	19,91%
<400		42,03	19,91%	100,00%	0,00%

Fuente: Autora



Gráfica 10. Curvas de Distribución Granulométrica de las arcillas de Pullcanga

Fuente: Autora

Tabla 16. Distribución Granulométrica para las arcillas de San Gerónimo (Negra)

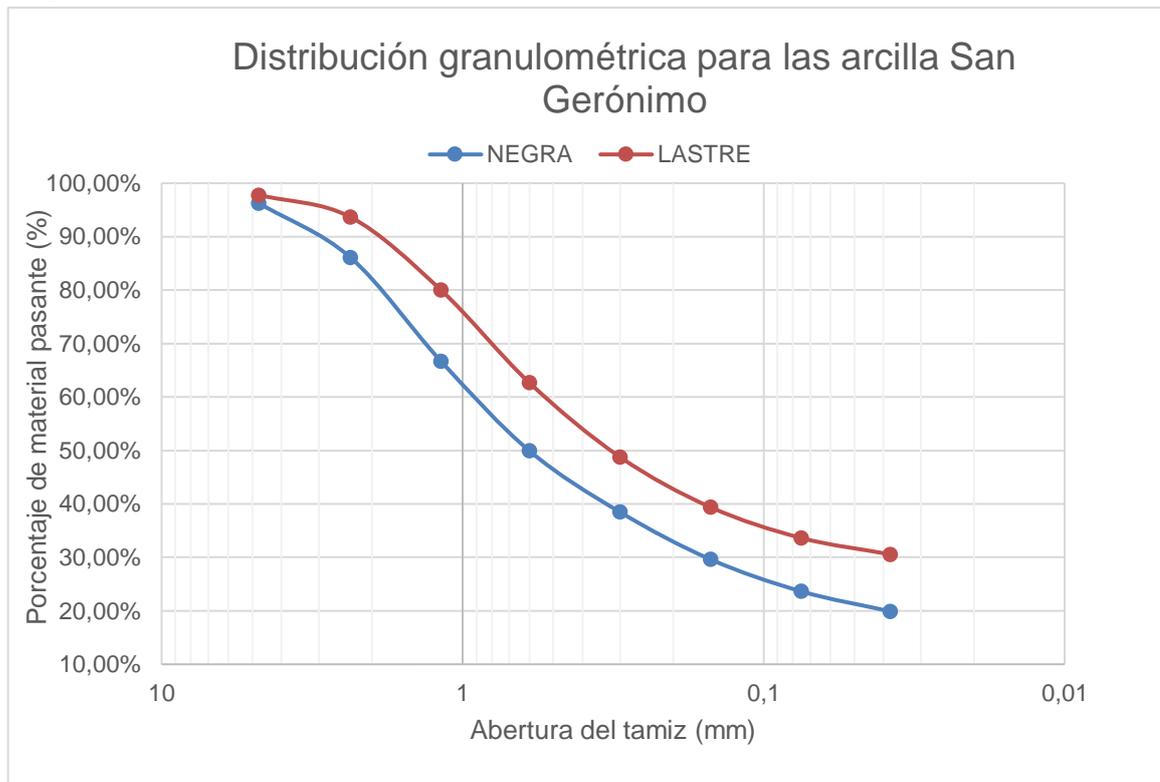
COMUNIDAD		SAN GERÓNIMO			
Tipo de arcilla		Negra			
Malla	Abertura (mm)	Peso (g)	% Retenido	% Acumulado	% Pasa
4	4,75	3,00	1,37%	1,37%	98,63%
8	2,36	9,50	4,34%	5,71%	94,29%
16	1,18	25,60	11,69%	17,39%	82,61%
30	0,6	30,90	14,11%	31,50%	68,50%
50	0,3	16,90	7,72%	39,21%	60,79%
100	0,15	8,00	3,65%	42,87%	57,13%
200	0,075	4,30	1,96%	44,83%	55,17%
400	0,038	2,90	1,32%	46,15%	53,85%
<400		117,95	53,85%	100,00%	0,00%

Fuente: Autora

Tabla 17. Distribución Granulométrica para las arcillas de San Gerónimo (Lastre)

COMUNIDAD		SAN GERÓNIMO			
Tipo de arcilla		Lastre			
Malla	Abertura (mm)	Peso (g)	% Retenido	% Acumulado	% Pasa
4	4,75	4,60	2,20%	2,20%	97,80%
8	2,36	8,60	4,12%	6,32%	93,68%
16	1,18	28,50	13,66%	19,98%	80,02%
30	0,6	36,20	17,35%	37,33%	62,67%
50	0,3	29,00	13,90%	51,22%	48,78%
100	0,15	19,60	9,39%	60,61%	39,39%
200	0,075	120	5,75%	66,36%	33,64%
400	0,038	6,40	3,07%	69,43%	30,57%
<400		63,80	30,57%	100,00%	0,00%

Fuente: Autora



Gráfica 11. Curvas de Distribución Granulométrica para las arcillas de San Gerónimo
Fuente: Autora

Tabla 18. Distribución Granulométrica para las arcillas de Nuevo Susudel (Plástica)

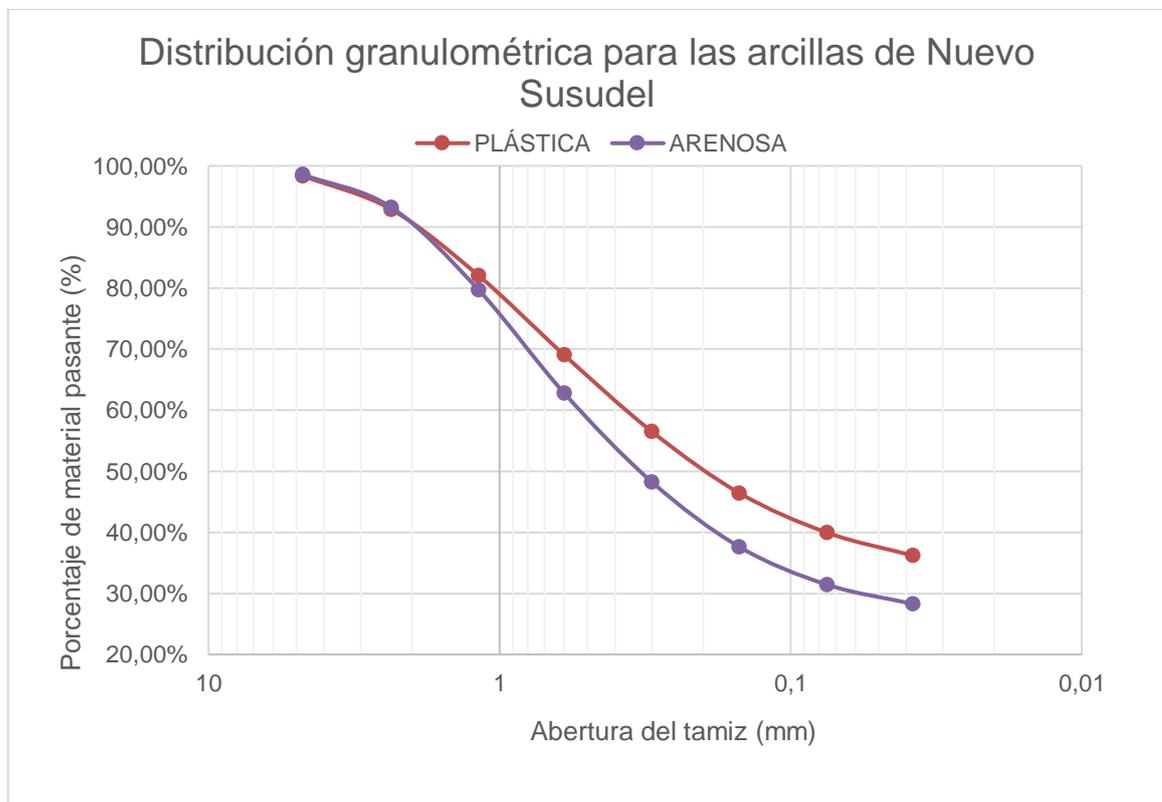
COMUNIDAD		NUEVO SUSUDEL			
Tipo de arcilla		Plástica			
Malla	Abertura (mm)	Peso (g)	% Retenido	% Acumulado	% Pasa
4	4,75	3,30	1,62%	1,62%	98,38%
8	2,36	11,20	5,48%	7,10%	92,90%
16	1,18	22,20	10,87%	17,97%	82,03%
30	0,6	26,50	12,98%	30,95%	69,05%
50	0,3	25,60	12,54%	43,49%	56,51%
100	0,15	20,60	10,09%	53,57%	46,43%
200	0,075	13,20	6,46%	60,04%	39,96%
400	0,038	7,70	3,77%	63,81%	36,19%
<400		73,90	36,19%	100,00%	0,00%

Fuente: Autora

Tabla 19. Distribución Granulométrica para las arcillas de Nuevo Susudel (Arenosa)

COMUNIDAD		NUEVO SUSUDEL			
Tipo de arcilla		Arenosa			
Malla	Abertura (mm)	Peso (g)	% Retenido	% Acumulado	% Pasa
4	4,75	2,90	1,41%	1,41%	98,59%
8	2,36	11,00	5,35%	6,76%	93,24%
16	1,18	27,90	13,57%	20,32%	79,68%
30	0,6	34,70	16,87%	37,20%	62,80%
50	0,3	29,90	14,54%	51,74%	48,26%
100	0,15	21,90	10,65%	62,38%	37,62%
200	0,075	12,70	6,18%	68,56%	31,44%
400	0,038	6,50	3,16%	71,72%	28,28%
<400		58,16	28,28%	100,00%	0,00%

Fuente: Autora



Gráfica 12. Curvas de Distribución Granulométrica para las arcillas de Nuevo Susudel

Fuente: Autora

Tabla 20. Distribución Granulométrica para las arcillas de Sanglia (Roja)

COMUNIDAD		SANGLIA			
Tipo de arcilla		Roja			
Malla	Abertura (mm)	Peso (g)	% Retenido	% Acumulado	% Pasa
4	4,75	0,10	0,04%	0,04%	99,96%
8	2,36	1,70	0,74%	0,79%	99,21%
16	1,18	11,80	5,15%	5,94%	94,06%
30	0,6	26,80	11,71%	17,65%	82,35%
50	0,3	20,80	9,08%	26,73%	73,27%
100	0,15	12,60	5,50%	32,23%	67,77%
200	0,075	7,60	3,32%	35,55%	64,45%
400	0,038	3,60	1,57%	37,12%	62,88%
<400		143,96	62,88%	100,00%	0,00%

Fuente: Autora

Tabla 21. Distribución Granulométrica para las arcillas de Sanglia (Blanca)

COMUNIDAD		SANGLIA			
Tipo de arcilla		Blanca			
Malla	Abertura (mm)	Peso (g)	% Retenido	% Acumulado	% Pasa
4	4,75	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
8	2,36	1,30	0,51%	0,51%	99,49%
16	1,18	3,40	1,33%	1,84%	98,16%
30	0,6	7,00	2,74%	4,59%	95,41%
50	0,3	15,80	6,19%	10,78%	89,22%
100	0,15	10,80	4,23%	15,01%	84,99%
200	0,075	8,80	3,45%	18,46%	81,54%
400	0,038	4,60	1,80%	20,27%	79,73%
<400		203,40	79,73%	100,00%	0,00%

Fuente: Autora

Tabla 22. Distribución Granulométrica para las arcillas de Sanglia (Lastre)

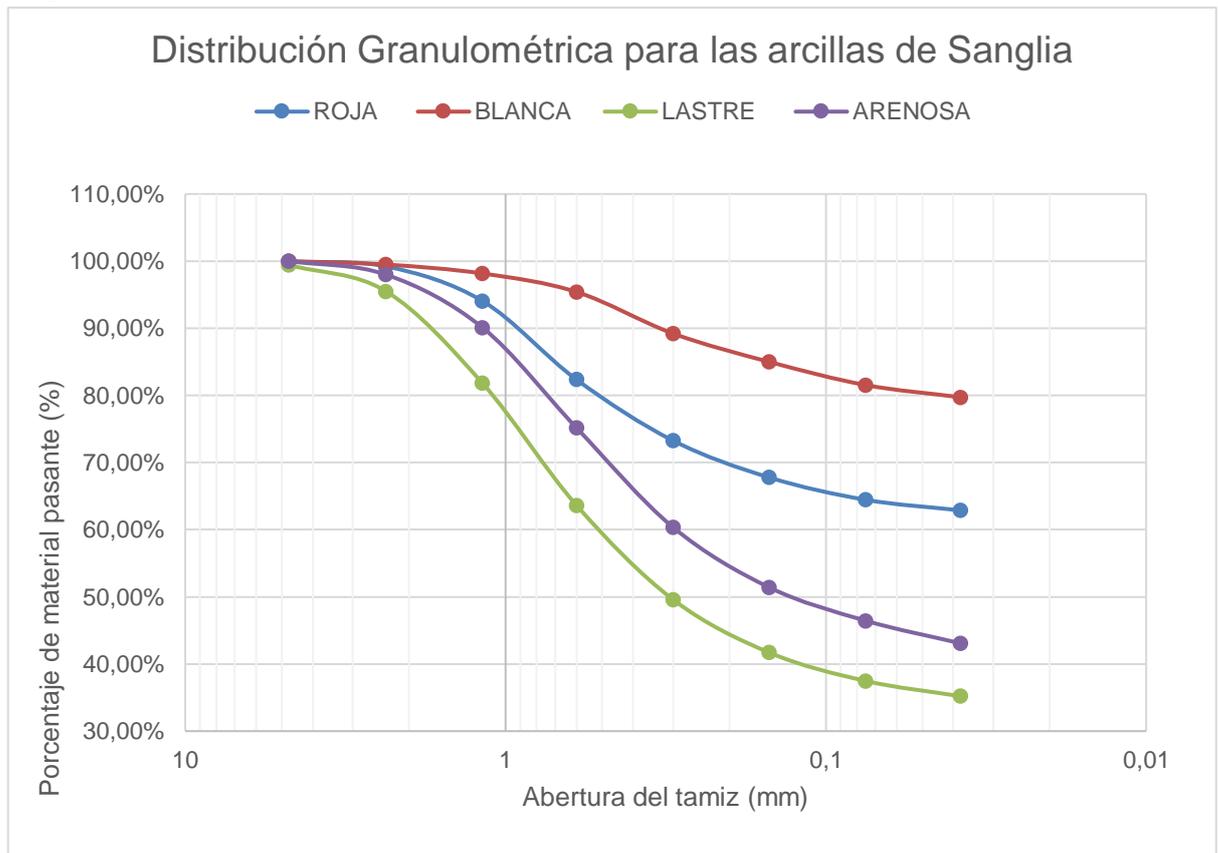
COMUNIDAD		SANGLIA			
Tipo de arcilla		Lastre			
Malla	Abertura (mm)	Peso (g)	% Retenido	% Acumulado	% Pasa
4	4,75	1,20	0,57%	0,57%	99,43%
8	2,36	8,30	3,93%	4,50%	95,50%
16	1,18	28,90	13,69%	18,19%	81,81%
30	0,6	38,40	18,19%	36,38%	63,62%
50	0,3	29,60	14,02%	50,40%	49,60%
100	0,15	16,70	7,91%	58,31%	41,69%
200	0,075	8,90	4,22%	62,53%	37,47%
400	0,038	4,80	2,27%	64,80%	35,20%
<400		74,30	35,20%	100,00%	0,00%

Fuente: Autora

Tabla 23. Distribución Granulométrica para las arcillas de Sanglia (Arenosa)

COMUNIDAD		SANGLIA			
Tipo de arcilla		Arenosa			
Malla	Abertura (mm)	Peso (g)	% Retenido	% Acumulado	% Pasa
4	4,75	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
8	2,36	4,30	2,01%	2,01%	97,99%
16	1,18	16,90	7,89%	9,90%	90,10%
30	0,6	32,00	14,94%	24,84%	75,16%
50	0,3	31,70	14,80%	39,64%	60,36%
100	0,15	19,20	8,97%	48,61%	51,39%
200	0,075	10,60	4,95%	53,56%	46,44%
400	0,038	7,20	3,36%	56,92%	43,08%
<400		92,26	43,08%	100,00%	0,00%

Fuente: Autora



Gráfica 13. Curvas de Distribución Granulométrica para cada una de las arcillas de Sanglia
Fuente: Autora

Pastas

Tabla 24. Distribución Granulométrica para la pasta de Pullcanga

PASTA Malla	Abertura (mm)	Peso (g)	PULLCANGA		
			% Retenido	% Acumulado	% Pasa
4	4,75	1,40	0,67%	0,67%	99,33%
8	2,36	7,70	3,70%	4,38%	95,62%
16	1,18	19,60	9,43%	13,80%	86,20%
30	0,6	25,20	12,12%	25,93%	74,07%
50	0,3	27,40	13,18%	39,11%	60,89%
100	0,15	22,30	10,73%	49,83%	50,17%
200	0,075	12,80	6,16%	55,99%	44,01%
400	0,038	8,30	3,99%	59,98%	40,02%
<400		83,20	40,02%	100,00%	0,00%

Fuente: Autora

Tabla 25. Distribución Granulométrica para la pasta de San Gerónimo

PASTA		SAN GERÓNIMO			
Malla	Abertura (mm)	Peso (g)	% Retenido	% Acumulado	% Pasa
4	4,75	1,60	0,76%	0,76%	99,24%
8	2,36	3,60	1,71%	2,46%	97,54%
16	1,18	16,30	7,72%	10,18%	89,82%
30	0,6	27,90	13,22%	23,40%	76,60%
50	0,3	25,40	12,03%	35,43%	64,57%
100	0,15	20,60	9,76%	45,19%	54,81%
200	0,075	13,10	6,21%	51,40%	48,60%
400	0,038	8,00	3,79%	55,19%	44,81%
<400		94,6	44,81%	100,00%	0,00%

Fuente: Autora

Tabla 26. Distribución Granulométrica para la pasta de Nuevo Susudel

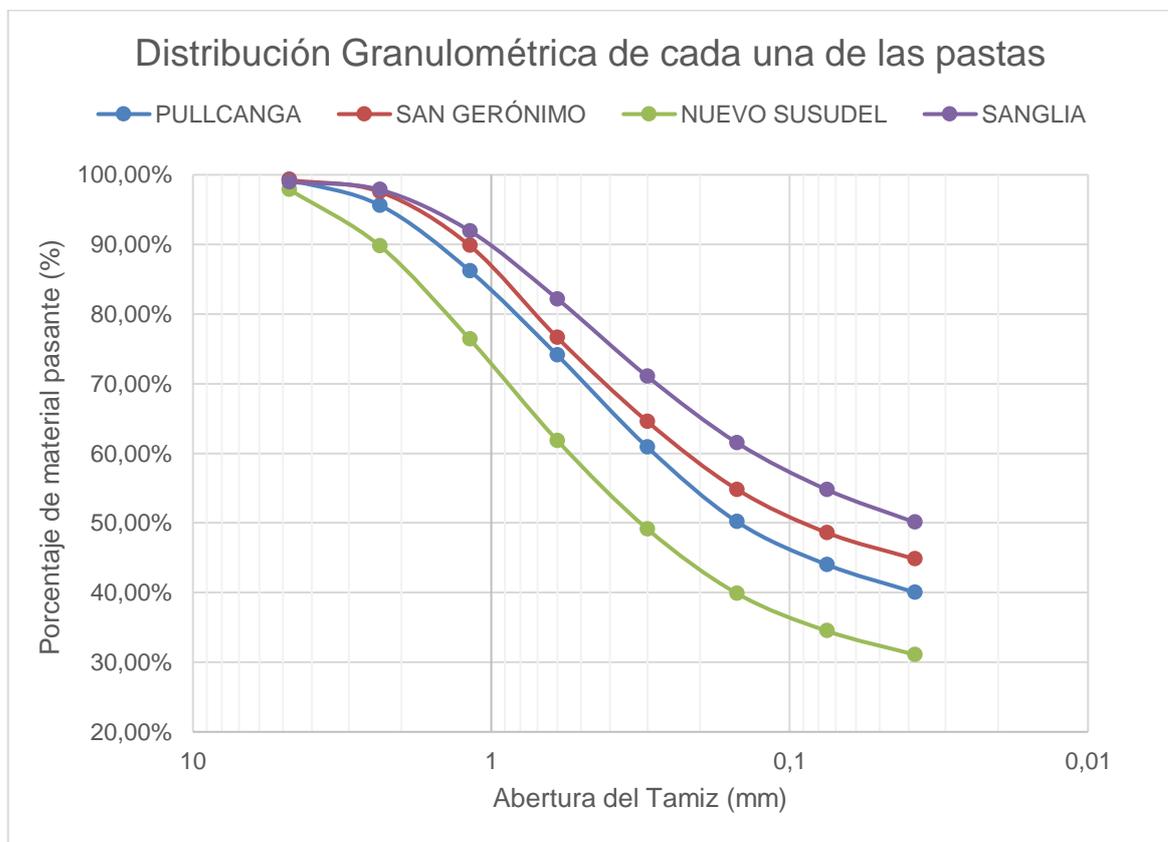
PASTA		NUEVO SUSUDEL			
Malla	Abertura (mm)	Peso (g)	% Retenido	% Acumulado	% Pasa
4	4,75	4,40	2,11%	2,11%	97,89%
8	2,36	16,90	8,12%	10,23%	89,77%
16	1,18	27,90	13,40%	23,63%	76,37%
30	0,6	30,30	14,55%	38,18%	61,82%
50	0,3	26,40	12,68%	50,86%	49,14%
100	0,15	19,30	9,27%	60,13%	39,87%
200	0,075	11,20	5,38%	65,51%	34,49%
400	0,038	7,10	3,41%	68,92%	31,08%
<400		64,72	31,08%	100,00%	0,00%

Fuente: Autora

Tabla 27. Distribución Granulométrica para la pasta de Sanglia

PASTA	SANGLIA					
	Malla	Abertura (mm)	Peso (g)	% Retenido	% Acumulado	% Pasa
	4	4,75	2,30	1,03%	1,03%	98,97%
	8	2,36	2,50	1,12%	2,15%	97,85%
	16	1,18	13,20	5,92%	8,07%	91,93%
	30	0,6	21,80	9,77%	17,84%	82,16%
	50	0,3	24,80	11,11%	28,95%	71,05%
	100	0,15	21,30	9,55%	38,50%	61,50%
	200	0,075	15,00	6,72%	45,22%	54,78%
	400	0,038	10,50	4,71%	49,92%	50,08%
	<400		111,74	50,08%	100,000%	0,000%

Fuente: Autora



Gráfica 14. Curvas de Distribución Granulométrica para las pastas en estudio

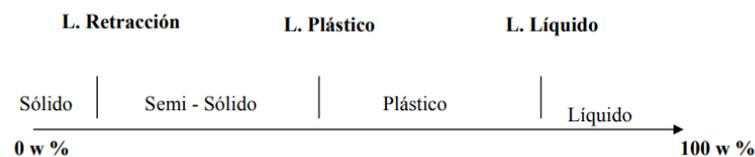
Fuente: Autora

3.2.1.3 Índice de plasticidad

La plasticidad de una arcilla se obtiene mezclando la misma, con una cantidad determinada de agua consiguiendo una masa cohesiva que puede ser moldeada fácilmente. Esta propiedad influye en el proceso de conformado de la pieza, de ahí la importancia de un control en la formulación y ajuste de las materias primas y pastas. Un gran porcentaje de defectos durante el proceso de fabricación como grietas y laminaciones en el moldeado, grietas en el secado, roturas en la manipulación de la pieza cruda y durante el transporte, son producidos por una inadecuada plasticidad (Ginés, Feliu, García & Sanz, 1997).

Método de Atterberg

Generalmente la plasticidad puede cuantificarse mediante los límites de Atterberg, por medio del cual se describe la consistencia de las arcillas con contenidos variables de agua (Puy, 2005). Los límites de Atterberg son ensayos de laboratorio normalizados que permiten obtener los rangos de humedad dentro de los cuales la arcilla se mantiene en estado plástico. El conocer los límites de Atterberg no indica cual es la cantidad de agua óptima de una pasta cerámica, pero si señala los límites entre los que se debe buscar.



Gráfica 15. Límites de Atterberg

Fuente: (Junco & Tejeda, 2014)

La relación existente entre el límite líquido y el índice de plasticidad ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla (Calvo & Durán, 2013).

El índice de plasticidad es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. La determinación tanto del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, se detallan en el Anexo 1.3

Plasticidad de las arcillas
Tabla 28. Índice de Plasticidad para las arcillas

COMUNIDAD	TIPO DE ARCILLA	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD
Pullcanga	Negra	20,55n h	15,23	5,32
	Roja	41,31	27,59	13,72
	Lastre	19,49	17,26	2,23
San Gerónimo	Negra	26,91	19,66	7,25
	Lastre	20,27	16,95	3,32
Nuevo	Plástica	18,99	15,00	3,99
Susudel	Arenosa	17,56	15,96	1,60
Sanglia	Roja	35,50	24,67	10,83
	Blanca	44,42	24,32	20,10
	Lastre	22,28	18,62	3,67
	Arenosa	24,13	17,69	6,44

Fuente: Autora

Plasticidad de las pastas
Tabla 29. Índice de Plasticidad para las pastas en estudio

COMUNIDAD/ PASTA	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD
Pullcanga	19,45	16,46	2,99
San Gerónimo	19,60	14,57	5,03
Nuevo Susudel	19,60	17,19	2,41
Sanglia	29,10	18,84	10,26

Fuente: Autora

3.2.1.4 Contracción al secado

Una vez que la pieza cerámica se ha formado, las partículas de arcilla están rodeadas de una película fina de agua, esta agua es eliminada de forma lenta y gradual durante el proceso de secado, ocasionando que la distancia entre las partículas sea menor, provocando una disminución en el volumen de la pieza, la contracción que sufre la pieza cerámica es característica de cada tipo de arcilla, mientras menor sea este porcentaje menor es la probabilidad de que se produzcan roturas o fisuras (Muñoz et al., 2007).

3.2.1.5 Contracción a la quema

La contracción a la quema es la disminución del tamaño de una pieza cerámica por acción del calor, principalmente por los cambios químicos (vitrificación) que sufren las piezas, que ocurren durante la etapa final de la cocción (Martinez, 2013). Por lo general, las pastas de baja temperatura son materiales porosos y por ende su contracción es menor; mientras que para pastas de alta temperatura, con alto grado de vitrificación presentan mayor contracción (Deleg, 2010). La temperatura a la que serán quemadas las piezas será de 850°C, que corresponde a la temperatura de la mayoría de los hornos de Susudel.

3.2.1.6 Contracción total

La contracción total resulta de la suma de las contracciones durante el secado y la quema. Los procedimientos para la determinación de la contracción al secado, contracción a la quema y contracción total se presentan en el Anexo 1.4. En las siguientes tablas, se muestran los diferentes tipos de contracciones tanto para las arcillas como para las pastas que fueron estudiadas.

Arcillas

Tabla 30. Porcentajes de contracción (al secado, a la quema y total) para las arcillas

COMUNIDAD	TIPO DE ARCILLA	CONTRACCIÓN AL SECADO (%)	CONTRACCIÓN A LA QUEMA (%)	CONTRACCIÓN TOTAL (%)
Pullcanga	Negra	4,46%	0,84%	5,26%
	Roja	8,40%	5,21%	13,18%
	Lastre	2,12%	1,14%	3,24%
San Gerónimo	Negra	6,92%	2,11%	8,88%
	Lastre	2,76%	0,62%	3,48%
Nuevo	Plástica	3,14%	0,85%	3,96%
Susudel	Arenosa	3,10%	0,64%	3,68%
	Roja	8,20%	1,94%	9,98%
Sanglia	Blanca	11,23%	2,07%	13,07%
	Lastre	4,22%	1,46%	5,53%
	Arenosa	3,70%	0,36%	4,13%

Fuente: Autora

**Pastas**

Tabla 31. Porcentajes de contracción (al secado, a la quema y total) para las pastas analizadas

PASTA/ COMUNIDAD	CONTRACCIÓN AL SECADO (%)	CONTRACCIÓN A LA QUEMA (%)	CONTRACCIÓN TOTAL (%)
Pullcanga	2,84%	0,72%	3,50%
San Gerónimo	3,96%	0,83%	4,73%
Nuevo Susudel	2,24%	1,36%	3,60%
Sanglia	4,28%	1,36%	5,58%

Fuente: Autora

3.2.1.7 Porcentaje de absorción de agua y espacio poroso**Absorción de agua**

Una pieza cerámica que ha pasado por el proceso de cocción, presenta por lo general poros abiertos, y por inmersión en agua ganará peso hasta que llega a la saturación, la absorción de agua se expresa como relación del porcentaje entre el aumento de peso en la pieza con respecto al material seco. La absorción está directamente relacionada con la porosidad del material y el tamaño de partícula, al igual que con el grado de vitrificación (Arévalo, 2005).

Porosidad

Es la relación que existe entre el volumen total de los poros abiertos y el volumen total ocupado, indica la permeabilidad del material a los fluidos como aire o agua. El grado de porosidad varía según el tipo de arcilla, dependiendo de la consistencia más o menos compacta que adopta el cuerpo cerámico después de la cocción. Las arcillas cuyas cocciones se hacen a bajas temperaturas tienen un índice elevado de absorción de agua puesto que son más porosas (Tufiño, Viera, Lascano, & Guerrero, 2015).

- **Porosidad verdadera:** es la relación existente entre el volumen total ocupado por los poros abiertos y cerrados, y el volumen total ocupado por el sólido (Astudillo & Avilés, 2005).
- **Porosidad aparente:** es la relación existente entre el volumen ocupado por los poros abiertos y el volumen total ocupado por el sólido. Generalmente este tipo de porosidad se mide con mayor facilidad (Astudillo & Avilés, 2005).

En las siguientes tablas, se presentan los resultados obtenidos, mientras que el proceso de preparación y fabricación de las placas se detalla en el Anexo 1.5.



Tabla 32. Porcentajes de absorción de agua para las arcillas de Pullcanga

COMUNIDAD	TIPO DE ARCILLA	ABSORCIÓN DE AGUA (%)	ESPACIO POROSO (%)
Pullcanga	Negra	13,90%	25,78%
	Roja	23,67%	42,47%
	Lastre	13,80%	25,43%
San Gerónimo	Negra	16,97%	30,16%
	Lastre	14,15%	25,40%
Nuevo Susudel	Plástica	13,13%	25,20%
	Arenosa	13,18%	25,84%
Sanglia	Roja	20,47%	36,45%
	Blanca	24,68%	42,34%
	Lastre	17,06%	32,32%
	Arenosa	18,62%	32,66%

Fuente: Autora

Pastas

Tabla 33. Porcentajes de absorción de agua para las pastas en análisis

Pasta/ Comunidad	Absorción de agua (%)	Espacio poroso (%)
Pullcanga	16,00%	28,04
San Gerónimo	14,27%	25,76
Nuevo Susudel	12,71%	24,43
Sanglia	17,25%	31,43

Fuente: Autora

3.2.1.8 Propiedades Químicas

Las propiedades químicas son aquellas en las que existe una modificación o un cambio dentro de su composición ya sea al adicionar alguna sustancia reactiva o debido a las condiciones experimentales.

Análisis del pH

En cerámica el pH se define como la medida de la acidez que presenta una arcilla dispersa en el agua, por lo general el pH de las arcillas está comprendido entre valores

de 6 a 10,5. Algunas arcillas naturales rojas para ladrillos, arcillas grasas y otras arcillas plásticas presentan un $\text{pH} < 7$, mientras que los caolines de alfarería presentan $\text{pH} > 7$. Es un factor influyente en la plasticidad de la arcilla, la mayor plasticidad de las arcillas se presentan dentro de un rango de pH de 6 a 8,5 (Singer & Singer, 1979). La determinación del pH se efectúa, para medidas exactas, con un potenciómetro, fundamentado en la medida de la conductividad, debida a los iones presentes en la disolución.

Arcillas

Tabla 34. pH de cada una de las arcillas

COMUNIDAD	TIPO DE ARCILLA	PH
Pullcanga	Negra	6,15
	Roja	4,83
	Lastre	6,54
San Geronimo	Negra	5,95
	Lastre	6,55
Nuevo Susudel	Plástica	6,55
	Arenosa	6,73
Sanglia	Roja	4,79
	Blanca	5,53
	Lastre	5,68
	Arenosa	4,75

Fuente: Autora

Pastas

Tabla 35. pH para cada una de las pastas de las cuatro comunidades

Pasta/Comunidad	pH
Pullcanga	5,74
San Gerónimo	5,95
Nuevo Susudel	6,93
Sanglia	6,68

Fuente: Autora

3.3 ANALISIS DE RESULTADOS

Con la caracterización de las materias primas y pastas, se pudo realizar una clasificación de las mismas, e inferir su comportamiento en las pastas.



Arcillas

La humedad de las arcillas se encontró entre el 4,20% y 37,84%, lo que indicó la capacidad de absorción de agua que presentan las arcillas crudas en condiciones naturales, es así que las arcillas con un mayor porcentaje de humedad fueron las arcillas Blanca y Roja de Sanglia con porcentajes de humedad del 37,84% y 24,43%, respectivamente; así también las arcillas de la comunidad de Pullcanga presentaron porcentajes de humedad considerables, la Lastre con un porcentaje de humedad del 9,11% y la arcilla Roja con un 6,77%; mientras que las arcillas con un menor porcentaje de humedad pertenecieron a la comunidad de Nuevo Susudel y fueron las arcillas Plástica y Arenosa con humedades del 4,20% y 5,23%. Estos porcentajes de humedad dependen de las condiciones ambientales al momento de recoger las muestras, en general las arcillas que más agua absorbieron, fueron más plásticas y tuvieron una granulometría fina, mientras que las que absorbieron menor cantidad de agua, fueron menos plásticas y de mayor tamaño de grano.

En cuanto al análisis granulométrico corroborando lo anteriormente indicado, las arcillas Roja y Blanca de la comunidad de Sanglia, presentaron porcentajes de finos del 62,9% y 79,7%, seguida por la arcilla Roja de la comunidad de Pullcanga con un 59,6% de finos, en cambio las arcillas con el más bajo porcentaje de finos fueron la Lastre de la comunidad de Pullcanga que tuvo un 19,9% de finos y la arcilla Arenosa de Nuevo Susudel que contó con un 28,3% de finos.

Así mismo las arcillas Blanca y Roja de la comunidad de Sanglia, tuvieron índices de plasticidad del 20,10 y 10,83 respectivamente y la arcilla Roja de la comunidad de Pullcanga presentó un índice de plasticidad del 13,72, mientras que las arcillas que no poseían un alto porcentaje de finos tuvieron bajos índices de plasticidad, como es el caso de las arcillas Plástica y Arenosa pertenecientes a la comunidad de Nuevo Susudel que tuvieron una plasticidad del 3,99 y 1,60.

Las arcillas con un alto porcentaje de finos y un elevado índice de plasticidad también presentaron un alto valor de contracción total, las arcillas Blanca y Roja de la comunidad de Sanglia y la arcilla Roja de la comunidad de Pullcanga presentaron los porcentajes más altos de contracción, mientras que las arcillas Lastre de Pullcanga y Lastre de San Gerónimo fueron las arcillas con el menor porcentaje de contracción total, estos porcentajes de contracción bajos se relacionaron con la baja cantidad de finos presentes en las arcillas.

Otro factor que es influenciado por la distribución granulométrica es el porcentaje de absorción de agua, lo que se pudo apreciar en la arcilla Blanca de la comunidad de



Sanglia y la arcilla Roja de la comunidad de Pullcanga, que tuvieron valores 24,68% y 23,67% respectivamente, y que presentaron también altos porcentajes de finos; mientras que las arcillas de Nuevo Susudel, Plástica, y Arenosa tuvieron los más bajos porcentajes de absorción de agua 13,13% y 13,18% respectivamente y los valores más bajos de finos.

Pastas

Los porcentajes de humedad de las pastas fueron 20,00% para la pasta de San Gerónimo. 23,01% para la pasta de Nuevo Susudel, 24,70% para la pasta de Pullcanga y 28,5% para la pasta de Sanglia, son consecuencia de la cantidad de agua que agregan los artesanos para obtener una pasta moldeable y que no presente roturas o fisuras en los elementos formados y tienen relación directa con la cantidad de arcilla coloidal presentes en las materias primas.

Con respecto a la granulometría, la pasta de la comunidad San Gerónimo presentó un porcentaje de finos del 31% seguida por la comunidad de Nuevo Susudel que presentó un porcentaje de finos del 40%, la de la comunidad de Pullcanga tuvo un valor de finos del 44,8% y la pasta de la comunidad de Sanglia tuvo un porcentaje de finos del 50,08%, esto está relacionado con la plasticidad que presentaron las pastas, es así que las de Nuevo Susudel y Pullcanga fueron consideradas como pastas con una plasticidad baja mientras que la pasta de San Gerónimo tuvo una plasticidad media y la pasta de Sanglia fue considerada como una de plasticidad media/alta, lo que justifica también los porcentajes altos de humedad que contenían y la facilidad al momento de ser moldeadas.

Las pastas de plasticidades bajas tuvieron valores más bajos de contracción al secado en tanto que las de mayor plasticidad presentaron un mayor porcentaje de contracción al secado. La pasta Sanglia al poseer un gran contenido de finos y un índice de plasticidad medio, contó con un elevado porcentaje de contracción que fue del 5,58% y también con un alto porcentaje de absorción de agua del 17,25%, mientras que la pasta de Pullcanga tuvo un porcentaje de contracción total y de absorción de agua considerable que fue del 5,50% y 28,04% respectivamente, mientras que las pastas de Nuevo Susudel y San Gerónimo tuvieron bajos porcentajes de contracción total y de absorción de agua.



pH

Analizando el pH de todas las arcillas en general, las arcillas de la comunidad de Sanglia especialmente la arcilla Arenosa fue la que presentó el pH más bajo (4,75), mientras que la arcilla Arenosa de la comunidad de Nuevo Susudel presentó el pH más elevado de 6,73. Según Singer & Singer, 1979, el pH de las arcillas rojas, que son las más utilizadas en la elaboración de ladrillos, siempre es menor a 7, hecho que se cumplió en esta prueba, pues todas presentaron un pH ácido. Al presentar todas las arcillas un pH ácido, es común que las pastas presenten un pH en este rango, pero estos valores estuvieron más cercanos a la neutralidad (pH cercano a 7). La pasta de la comunidad de Pullcanga presentó un pH 5,74, mientras que la pasta de Nuevo Susudel presentó un pH de 6,93, siendo estas dos pastas las de mayor y menor pH respectivamente.

A continuación se presenta la tabla resumen, en la cual se puede observar los valores de las principales propiedades de las arcillas y que permite visualizar y comparar más fácilmente los resultados obtenidos.

Tabla 36. Caracterización de las arcillas

Comunidad	Tipo de arcilla	Plasticidad	Contracción total (%)	Porcentaje de finos (%)	Absorción de agua (%)
Pullcanga	Negra	5,32	5,26%	51,64%	13,90%
	Roja	13,72	13,18%	59,59%	23,67%
	Lastre	2,23	3,24%	19,91%	13,80%
San Gerónimo	Negra	7,25	8,88%	53,85%	16,97%
	Lastre	3,32	3,48%	30,57%	14,15%
Nuevo Susudel	Plástica	3,99	3,96%	36,19%	13,13%
	Arenosa	1,60	3,68%	28,28%	13,18%
Sanglia	Roja	10,83	9,98%	62,88%	20,47%
	Blanca	20,10	13,07%	79,73%	24,68%
	Lastre	3,67	5,53%	35,20%	17,06%
	Arenosa	6,44	4,13%	43,08%	18,62%

Fuente: Autora

Con respecto a los valores tanto de plasticidad, contracción total, porcentaje de finos y absorción de agua, se considera que, las arcillas de Pullcanga, Negra y Lastre, son arcillas de bajas plasticidad, contracción y absorción de agua, así como con un bajo porcentaje de finos lo que lleva a asumir que se tratan de materiales con un alto contenido de desengrasantes; mientras que la arcilla Roja al presentar una plasticidad media/alta, una contracción y absorción de agua altos y un elevado contenido de finos,



es una arcilla plástica. En el caso de las arcillas de San Gerónimo, la arcilla Negra presentó una plasticidad y una absorción de agua medias, una contracción y un porcentaje de finos, altos, por lo que se considera que ésta actúa como un material medianamente plástico; en tanto que la arcilla Lastre tuvo una plasticidad, porcentaje de contracción, porcentaje de finos y absorción de agua bajos, por lo que se asume que este material cumple el papel de desengrasante. Para las arcillas de Nuevo Susudel, las dos presentaron características muy similares, los índices de plasticidad, valores de contracción, absorción de agua, y porcentaje de finos fueron bajos, por lo que se supone se comportan como materiales desengrasantes. En cambio para las arcillas de Sanglia, Roja y Blanca son materiales con altos valores de plasticidad, de contracción, absorción de agua y porcentaje de finos, considerando a estos dos materiales como plásticos, mientras que las arcillas Lastre y Arenosa tuvieron bajos valores de plasticidad, de contracción y porcentaje de finos, y valores medios de absorción de agua, por lo que actúan como materiales desengrasantes.

Tabla 37. Caracterización de las pastas

Pasta/ Comunidad	Plasticidad	Contracción total (%)	Porcentaje de finos (%)	Absorción de agua (%)
Pullcanga	2,99	3,50%	40,02%	16,00%
San Gerónimo	5,03	4,73%	44,81%	14,27%
Nuevo Susudel	2,41	3,60%	31,08%	12,71%
Sanglia	10,26	5,58%	50,08%	17,25%

Fuente: Autora

Como se observa en esta tabla, la pasta de Sanglia presenta valores relativamente altos de plasticidad, porcentaje de contracción, absorción de agua y finos, mientras que las pastas de Pullcanga y Nuevo Susudel se consideran como pastas con bajos índices de plasticidad y de contracción, aunque los porcentajes de finos y de absorción de agua son altos para Pullcanga, y bajos para Nuevo Susudel. La pasta de San Gerónimo presenta en todos estos aspectos valores intermedios.

El conocimiento de las propiedades de las arcillas permite inferir en su comportamiento dentro de las pastas por lo tanto el aporte que dan a las mismas. En tanto que la caracterización de las pastas sirve como base de comparación de las nuevas que se obtuvieron. Con el fin de determinar si las pastas requieren ser optimizadas, primero se realizó una prueba utilizando las pastas actuales, usadas para ladrillo panelón, en la obtención de ladrillos para pisos con los nuevos diseños obtenidos dentro del proyecto Later Eris.





CAPITULO 4: OPTIMIZACIÓN DE PASTAS PARA LADRILLOS DE PISOS

El principal objetivo de la tesis es conseguir que las ladrilleras de Susudel puedan diversificar sus productos, obteniendo ladrillos para piso con nuevos diseños, usando las mismas materias primas que utilizar actualmente en la elaboración de ladrillo panelón.

4.1 NUEVOS DISEÑOS DE MOLDES

Desarrollar nuevos diseños de ladrillos para piso implicó generar formas que puedan dar lugar a diferentes tramas modulares. Además de crear nuevas formas que produzcan nuevos diseños mediante la aplicación de improntas en la superficie visible del ladrillo.

4.1.1 CRITERIOS CONSIDERADOS EN EL DISEÑO DE MOLDES E IMPRONTAS

Debido al proceso de fabricación artesanal de los ladrillos, las piezas cerámicas siempre están sometidas a una continua manipulación, en el moldeo, pulido, apilado, quemado, transporte y colocación, estas actividades constantes hacen que las piezas se rompan o presenten trizaduras fácilmente, es así que para el diseño de los nuevos moldes se evitó:

- Ángulos demasiado pronunciados, ya que dificultan el desmolde de las piezas, provocando tensiones que dan lugar a grietas o roturas; el proceso de pulido toma más tiempo, el cargado y acomodado en el horno se dificulta al adecuar las piezas para una buena circulación de los gases de combustión y en el transporte pueden haber roturas de vértices o aristas.
- El tamaño de los moldes es una característica a considerar, pues tamaños muy pequeños hacen que el proceso productivo se alargue al dificultar el pulido y apilado de las piezas, mientras que tamaños muy grandes tienden a presentar mayor alabeo a más que dificultan su manipulación y transporte.
- Las improntas deben ser sencillas y no muy profundas para no obstaculizar la limpieza durante el uso.
- Las dimensiones de las improntas no deben ser muy pequeñas, porque hacen más difícil el proceso de elaboración.

4.1.2 MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE MOLDES

Dentro del proyecto a más de buscar nuevos modelos para ladrillos de revestimiento de piso, se buscó modelos orgánicos, nuevas formas y facilitar la elaboración de los



mismos, fue así que se eligió el acero como materia prima de los moldes, debido a la durabilidad frente a la constante manipulación y la disponibilidad del material. Cuenta con características tales como:

- Alta resistencia mecánica
- Ductilidad a temperatura ambiente
- Versatilidad en la producción de formas
- Durabilidad

Por estas propiedades se ha escogido una placa de acero plana rectangular, con un altura de 25,4mm y 3mm de espesor (DIPAC, 2016).

4.1.2.1 Ventajas de usar moldes de acero en la elaboración de ladrillos de revestimiento de piso

- El acero permite crear formas versátiles y complejas, a diferencia de la madera que es el material usado por los artesanos ladrilleros de Susudel.
- Su tiempo de duración es más prolongado, con respecto a los moldes de madera, permitiendo formar un mayor número de piezas por molde antes de ser descartado debido a su deterioro.
- La madera es un material higroscópico y al estar en contacto continuo con el agua y las pastas, aumenta su peso y se dificulta su manejo, mientras que un molde de metal conserva sus características.
- Su limpieza se realiza con gran facilidad, al igual que el desmolde de la pieza.
- En la parroquia Susudel existen pocos talleres que fabriquen moldes de madera y su tiempo de elaboración es largo en comparación con el requerido para fabricar el mismo molde en acero. Dentro del proyecto se pretende capacitar a los artesanos en la elaboración de éstos, para que desarrollen sus propios diseños y fabriquen sus moldes.

4.1.3 PRUEBAS CON LAS PASTA ACTUALES

Como se indicó al final del capítulo anterior, para determinar si las pastas trabajan bien con los nuevos diseños o requieren ser modificadas se elaboraron prototipos con estas pastas.

Para este proceso se utilizó aproximadamente 15 kg de cada una de las pastas de las cuatro comunidades en estudio. Fue necesario que las pastas recolectadas mantengan sus condiciones iniciales de humedad y granulometría, para lo cual se siguió el procedimiento indicado a continuación:

- Las pastas fueron recolectadas en fundas plásticas (para mantener la humedad), justo en el momento en el que, los artesanos estaban moldeando ladrillos panelón.
- Fueron transportadas lo más pronto posible al laboratorio para determinar inmediatamente la humedad, y se conservó durante el proceso de elaboración de prototipos. Las pastas tuvieron humedades entre el 20% y 28,5% como se indicó en la tabla N° 9 del capítulo 3.
- Se trabajó con la misma granulometría de las ladrilleras artesanales, es decir las pastas no fueron sometidas a ningún proceso de trituración o molienda.
- Antes del moldeo, las pastas debieron estar completamente homogenizadas.

Se cumplió con estas pautas, con el propósito de alterar lo menos posible las pastas y emular las condiciones de trabajo de los artesanos de Susudel.

4.1.4 ELABORACIÓN DE PROTOTIPOS DE LADRILLOS

En la generación de nuevos diseños de ladrillos, trabajaron tanto las Facultades de Artes como de Arquitectura, y se partió inicialmente de dos formas básicas, hexagonal y de chacana, cuyos moldes fueron fabricados en los talleres de la Facultad de Artes.



Ilustración 11. Molde hexagonal

Fuente: Autora



Ilustración 12. Molde de chacana

Fuente: Autora

Con los nuevos moldes de metal y la pasta correctamente homogenizada se elaboraron los ladrillos para revestimiento de piso tratando de ajustarse a las condiciones de trabajo de las ladrilleras de Susudel.

- Con el fin de lubricar el molde y facilitar el desmolde, se pasó una esponja húmeda en la superficie de formación.
- Los artesanos utilizan el piso de tierra como medio absorbente, el mismo que colabora con el secado de las piezas cerámicas, para estos prototipos se utilizó papel periódico como absorbente.
- Con las manos se colocó la pasta sobre el molde con una determinada fuerza, para lograr una adecuada compactación y evitar espacios vacíos; la pasta se colocó hasta por encima del borde del molde.
- Con una llana se retiró el exceso de pasta y se aplanó para formar la cara superior de la pieza cerámica. En seguida se retiró el molde y se obtuvo la pieza formada.



Ilustración 13. Pieza prototipo hexagonal

Fuente: Autora



Ilustración 14. Pieza prototipo chacana

Fuente: Autora

- Las piezas cerámicas formadas no se movieron durante los primeros 4 días de secado que se realizó a temperatura y condiciones ambientales, a partir del quinto día de secado se voltearon los ladrillos para conseguir un secado homogéneo. Cuando las piezas fueron totalmente manipulables, se eliminaron las rebabas. El secado total duró entre 8 y 12 días.



Ilustración 15. Secado de los prototipos

Fuente: Autora

- Cuando se observó que los ladrillos estaban completamente secos, fueron trasladados y quemados en los hornos de Susudel; la quema duró alrededor de 38 horas, mientras que el enfriado del horno tomó aproximadamente 24 horas.



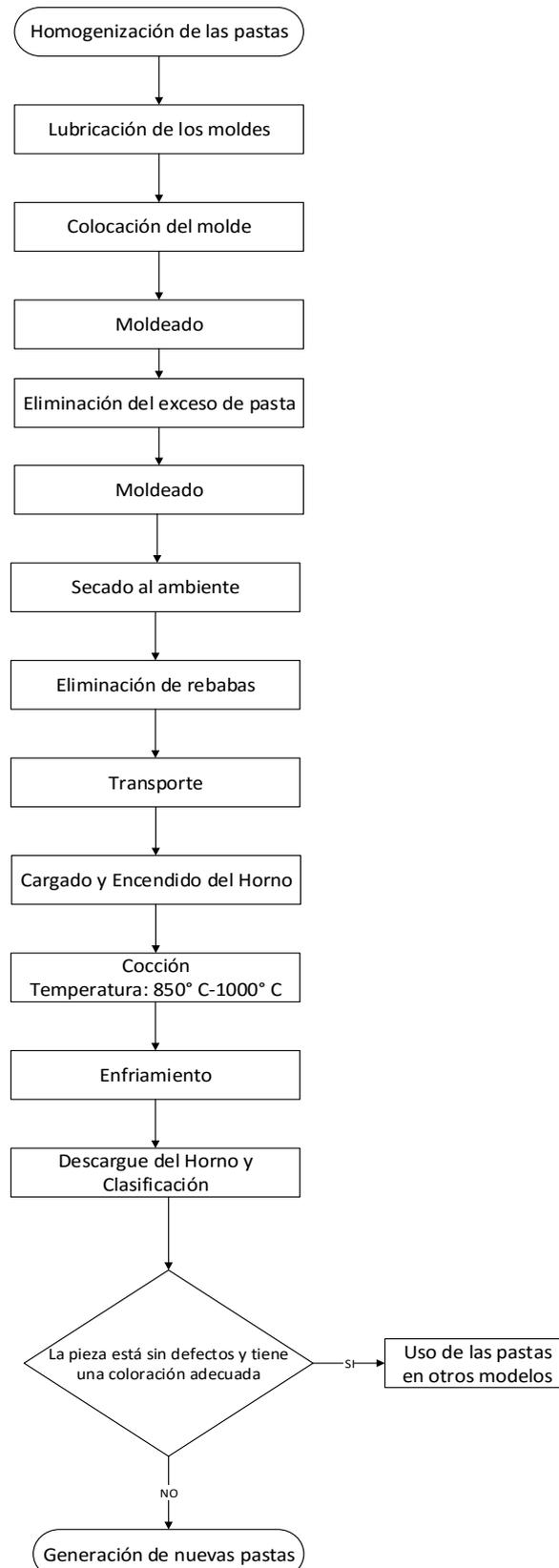
Ilustración 16. Muestras completamente secas listas para ingresar al horno

Fuente: Autora

- Se descargó el horno, se analizaron las características de los prototipos como: color, presencias de grietas, fisuras o trizaduras y de acuerdo al producto obtenido se vio o no a necesidad de optimizar la dosificación de las pastas.

A más de los moldes de acero, se vio la posibilidad de usar moldes de madera contrachapada. Para ello se siguió el mismo procedimiento descrito anteriormente y que además se sintetiza en el siguiente diagrama de flujo.

DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS
PARA REVESTIMIENTO DE PISO (PROTOTIPOS)



Gráfica 16. Diagrama de flujo para la elaboración de prototipos
Fuente: Autora



4.1.5 CARACTERIZACIÓN CUALITATIVA DE PROTOTIPOS, DURANTE LOS PROCESOS DE OBTENCIÓN

Para cada uno de los ladrillos elaborados se realizó una calificación cualitativa, se tomó en cuenta las etapas más importantes dentro del proceso de elaboración. Esta caracterización consistió en calificar las cualidades perceptibles a simple vista, asignándoles un valor numérico. Las etapas a considerar fueron:

- Formación/moldeo
- Desmolde
- Secado
- Quema y enfriamiento

Para lo cual se diseñó la siguiente escala de puntajes.

Tabla 38. Escala de Puntaje

Calificación	Puntaje
Excelente	4
Bueno	3
Regular	2
Malo	1

Fuente: Elaboración Propia

4.1.6 CRITERIOS TOMADOS PARA LA CALIFICACIÓN

DURANTE LA FORMACIÓN

- La pasta tuvo la consistencia adecuada y al ser colocada en el molde se acomoda correctamente esparciéndose libremente pero sin escurrirse.
- Al pasar la esponja húmeda por la superficie de ladrillo formado, adquirió un aspecto liso, sin ser granulosa, obteniendo una buena estética.

4.1.6.1 DURANTE EL DESMOLDE

- Al momento de desmoldar la pieza, la pasta no se quedó adherida en el molde y se retiró fácilmente.
- Las caras, aristas y vértices fueron regulares, lisos y están completos (sin roturas).

4.1.6.2 DURANTE EL SECADO

- Durante este proceso la pieza no debía presentar trizaduras, alabeos, ni debía romperse.



- Al remover las rebabas se desprendían fácilmente, sin producir deterioro en la superficie de la pieza.
- Se pudieron mover y voltear fácilmente.

4.1.6.3 DESPUÉS DE LA QUEMA

- No debían presentar trizaduras y/o roturas luego de la quema y enfriamiento.
- Mostraban un color uniforme.
- La superficie del ladrillo era lisa y homogénea.
- Lados, vértices y aristas debían estar completos.



Tabla 39. Calificación para cada uno de los prototipos

Material del molde	Pasta/molde	Formación	Desmolde	Secado	Quema y enfriamiento
Metal	Sanglia /chacana	4	4	4	4
Metal	Sanglia /hexágono	4	4	4	4
Metal	San Gerónimo/chacana	4	3	3	2
Metal	San Gerónimo/hexágono	4	3	3	2
Metal	Pullcanga /chacana	2	3	2	1
Metal	Pullcanga /hexágono	2	3	2	1
Metal	Nuevo Susudel /chacana	2	3	2	2
Metal	Nuevo Susudel/hexágono	2	3	2	2
Madera contrachapada	Sanglia/redondeado	2	1	-----	-----
Madera contrachapada	Nuevo Susudel /cruz	2	1	-----	-----

Fuente: Autora

De acuerdo a estos criterios se calificó a los ladrillos quemados; los resultados fueron favorables para la pasta de Sanglia, pero para las tres pastas restantes (Nuevo Susudel, San Gerónimo y Pullcanga), no fueron tan buenos, se obtuvieron productos con grietas y roturas en toda la pieza. Esto para el caso de los moldes de acero.

Con los moldes de madera contrachapada no se obtuvieron buenos resultados. Evidenciándose claramente que este material no es apta para este propósito, por lo que para las siguientes pruebas solo se utilizaron moldes de acero. A continuación se presentan las fotografías de lo mencionado.

Piezas elaboradas con moldes de acero



Ilustración 17. Prototipos con grietas(San Gerónimo)

Fuente: Autora



Ilustración 18. Prototipos con grietas (Nuevo Susudel)

Fuente: Autora



Ilustración 19. Prototipos con grietas (Pullcanga)

Fuente: Autora



Ilustración 20. Prototipos sin imperfecciones (Sanglia)
Fuente: Autora



Ilustración 21. Molde de madera contrachapada
Fuente: Autora



Ilustración 22. Prototipo usando moldes de madera
Fuente: Autora

Cabe indicar que estas pruebas se realizaron por duplicado obteniendo resultados concordantes.

De acuerdo a las calificaciones, la pasta producida en la comunidad de Sanglia no requería de una reformulación, mientras que las tres pastas restantes -Nuevo Susudel, Pullcanga y San Gerónimo-, necesitaban una modificación de las pastas, que permitieran su uso en la elaboración de nuevos diseños. Para este propósito se planteó la utilización de un diseño de mezclas para cada una de ellas.

Un factor que influyó en la producción de defectos en las piezas cerámicas fue la altura de los moldes, sobre todo para las piezas de mayor tamaño, por lo que se decidió incrementar la misma, punto en el que concordaron los artesanos, al ser socializados con ellos los resultados de los prototipos.

4.1.7 DISEÑO DE MEZCLAS

Diseño en el cual los factores son componentes o ingredientes de una mezcla. Las variables de respuesta dependen de las proporciones en las cuales participan los ingredientes en la mezcla y no de la cantidad de la mezcla (Gutiérrez & De la Vara, 2012). Con el diseño de mezcla se busca:

- Determinar cuál de los componentes de la mezcla o interacción entre ellos presenta mayor influencia sobre las variables de respuesta.
- Modelar las repuestas (obtención de un modelo matemático) en función de las proporciones de los componentes de la mezcla.
- Usar dichos modelos para determinar el porcentaje con el que participa cada uno de los componentes para lograr que la mezcla cuente con las propiedades deseadas (Gutiérrez & De la Vara, 2012).

Una de las características principales de un diseño de mezclas es que los factores independientes o controlables representan cantidades proporcionales de la mezcla que pueden ser volúmenes, pesos o fracciones molares. Estas proporciones no pueden ser negativas, y si se expresan como fracciones de la mezcla, la suma de todas las fracciones debe ser la unidad.

Haciendo que q represente al número de componentes del sistema, mientras que x_i representa la proporción de cada i componente en la mezcla, entonces (Cornell, 2002):

$$x_i \geq 0 \quad i = 1, 2, 3 \dots, q \quad \text{Ecuación 1}$$

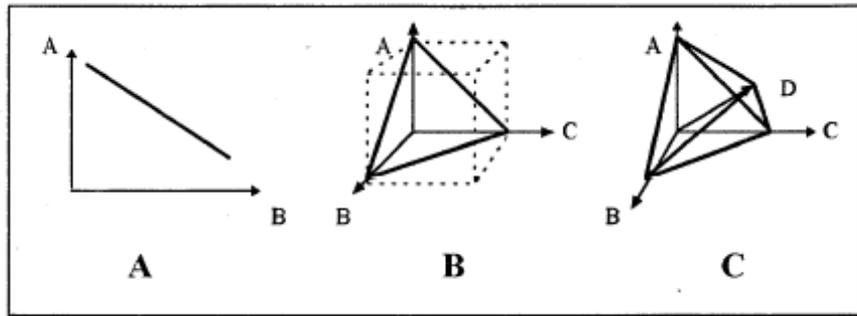
Lo que significa que debemos contar con componentes mayores a cero.

$$\sum_{i=1}^q x_i = x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_q = 1 \quad \text{Ecuación 2}$$

Lo que indica que la suma de todas las proporciones, expresadas en fracciones, debe sumar la unidad. Si alguna proporción suma la unidad de forma individual, se trata de una mezcla pura. Las mezclas puras son utilizadas como estándares de comparación contra mezclas multicomponentes (Cornell, 2002).

Las características que se definen en las ecuaciones anteriores pueden ser descritas mediante un factor espacial Simplex. El número de componentes en un experimento con mezclas es el que define el número de ejes que tendrá el factor espacial. Para una mezcla de dos componentes ($q = 2$) el factor espacial se expresa dentro de un sistema de dos ejes. Para una mezcla de tres componentes ($q = 3$) el factor espacial se

encuentra en tres ejes, mientras que para cuatro componentes ($q = 4$) el factor se encuentra en cuatro ejes. Como se puede observar en la figura (Maldonado, 2000).



Gráfica 17. Representación de los factores espaciales para diferentes componentes de mezcla
Fuente: (Maldonado, 2000)

Cuando $q = 2$, todas las posibles mezclas con los dos componentes se encuentran representadas por medio de la línea recta, los extremos de esta línea se extenderán hasta la unidad de cada uno de los ejes, siendo las mezclas puras las que se encuentran en los extremos de la línea. Cuando tenemos $q = 3$, las variaciones diferentes de las proporciones se encuentran dentro del triángulo equilátero, además la longitud de los lados del triángulo equilátero será la unidad.

4.1.7.1 Diseño Simplex – Lattice

Uno de los diseños más usados es el llamado Simplex-Lattice, que consiste en puntos (experimentos) uniformemente espaciados en los espacios sobre la región Simplex (Sánchez, 2012). El diseño Simplex Lattice (q, m), considera q componentes y m como el número de niveles y permite ajustar un modelo estadístico. Los puntos del diseño consisten en todas las posibles combinaciones o mezclas que se forman al considerar que las proporciones pueden tomar los $m + 1$ valores entre cero y uno dado por: (Gutiérrez & De la Vara, 2012)

$$x_i = 0, 1/m, 2/m, \dots, m/m \quad \text{Ecuación 3}$$

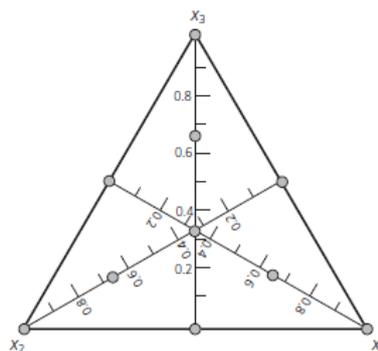
Por ejemplo, un diseño Lattice (3,3) implica $q = 3$ y $m = 3$, los valores que pueden tomar los componentes son $x_i = 0, 1/3, 2/3, 1$ (Gutiérrez & De la Vara, 2012). Las mezclas de tres componentes que se pueden formar con estos valores son:

$$(x_1, x_2, x_3) = (1, 0, 0); (0, 1, 0); (0, 0, 1); (2/3, 1/3, 0); (2/3, 0, 1/3); (0, 2/3, 1/3); (1/3, 2/3, 0); (1/3, 0, 2/3); (0, 1/3, 2/3); (1/3, 1/3, 1/3)$$

Aumento del diseño

Si se consideran tres parámetros para el modelo, el diseño no es capaz de estimar el error experimental y probar la validez del ajuste, por lo que se usa un modelo simplex – centroide que adiciona un punto central (1/3, 1/3, 1/3).

El diseño Simplex Lattice para modelos cuadráticos ($m = 2$) incluye mezclas binarias cuyas coordenadas corresponden a los puntos medios en las líneas que conectan los vértices para estimar efectos no lineales. Un estudio más completo puede realizarse aumentando el modelo simplex-centroide con puntos adicionales conocidos como axiales. Estos puntos incluyen a los tres componentes y están localizados a una distancia $d = 2/3$ desde el centroide en el radio que lo conecta con estos vértices, para determinar si el modelo es apropiado (Gozálvez & García, 2006).



Gráfica 18. Diseño Simplex Lattice (3,2) Aumentado
Fuente: (Gutiérrez & De la Vara, 2012)

4.1.7.2 Planteamiento del diseño de mezclas

Dentro del estudio, se planificó realizar un diseño de mezclas para tres pastas diferentes; dos pastas contaban con dos variables (dos tipos de arcillas), se aplicó un diseño Simplex Lattice (q, m), los componentes fueron $q = 2$ y el número de niveles fue $m = 2$. Los valores que tomaron los componentes fueron:

$$(x_1, x_2) = (1, 0); (0, 1); (1/2, 1/2)$$

Es decir que se generaron tres diferentes experimentos (dos mezclas puras y una binaria), para el caso en estudio, no fue suficiente realizar tan pocos experimentos, ya que los valores óptimos de cada una de las arcillas pueden encontrarse entre otros valores diferentes al 50% y 100%. Por esta razón se planteó la siguiente matriz de diseño:

Tabla 40. Matriz de experimentos para una pasta de dos componentes

MEZCLAS	VARIABLES		RESPUESTA
	X1	X2	Y
A	0%	100%	Y ₁
B	10%	90%	Y ₂
C	20%	80%	Y ₃
D	30%	70%	Y ₄
E	40%	60%	Y ₅
F	50%	50%	Y ₆
G	60%	40%	Y ₇
H	70%	30%	Y ₈
I	80%	20%	Y ₉
J	90%	10%	Y ₁₀
K	100%	0%	Y ₁₁

Fuente: Autora

Mientras que para la pasta con tres componentes se pretendió plantear un diseño Simplex Lattice (q, m), donde $q = 3$ y el orden del modelo será $m = 2$. Los valores que tomaron los componentes fueron:

$$(x_1, x_2, x_3) = (1, 0, 0); (0, 1, 0); (0, 0, 1); (1/2, 1/2, 0); (1/2, 0, 1/2); (0, 1/2, 1/2)$$

No es posible predecir la mezcla óptima con tan pocos experimentos por esta razón se utilizó un diseño Simplex Aumentado en el cual se agregó más experimentos (mezclas ternarias).

Tabla 41. Matriz de experimentos para una pasta de tres componentes

MEZCLAS	VARIABLES			RESPUESTA
	X1	X2	X3	Y
A	100%	0%	0%	Y ₁
B	0%	100%	0%	Y ₂
C	0%	0%	100%	Y ₃
D	50%	50%	0%	Y ₄
E	0%	50%	50%	Y ₅
F	50%	0%	50%	Y ₆
G	33,33%	33,33%	33,33%	Y ₇
H	16,67%	16,66%	66,66%	Y ₈
I	66,66%	16,67%	16,67%	Y ₉
J	16,67%	66,66%	16,67%	Y ₁₀

Fuente: Autora

4.1.8 PORCENTAJES DE AGUA EN LAS PASTAS

Dentro del diseño de mezclas solo debían intervenir como variables los porcentajes de las diferentes arcillas, el agua no se consideró una variable, porque no puede alcanzar valores extremos del 0% o 100%. Se determinó un rango corto fijo para los experimentos de cada lugar de estudio; este rango se obtuvo encontrando la consistencia plástica apropiada para moldear la pieza. Es fundamental conocer estos porcentajes, en la tabla presentada a continuación se muestra estos valores.

Tabla 42. Porcentaje de agua para cada uno de los experimentos

PORCENTAJE DE AGUA EN LAS PASTAS			
MEZCLAS	COMUNIDADES		
	NUEVO SUSUDEL	SAN GERÓNIMO	PULLCANGA
A	17,00%	19,50%	21,5%
B	17,50%	19,50%	22,5%
C	17,50%	20%	19%
D	17,50%	19,5%	23%
E	17,00%	18,5%	20%
F	16,50%	19,5%	22%
G	17,50%	20%	23%
H	18,00%	20%	22,5%
I	18%	18,5%	23%
J	18%	19,5%	23,5%
K	17,5%	19,5%	

Fuente: Autora

Para todas las pastas preparadas a nivel de laboratorio, los porcentajes de humedad fueron menores a los determinados en las pastas usadas por los artesanos en ladrillos panelón, pues se vio que si se intentaba trabajar con humedades cercanas a éstas existían muchas piezas rotas o con grietas, mientras que con porcentajes menores de agua, fue posible moldear las pastas sin dificultad y se eliminaron los problemas de roturas. Para las pastas Nuevo Susudel la humedad se encontraba entre el 16,5% y 18% que es inferior a la humedad de la pasta utilizada actualmente en la elaboración de ladrillos panelón que es del 21%; las pastas producidas con las arcillas de San Gerónimo tuvieron una humedad entre el 18% y 20%, no muy diferentes a las humedades de la pasta para ladrillo panelón que es del 20%, la humedad de la pasta Pullcanga se encontraba entre el 19% y 23%, en este caso varía con respecto a la humedad de la pasta de ladrillos que es del 28,5%.

4.1.8.1 Variables de Respuesta

Las variables de respuesta a considerar son:

Caracterización visual de las piezas: consistió en examinar las características que son apreciables a simple vista en las piezas, es decir tamaños y formas regulares, ausencia de grietas, trizaduras o roturas en las mismas. Y se les otorgó una calificación de pieza buena o rota.

Absorción de agua: Determina el porcentaje (%) de aumento de peso que experimenta un material sólido al ser sumergido en agua, referido al peso del material seco (Álvarez, 2012). Para la determinación del porcentaje de absorción de agua se basó en la norma NTE-INEN 296, que se encuentra detallada en el Anexo 1.7.

Resistencia a la flexión: En un elemento o segmento estructural, es la medida de la resistencia a fuerzas flectoras, las mismas que provocan en el elemento una deformación en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. Este concepto se puede aplicar a elementos estructurales superficiales como placas o láminas (Lema, 2015). La determinación de esta variable de respuesta se realizó en base a la norma NTE-INEN 295, que se encuentra detallada en el Anexo 1.8.

Tanto para la absorción de agua como para la resistencia a la flexión se seleccionaron dos formas de moldes diferentes, se podía determinar estos parámetros en todos los modelos creados, pero debido al tiempo y los recursos se optó por usar solo estas formas.



Ilustración 23. Molde Orgánico
Fuente: Autora



Ilustración 24. Molde chacana de 4 lados
Fuente: Autora

El molde orgánico fue seleccionado para las determinaciones del porcentaje de absorción de agua, mientras que el modelo de chacana fue escogido por la forma compleja y sus dimensiones proporcionales, para la determinación del módulo de resistencia a la flexión para todos los experimentos a realizar.

Las respuestas experimentales obtenidas fueron de entorno diferente, por lo que fue necesario plantear un modelo matemático individual, el cual describe los efectos de las diferentes proporciones de los componentes y sus efectos.

4.1.8.2 Procedimiento experimental

En esta parte se describen los pasos a seguir para obtener cada uno de los experimentos a realizar, este proceso fue muy parecido al descrito en la elaboración de prototipos, con algunas variaciones, especialmente en los moldes, los que tuvieron una mayor altura (3 cm vs 2,5 cm), así también se elaboraron tres muestras de cada uno de los experimentos en los que se evaluaron las variables de respuesta.

- Se recolectó alrededor de 100 kg de cada una de las arcillas. Un punto importante dentro del proceso, fue determinar la humedad que contienen las arcillas, ya que se trabajó con el peso neto. Se pesó por separado las arcillas, tomando en consideración las matrices planteadas anteriormente.



Ilustración 25. Pesaje de las arcillas
Fuente: Autora

- En un recipiente se colocaron las arcillas, se adicionó agua, se mezcló utilizando una pala y luego con la mano, hasta que se obtuvo una consistencia adecuada, que depende de la cantidad de agua, si ésta se encontraba en exceso, la pasta se adhería a los dedos, mientras que si estaba en poca cantidad, no se aglutinaban bien todos los componentes; una pasta con la cantidad de agua

exacta se mantenía entre los dedos y por la gravedad caía suavemente y se incorporaba nuevamente al seno de la misma.



Ilustración 26. Consistencia adecuada de las pastas

Fuente: Autora

- Se humedeció el molde con una esponja mojada, lo que ayudó al desmolde de la pieza ya que el agua actúa como lubricante.



Ilustración 27. Moldes listos para la fabricación de ladrillos

Fuente: Autora

- Los artesanos utilizan el piso de tierra como medio absorbente, que ayuda al secado de las piezas cerámicas, con el fin de acercarnos a las condiciones de trabajo, se colocó arcilla sobre el piso de baldosa para que funcione como medio de absorción, sobre esto se colocó los moldes y en ellos la pasta.
- Manualmente se colocó la pasta sobre el molde ejerciendo presión, con el fin de que se compacte adecuadamente, no se produzcan vacíos y se acomode correctamente; la pasta se colocó rebasando un poco el molde.



Ilustración 28. Moldeo de los ladrillos para piso
Fuente: Autora

- Con una llana se retiró el exceso de pasta y se aplanó para dar forma a la cara superior del ladrillo, inmediatamente se retiró el molde.



Ilustración 29. Ladrillos para piso recientemente formados
Fuente: Autora

- Los ladrillos se mantuvieron en el lugar de formación durante los primeros días de secado en condiciones ambientales, a partir del tercer o cuarto día, se voltearon los ladrillos y conseguir un secado homogéneo, al quinto día de secado ya se manipularon los ladrillos y eliminar las rebabas de las piezas.



Ilustración 30. Secado de las piezas a temperatura ambiente
Fuente: Autora



Ilustración 31. Pulido y eliminación de rebabas
Fuente: Autora

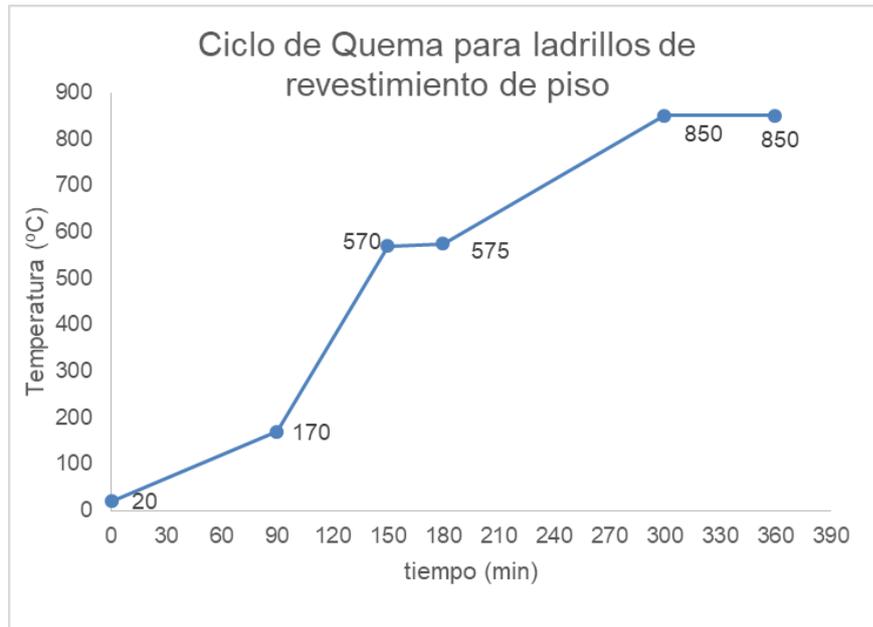
- Para asegurar un secado completo, se llevaron las muestras a la estufa a una temperatura de 110°C, durante 3 horas, se dejaron enfriar; las piezas se colocaron a continuación en el horno.
- Las piezas se acomodaron en el horno y se aplicó el siguiente ciclo de quema, el mismo que fue elaborado luego de una revisión bibliográfica (Tratamiento térmico de una arcilla roja en la elaboración de ladrillos para la construcción), cuyas condiciones de estudio son bastantes parecidas a las de esta investigación.

Tabla 43. Ciclo de quema para las muestras de ladrillo de revestimiento de piso

Intervalos de temperatura (°C)	Tiempo (min.)
$^{\circ}T_{\text{Ambiente}} - 170^{\circ}\text{C}$	90
$170^{\circ}\text{C} - 570^{\circ}\text{C}$	60
$570^{\circ}\text{C} - 575^{\circ}\text{C}$	30
$575^{\circ}\text{C} - 850^{\circ}\text{C}$	120
$850^{\circ}\text{C} - 850^{\circ}\text{C}$	60

Fuente: Autora

La temperatura de maduración (mayor temperatura que alcanza el horno) se obtuvo de una tesis de grado. -Definición de un proceso de producción Semiindustrial de ladrillos en la parroquia Susudel-



Gráfica 19. Ciclo de quema para las muestras de ladrillo de revestimiento de piso
Fuente: Autora

- Cuando el horno se enfrió, se descargó y se analizó si las piezas presentaban trizaduras o roturas, de ser así se desecharon éstas, mientras que las piezas en buen estado se utilizaron para la determinación del porcentaje de absorción de agua y la determinación de la resistencia a la flexión.



Ilustración 32. Horno cargado con piezas quemadas
Fuente: Autora



Ilustración 33. Ladrillos para revestimiento de piso quemados
Fuente: Autora

4.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.2.1 CARACTERIZACIÓN VISUAL DE LAS PIEZAS

En la siguiente tabla se puede apreciar la calificación que se otorgó a las piezas de cada uno de los experimentos.

Tabla 44. Caracterización visual de las piezas

PIEZAS/MEZCLA	PASTA		
	NUEVO SUSUDEL	SAN GERÓNIMO	PULLCANGA
A	BUENA	BUENA	BUENA
B	BUENA	BUENA	BUENA
C	BUENA	BUENA	BUENA
D	BUENA	BUENA	BUENA
E	BUENA	BUENA	BUENA
F	BUENA	BUENA	BUENA
G	BUENA	BUENA	BUENA
H	BUENA	BUENA	BUENA
I	BUENA	BUENA	BUENA
J	BUENA	ROTA(1)	BUENA
K	BUENA	BUENA	

Fuente: Autora

4.2.2 ABSORCIÓN DE AGUA Y RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (VARIABLES DE RESPUESTA)

Las siguientes tablas muestran los resultados de los experimentos, de las dos variables de respuesta (absorción de agua y resistencia a la flexión), como ya se indicó anteriormente los procedimientos para estas determinaciones se hallan descritos en el Anexo 1.7 y 1.8, para cada una de las pastas.

Tabla 45. Absorción de agua y Resistencia a la Flexión para los experimentos de la pasta Nuevo Susudel

MEZCLAS	TIPOS DE ARCILLAS		ABSORCIÓN DE AGUA (%)	RESISTENCIA A LA ROTURA (N)	MÓDULO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (N/mm ²)
	PLASTICA	ARENOSA			
	A	0%			
B	10%	90%	12,861	1510,23	1,648
C	20%	80%	12,978	1964,61	2,104
D	30%	70%	13,028	1977,68	2,006
E	40%	60%	13,053	1644,26	1,738
F	50%	50%	12,993	2075,75	2,170
G	60%	40%	13,161	2003,84	2,216
H	70%	30%	13,520	1899,23	2,068
I	80%	20%	13,746	2232,66	2,444
J	90%	10%	13,763	1467,74	1,656
K	100%	0%	13,952	2092,10	2,276

Fuente: Autora

Tabla 46. Absorción de agua y Resistencia a la Flexión para los experimentos de la pasta San Gerónimo

MEZCLAS	TIPOS DE ARCILLAS		ABSORCIÓN DE AGUA (%)	RESISTENCIA A LA ROTURA (N)	MODULO DE RESISTENCIA A LA FLEXION (N/mm ²)
	NEGRA	LASTRE			
	A	100%			
B	90%	10%	14,843	1971,15	2,292
C	80%	20%	14,409	2088,83	2,284
D	70%	30%	14,636	1650,79	1,810
E	60%	40%	14,802	1954,80	2,290
F	50%	50%	15,048	1755,40	2,041
G	40%	60%	15,002	1611,57	1,957
H	30%	70%	13,982	1297,75	1,533
I	20%	80%	13,764	2219,58	2,346
J	10%	90%	14,359	1657,33	1,878
K	0%	100%	14,904	1801,16	2,225

Fuente: Autora

Tabla 47. Absorción de Agua y Resistencia a la Flexión para los experimentos de la pasta Pullcanga

DISEÑO DE MEZCLA PARA LA PASTA PULLCANGA						
MEZCLAS	TIPOS DE ARCILLAS			ABSORCIÓN DE AGUA	RESISTENCIA A LA ROTURA (N)	MÓDULO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (N/mm²)
	NEGRA	ROJA	LASTRE			
	A	100%	0%			
B	0%	100%	0%	17,277	1735,79	2,022
C	0%	0%	100%	13,488	2275,15	1,927
D	50%	50%	0%	16,076	1804,43	2,111
E	0%	50%	50%	14,839	1892,69	2,152
F	50%	0%	50%	17,262	1578,88	1,746
G	33,33%	33,33%	33,33%	17,856	1431,78	2,027
H	66,67%	16,66%	16,66%	16,883	1784,82	2,554
I	16,66%	16,67%	66,67%	16,304	2638,00	3,189
J	16,67%	66,66%	16,67%	16,506	2118,25	2,753

Fuente: Autora

El objetivo por el cual se planteó el diseño de mezclas fue para encontrar una pasta para cada una de las comunidades, con la cual se pueda obtener ladrillos para recubrimiento de piso, con buenas características, que no presenten trizaduras, grietas y deformaciones de la pieza, pero no se pudo elegir la pasta adecuada basándose únicamente en estas propiedades, por lo que fue necesario considerar los porcentajes de absorción de agua y módulo de resistencia a la flexión que presentaron cada una de las piezas; es así que se eligió la pasta que presentó un bajo porcentaje de absorción de agua y un mayor valor de resistencia a la flexión.

En el caso de Nuevo Susudel se escogió el experimento (I) que correspondió a una mezcla del 80% de arcilla Plástica y un 20% de arcilla Arenosa, las piezas cerámicas tuvieron un porcentaje de absorción de agua del 13,17% y una resistencia a la flexión de 2,44 N/mm²; para esta pasta, se seleccionó el mayor módulo de rotura, aunque el porcentaje de absorción de agua no correspondió al más bajo, lo que se produjo debido a que las arcillas presentaron características muy similares en cuanto a su granulometría, lo que conllevó a una falta de acomodación de las arcillas en la pasta no generando una buena porosidad.

Mientras que para San Gerónimo se seleccionó el experimento (I) que contiene un 80% de arcilla Lastre y un 20% de arcilla Negra, se obtuvo una pasta cuyas piezas tuvieron un 13,76% de absorción de agua y 2,35 N/mm² para la resistencia a la flexión; en cambio para la pasta Pullcanga se seleccionó el experimento (I), que contenía un 16,66% de arcilla Negra, 16,66% de arcilla Roja y 66,67% de arcilla Lastre, con un porcentaje de absorción de agua del 16,30% y un módulo de resistencia a la flexión de 3,19 N/mm². En ambos casos estos parámetros coincidieron con los arriba indicado.

Los ladrillos que se elaboraron están destinados para el recubrimiento de piso, función muy similar a la de una baldosa cerámica, por lo que al evaluar los porcentajes de absorción de agua de acuerdo a la Norma NTE INEN 644:2000, en donde se muestra la clasificación de las baldosas cerámicas, los ladrillos para revestimiento de piso se encuentran en el grupo A, el método de conformación que más se asemejó al usado fue la extrusión, y el porcentaje de absorción de agua fue mayor al 10%. Por lo que se consideró que pertenecen al **Grupo AIII**.

Teniendo en cuenta esta clasificación se determinaron los valores de resistencia a la rotura y el módulo de resistencia a la flexión. Cabe indicar que si bien este grupo es el más cercano, la diferencia en los valores de mayor presión ejercida durante en la formación de las piezas por extrusión, y sumado al hecho de que las pastas antes de ser extruidas son sometidas al vacío, estos factores influyen negativamente en los valores de estas características en los ladrillos obtenidos manualmente.

Tabla 48. Clasificación de las Baldosas Cerámicas de acuerdo a la Norma INEN

Clasificación de las baldosas cerámicas según la Norma NTE-INEN 644:2000				
Método de conformación	Capacidad de Absorción de Agua (E)			
	Grupo I E ≤ 3%	Grupo II_a 3% < E ≤ 6%	Grupo II_b 6% < E ≤ 10%	Grupo III E > 10%
A Extrusión	Grupo AI E ≤ 0,5%	Grupo AII _{a-1}	Grupo AII _{b-1}	Grupo AIII
	Grupo AII _b 0,5 < E ≤ 3%	Grupo AII _{a-2}	Grupo AII _{b-2}	
B Prensado en seco	Grupo BI _a E ≤ 0,5%	Grupo BII _a	Grupo BII _b	Grupo BIII
	Grupo BI _b 0,5 < E ≤ 3%			

Fuente: INEN



Es así que los requisitos exigidos por la Norma NTE-INEN 654-2000, para baldosas extruidas y con un porcentaje de absorción de agua mayor al 10%, son los siguientes:

Tabla 49. Requisitos del módulo de rotura para baldosas del Grupo AIII

Requisitos del módulo de rotura para baldosas del Grupo AIII de acuerdo a la norma NTE-INEN 654-2000		
Propiedades Fisica	Precisión	Natural
Resistencia a la rotura, en N	No menor que 600	No menor que 600
Módulo de Resistencia a la flexión, en N/mm ²	Mínimo 8	Mínimo 8

Fuente: INEN

De acuerdo con la norma NTE- INEN se requiere mínimo una fuerza de rotura de 600 N y un módulo de resistencia a la flexión de 7 N/mm², se comparó con las piezas de las pastas seleccionadas y se obtuvo que las de Nuevo Susudel presentaron una fuerza de rotura de 2232,66 N y un módulo de resistencia la flexión de 2,44 N/mm², las piezas de la pasta San Gerónimo tuvieron una fuerza de rotura de 2219,58 N y un módulo de resistencia a la flexión de 2,35 N/mm² y las piezas de Pullcanga presentaron una fuerza de rotura de 2638,00 N y un módulo de resistencia a la flexión de 3,19 N/mm². Se ve que las tres pastas cumplen con el requisito de la fuerza de rotura, pues se encuentran entre 2220,00 N y 2638,00 N valores mayores al mínimo aceptado por la norma que es de 600 N.

En cuanto al módulo de resistencia a la flexión el valor mínimo aceptable por la norma es de 7 N/mm², las piezas cerámicas en análisis no cumplieron con los valores, ya que el módulo de resistencia a la flexión se encuentra entre 2,35 N/mm² y 3,19 N/mm², valores muy bajos para considerarse como aceptables.

Estos valores se debieron al método de formación, que de acuerdo a éste, las muestras fueron desarrolladas manualmente en moldes, con porcentajes de agua altos, el mezclado se realizó a mano, no existió un control de la granulometría, es decir las materias primas no pasaron por una molienda previa, todos estos factores influyen para obtener módulos de rotura bajos. Con estas consideraciones el valor requerido por la norma para el módulo de rotura no se pudo aplicar a este tipo de productos, por lo que se debería desarrollar una normativa específica para los mismos.

4.2.3 ANÁLISIS QUÍMICO

Con el fin de complementar el estudio de las pastas seleccionadas para la elaboración de ladrillos para revestimiento de piso, se realizó un análisis químico a las materias primas que conforman cada una de las pastas que fueron modificadas, este análisis se realizó por el método de fusión con hidróxidos, extracción ácida, espectroscopia de absorción atómica que pertenece al procedimiento interno del Laboratorio CESEMIN. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 50. Análisis químico para las arcillas de Nuevo Susudel

Comunidad		Nuevo Susudel						
Tipo de arcilla	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	Perdidas al fuego (%)
Plástica	64,41	17,68	2,71	0,77	0,39	3,61	4,41	6,03
Arenosa	68,04	18,47	2,83	0,80	0,40	2,37	1,68	5,40

Fuente: Autora

Tabla 51. Análisis químico para las arcillas de San Gerónimo

Comunidad		San Gerónimo						
Tipo de arcilla	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	Perdidas al fuego (%)
Negra	71,00	15,74	2,85	0,43	0,29	0,65	0,85	8,19
Lastre	67,22	13,94	2,30	0,41	0,33	1,69	1,47	12,74

Fuente: Autora

Tabla 52. Análisis químico para las arcillas de Pullcanga

Comunidad		Pullcanga						
Tipo de arcilla	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	Perdidas al fuego (%)
Negra	65,51	17,43	3,06	0,74	0,85	2,12	1,18	9,10
Roja	47,11	32,50	3,67	0,30	0,23	0,47	0,42	15,29
Lastre	72,07	13,74	2,71	0,41	0,25	0,88	0,96	8,99

Fuente: Autora

Con los resultados de este análisis químico se procedió a realizar un análisis mineralógico racional (Anexo 2.4), que es un cálculo que nos permite determinar aproximadamente los minerales presente en cada muestra, como su nombre lo dice es un cálculo próximo debido a que no se basa en una prueba mineralógica.

Tabla 53. Análisis Químico racional de las arcillas

Comunidad	Arcillas	Feldespatos	Sustancia arcillosa	Sílice libre	Fe₂O₃	Materia orgánica
Nuevo	Arenosa	56,65	17,61	18,32	2,71	3,58
Susudel	Plástica	29,99	32,27	32,80	2,83	0,90
San	Negra	10,53	34,80	47,77	2,85	3,34
Gerónimo	Lastre	22,15	24,62	40,88	2,30	9,31
	Negra	24,92	32,05	33,74	3,06	4,63
Pullcanga	Roja	6,46	79,15	5,93	3,67	2,53
	Lastre	13,13	28,48	50,02	2,71	5,02

Fuente: Autora

Con estos análisis se pudo observar que en la composición química de las arcillas de Nuevo Susudel, no son tan similares aunque las dos se comportaron de manera muy parecida en la caracterización, si bien la una es más plástica al tener mayor contenido de arcilla también presenta considerables porcentajes de feldespatos y sílice libre lo que explica de alguna forma su comportamiento. Con respecto a San Gerónimo la arcilla Negra presenta una mayor cantidad de sílice libre, en cambio la arcilla Lastre presenta un mayor contenido de feldespatos, siendo el contenido de sustancia arcillosa lo contrario, por lo que la arcilla Negra es más plástica. En las arcillas de Pullcanga se observa que la arcilla Negra y la arcilla Lastre son similares a las anteriores, es decir son una mezcla de arcilla, feldespato y sílice libre; en cambio la arcilla Roja presenta un alto contenido de sustancia arcillosa lo que corrobora su mayor plasticidad.

4.3 EVALUACIÓN DEL DISEÑO

Para realizar un análisis de las variables de diseño y de las respuestas obtenidas (experimentos) se requirió calcular el modelo matemático que relacione el diseño utilizado con las respuestas obtenidas, así como la interpretación del modelo. (Gabrielsson, Lindberg, & Lundstedt, 2002).

4.3.1 Modelos matemáticos

Una vez que se han obtenido los resultados experimentales de un diseño de mezclas, es necesario ajustar a un modelo estadístico con la finalidad de investigar el efecto de cada uno de los componentes de la mezcla sobre la respuesta. Los modelos fueron desarrollados a partir de la ecuación de Scheffé, en la cual se modifica algunos términos de cada una de las expresiones polinomiales completas con el objeto de eliminar ciertos

efectos generados por variables correlacionadas. Las formas canónicas de los modelos para el diseño de mezclas se presentan a continuación:

Modelo de primer orden

$$y = \sum_{i=0}^q \beta_i x_i \quad \text{Ecuación 4}$$

Modelo de segundo orden

$$y = \sum_{i=0}^q \beta_i x_i + \sum_{i < j} \sum_{j=2}^q \beta_{ij} x_i x_j \quad \text{Ecuación 5}$$

El término β_i representa la respuesta esperada en la mezcla pura $x_i = 1$ $x_j = 0$ $j \neq i$. El término dado por $y = \sum_{i=0}^q \beta_i x_i$ representa la respuesta cuando las mezclas son estrictamente aditivas y no hay interacción entre los componentes de la mezcla. El término β_{ij} representa el exceso de la respuesta del modelo cuadrático sobre el lineal, si el signo es positivo se habla de una sinergia i y j ; en cambio si es negativo se trata de un antagonismo. En algunos casos el modelo cuadrático no es suficiente para describir la respuesta por lo que se puede ajustar a un modelo cúbico (Gutiérrez & De la Vara, 2012).

Modelo de tercer orden

$$y = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_{i < j} \sum_{j=2}^q \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i < j} \sum_{i < k} \sum_{j=3}^q \beta_{ijk} x_i x_j x_k \quad \text{Ecuación 6}$$

4.3.2 SELECCIÓN DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LAS MEZCLAS

En función a los resultados presentados anteriormente, se calculó los modelos de primer, segundo y tercer orden para expresar la importancia de las arcillas puras, mezclas binarias y ternarias, tanto para la absorción de agua y la resistencia a la flexión, para el caso de las mezclas realizadas con las arcillas de Nuevo Susudel y las arcillas de San Gerónimo se generaron dos modelos matemáticos de primer y segundo orden debido a que se manejaron únicamente dos variables, mientras que para las arcillas de Pullcanga se tuvieron tres modelos matemáticos, al contar con tres variables. A continuación se presentan las ecuaciones obtenidas para cada una de las variables de respuesta.

Las abreviaturas utilizadas serán:

$$y_{Abs} = \text{Porcentaje de absorción de agua}$$

$$y_{Res} = \text{Resistencia a la flexión}$$

$$x_1, x_2, x_3 = \text{Variables (porcentajes de arcillas)}$$

Tabla 54. Modelos matemáticos de primer, segundo y tercer orden para la absorción de agua

MODELOS MATEMÁTICOS PARA LA ABSORCIÓN DE AGUA			
Pastas	Modelo de primer orden	Modelo de segundo orden	Modelo de tercer orden
Nuevo Susudel	$y_{Abs} = 12,6915x_1 + 13,8345x_2$	$y_{Abs} = 12,8615x_1 + 14,0046x_2 - 1,1335x_1x_2$	
San Gerónimo	$y_{Abs} = 14,7952x_1 + 14,3939x_2$	$y_{Abs} = 14,8308x_1 + 14,4296x_2 - 0,2377x_1x_2$	
Pullcanga	$y_{Abs} = 16,4687x_1 + 16,4150x_2 + 15,34x_3$	$y_{Abs} = 16,1678x_1 + 16,9242x_2 + 16,4852x_3 + 3,7673x_1x_2 - 1,9264x_1x_3 - 9,1813x_2x_3$	$y_{Abs} = 16,0941x_1 + 16,8505x_2 + 16,4113x_3 + 6,0732x_1x_2 + 0,3794x_1x_3 + 6,8754x_2x_3 - 37,44 x_1x_2x_3$

Fuente: Autora

Tabla 55. Modelos matemáticos de primer, segundo y tercer orden para la resistencia a la flexión

MODELOS MATEMÁTICOS PARA LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN			
Pastas	Modelo de primer orden	Modelo de segundo orden	Modelo de tercer orden
Nuevo Susudel	$y_{Res} = 1,6751x_1 + 2,2604x_2$	$y_{Res} = 1,4560x_1 + 2,0413x_2 + 1,4602x_1x_2$	
San Gerónimo	$y_{Res} = 2,04864x_1 + 2,0627x_2$	$y_{Res} = 2,085x_1 + 2,0986x_2 - 0,2424x_1x_2$	
Pullcanga	$y_{Res} = 2,4716x_1 + 2,3057x_2 + 2,0444x_3$	$y_{Res} = 2,2512x_1 + 2,1663x_2 + 1,9048x_3 + 1,1419x_1x_2 + 1,1428x_1x_3 + 0,4226x_2x_3$	$y_{Res} = 2,2813x_1 + 2,1964x_2 + 1,9349x_3 + 0,2008x_1x_2 + 0,2017x_1x_3 + 0,51844x_2x_3 + 15,2804 x_1x_2x_3$

Fuente: Autora

4.3.3 Validación de los modelos obtenidos

Para validar la significatividad total del modelo se analizó la razón entre las fuentes de variación del modelo mediante un análisis de varianza. Esta proporción se comparó con el estadístico de Fisher, con el cual fue posible verificar la existencia de un modelo. Para ello se plantearon dos hipótesis:

$$H_0 = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 \dots = \beta_n \text{ No existe modelo} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$H_a = \beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3 \dots \neq \beta_n \text{ Existe modelo} \quad \text{Ecuación 8}$$

Y por medio del análisis de varianza se determinó el valor del estadístico de Fisher calculado y usando los grados de libertad se obtuvo el valor del estadístico de Fisher tabulado. Y se aplicó la siguiente relación.

$$F_{calc} > F_{tab} \therefore H_0 \text{ Se rechaza. Existe modelo} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$F_{calc} < F_{tab} \therefore H_0 \text{ Se acepta. No existe modelo} \quad \text{Ecuación 10}$$

A continuación se resumen los análisis de varianza para cada una de las pastas con respecto a la absorción de agua y a la resistencia a la flexión. Tanto las fórmulas como los cálculos correspondientes se detallan en el Anexo 3.1 y 3.2.

Tabla 56. Análisis de varianza para la absorción de agua (Nuevo Susudel)

Nuevo Susudel (Absorción de Agua)						
Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Medias cuadradas	F _c	F _T	Conclusión
Regresión	10	4,891	0,489	289,89	4,83	Existe modelo
Residual	22	0,037	0,0017			
Total	32	4,928				

Fuente: Autora

Tabla 57. Análisis de varianza para la absorción de agua (San Gerónimo)

San Gerónimo (Absorción de Agua)						
Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Medias cuadradas	F _c	F _T	Conclusión
Regresión	10	5,301	0,530	185,06	4,83	Existe modelo
Residual	22	0,063	0,0029			
Total	32	5,364				

Fuente: Autora

Tabla 58. Análisis de varianza para la absorción de agua (Pullcanga)

Pullcanga (Absorción de Agua)						
Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Medias cuadradas	F_C	F_T	Conclusión
Regresión	9	51,804	5,756	2075,86	4,83	Existe modelo
Residual	20	0,055	0,0028			
Total	29	51,860				

Fuente: Autora

Tabla 59. Análisis de varianza para la resistencia a la flexión(Nuevo Susudel)

Nuevo Susudel (Resistencia a la Flexión)						
Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Medias cuadradas	F_C	F_T	Conclusión
Regresión	10	3,380	0,338	32,21	4,83	Existe modelo
Residual	22	0,231	0,0105			
Total	32	3,611				

Fuente: Autora

Tabla 60. Análisis de varianza para la resistencia a la flexión(San Gerónimo)

San Gerónimo (Resistencia a la Flexión)						
Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Medias cuadradas	F_C	F_T	Conclusión
Regresión	10	2,099	0,210	15,67	4,83	Existe modelo
Residual	22	0,295	0,0134			
Total	32	2,393				

Fuente: Autora

Tabla 61. Análisis de varianza para la resistencia a la flexión(Pullcanga)

Pullcanga (Resistencia a la Flexión)						
Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Medias cuadradas	F_C	F_T	Conclusión
Regresión	9	5,128	0,570	35,83	5,08	Existe modelo
Residual	20	0,318	0,0159			
Total	29	5,446				

Fuente: Autora

Por medio del análisis de varianza realizado, y el uso del estadístico de Fisher, se logró determinar la existencia de un modelo matemático para cada uno de los diseño de mezclas planteados, en todos los casos tanto para la absorción de agua como para la resistencia a la flexión, el valor de F calculado fue mayor al valor de F que se encuentra tabulado. Además en los resultados obtenidos en la validación de estos modelos



matemáticos, se observó que los parámetros β de cada uno de los modelos establecidos resultan significativos y representan la relación entre las variables de respuesta, absorción de agua y resistencia a la flexión, y entre los componentes de la mezcla (porcentajes de cada una de las arcillas).

4.3.4 Comparación entre modelos

Una prueba utilizada para comparar los modelos de primer, segundo y tercer orden, en términos de que tan bien explican la variación de los valores de respuesta, es la suma residual de los cuadrados asociados a cada uno de los modelos. La prueba estadística usada es la siguiente:

$$F = \frac{(SSE_{reducido} - SSE_{completo})/r}{SSE_{completo}/(N - p)} \quad \text{Ecuación 11}$$

Dónde

$SSE_{reducido}$

= Suma de cuadrados residual asociada con el modelo reducido (Ecuación de primer orden)

$SSE_{completo}$

= Suma de cuadrados residual asociadas al modelo completo (Ecuación de segundo orden)

r = Diferencia en el número de parámetros en los modelos completos y reducido

p = Número de parámetros en el modelo completo

La comparación entre los modelos de primer, segundo y tercer orden se logró mediante una reducción en los residuos de la suma de cuadrados conocida como una variación inexplicable, esto se consiguió al pasar el modelo de segundo orden a primer orden y el modelo de tercer orden a un modelo de segundo orden y comparar con la varianza de error encontrada con el modelo completo, sea de segundo o tercer orden.

Tabla 62. Comparación entre los modelos de 1er, 2do y 3er orden por medio de la prueba F (Nuevo Susudel)

Pasta Nuevo Susudel



R	Comparación de modelos	F _{Calc.}	F _{Tab.}	Conclusión
Absorción de agua	1er Orden vs 2do Orden	38,2720	2,34 _(0,05,9, 22)	El modelo de 2do orden presenta mejor ajuste
Resistencia a la flexión	1er Orden vs 2do Orden	23,800	2,34 _(0,05,9, 22)	El modelo de 2do orden presenta mejor ajuste

Fuente: Autora

Tabla 63. Comparación entre los modelos de 1er, 2do y 3er orden por medio de la prueba F (San Gerónimo)

Pasta San Gerónimo				
R	Comparación de modelos	F _{Calc.}	F _{Tab.}	Conclusión
Absorción de agua	1er Orden vs 2do Orden	176,8629	2,37 _(0,05,9, 21)	El modelo de 2do orden presenta mejor ajuste
Resistencia a la flexión	1er Orden vs 2do Orden	17,4071	2,34 _(0,05,9, 21)	El modelo de 2do orden presenta mejor ajuste

Fuente: Autora

Tabla 64. Comparación entre los modelos de 1er, 2do y 3er orden por medio de la prueba F (Pullcanga)

Pasta Pullcanga				
R	Comparación de modelos	F _{Calc.}	F _{Tab.}	Conclusión

Absorción de agua	1er Orden vs 2do Orden	45379,8979	2,51 _(0,05,7,20)	El modelo de 2do orden presenta mejor ajuste
	2do Orden vs 3er Orden	4,7364	2,87 _(0,05,4,20)	El modelo de 3er orden presenta mejor ajuste
Resistencia a la flexión	1er Orden vs 2do Orden	42,3180	2,51 _(0,05,7,20)	El modelo de 2do orden presenta mejor ajuste
	2do Orden vs 3er Orden	1,1649	2,87 _(0,05,4,20)	El modelo de 2do orden presenta mejor ajuste

Fuente: Autora

De acuerdo a las tablas presentadas anteriormente con respecto a la comparación de los modelos de primer, segundo y tercer orden, en el caso de la pasta Nuevo Susudel, el modelo que presentó mejor ajuste fue el de segundo orden para la absorción de agua, en el que se pudo apreciar un efecto sinérgico de las dos variables por separado y un efecto antagónico en la interacción de las mismas; el modelo de segundo orden también se ajustó de mejor manera para la resistencia a la flexión, en el que también se pudo apreciar una correlación entre las variables y una interacción positiva de las mismas.

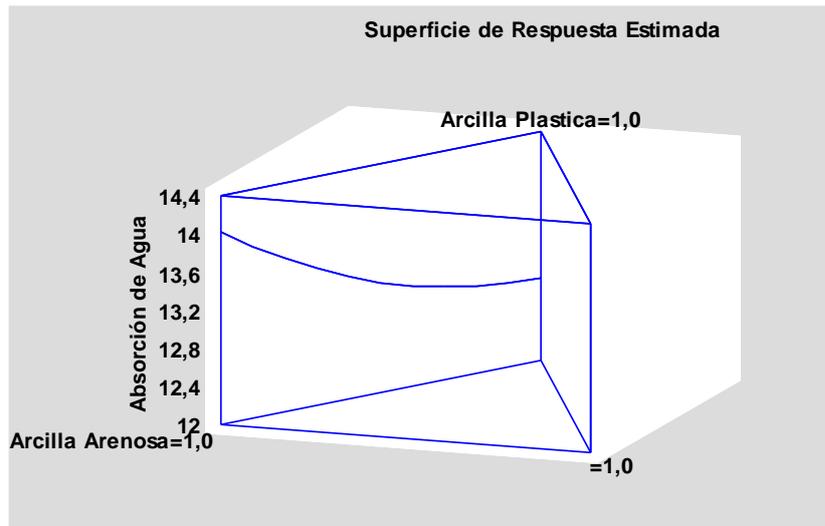
Para la pasta San Gerónimo el modelo de mejor ajuste fue el de segundo orden, tanto para la absorción de agua como para la resistencia a la flexión, en estos modelos se apreció que existe un efecto sinérgico de las variables, mientras que una interacción de las mismas provocó un efecto antagónico.

Para la pasta Pullcanga el modelo que mejor se ajustó para la absorción de agua fue el de tercer orden, existiendo una correlación entre las variables y su interacción binaria positiva de las variables, mientras que en la interacción de las tres variables no se apreció una correlación, para la resistencia a la flexión, el modelo de mejor ajuste fue el de segundo orden, en el que mostró un efecto sinérgico entre las variables y sus interacciones.

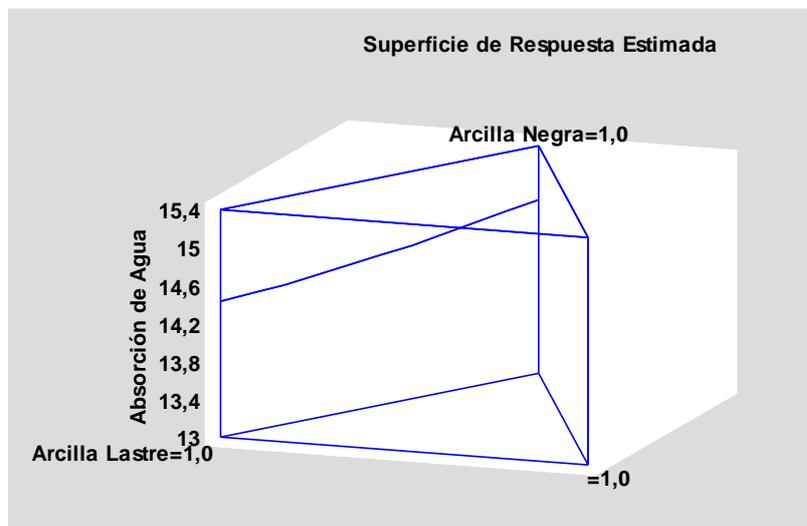
4.3.5 Superficies de respuesta

Los modelos experimentales generados se analizaron mediante la obtención de una superficie de respuesta que depende de la composición de las mezclas para cada respuesta. Los contornos del diagrama correspondieron a las superficies de respuesta para cada punto del experimento diseñado, en relación con la respuesta obtenida (Didier, Etcheverrigaray, Kratje, & Goicoechea, 2007).

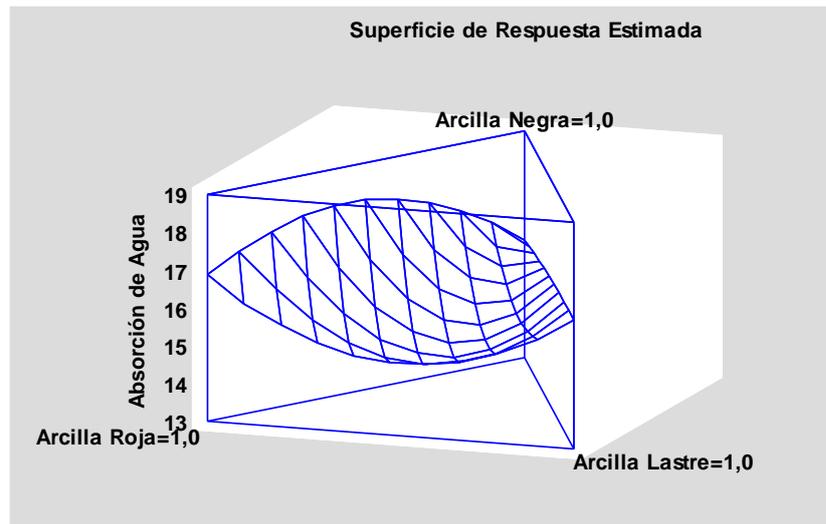
4.3.5.1 Superficies de Respuesta para la absorción de agua



Gráfica 20. Superficie de respuesta para la absorción de agua de la pasta Nuevo Susudel
Fuente: Autora



Gráfica 21. Superficie de respuesta para la absorción de agua de la pasta San Gerónimo
Fuente: Autora

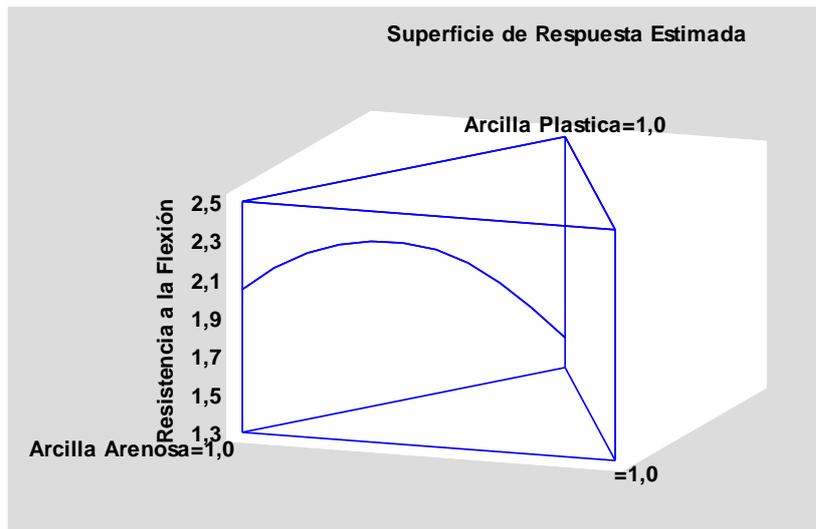


Gráfica 22. Superficie de respuesta para la absorción de agua de la pasta Pullcanga
Fuente: Autora

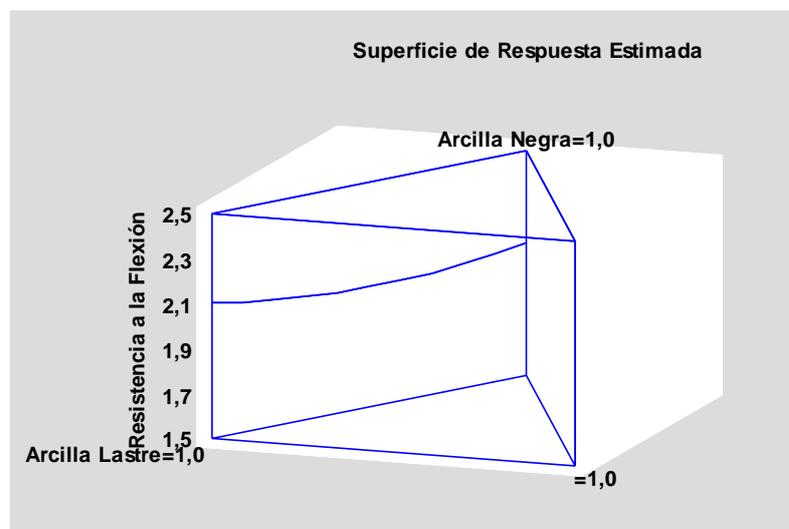
Como se ve en los resultados, cuando existió dos componentes se genera una recta o una curva de respuesta, mientras que al contar con tres componentes se produjo una superficie de respuesta. En las gráficas tanto para Nuevo Susudel y San Gerónimo los valores más bajos de absorción de agua no se ubicaron en los componentes puros, sino más bien se encontraron en el plano en el cual existe una combinación de las variables.

En el caso de Pullcanga en donde se dió una superficie de respuesta propiamente dicha, se puede apreciar que los valores más bajos de absorción de agua se encuentran en lugares en los que existe una combinación de los componentes de la muestra en diferentes proporciones.

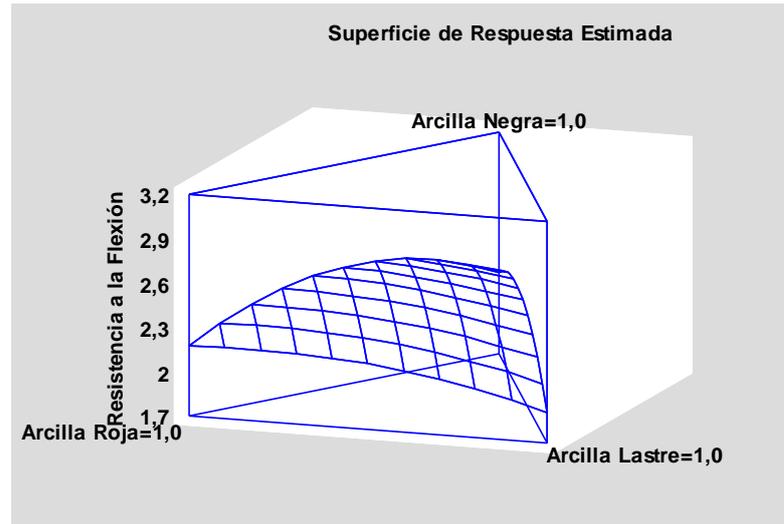
4.3.5.2 Superficies de respuesta para resistencia a la flexión



Gráfica 23. Superficie de respuesta para la resistencia a la flexión de la pasta Nuevo Susudel
Fuente: Autora



Gráfica 24. Superficie de respuesta para la resistencia a la flexión de la pasta San Gerónimo
Fuente: Autora



Gráfica 25. Superficie de respuesta para la resistencia a la flexión de la pasta Pullcanga
Fuente: Autora

Para la resistencia a la flexión, se aprecia que para Nuevo Susudel, el valor más alto de resistencia a la flexión se ubica en un plano en el que están actuando las dos variables, y es fácilmente visible debido a la curva que se genera, mientras que para San Gerónimo no es muy apreciable en qué punto se presenta la mayor resistencia a la flexión, lo que se puede observar es que los valores más elevados se encuentran más cercanos hacia la arcilla Negra, mientras que en Pullcanga se puede ver que el valor más elevado para la resistencia a la flexión se encuentra en un punto en el cual existe una mezcla de las tres variables.

CONCLUSIONES



- Se ha logrado elaborar ladrillos para piso, de formas y modelos innovadores, lo que permite generar una serie de tramas simples y combinadas, utilizando las mismas materias primas, siguiendo un procedimiento similar y acoplándose a las condiciones de trabajo, usados en la producción de ladrillos panelón de la parroquia Susudel.
- La caracterización de las materias primas y de las pastas, ha permitido analizar las propiedades que éstas presentan, es así que una plasticidad adecuada con valores cercanos a 6 evita la aparición de trizaduras y grietas, proporciona una adecuada resistencia en verde¹, una buena distribución del tamaño de las partículas, lo que favorece la formación de las piezas, obteniendo productos menos porosos, y con una superficie de mejor acabado.
- La caracterización tanto física como química de las materias primas permitió inferir las propiedades que dan a las pastas y entender algunos de los resultados obtenidos en el diseño de mezclas.
- La utilización de las pastas que actualmente se usan en la elaboración de ladrillos panelón, en la producción de prototipos de los nuevos diseños permitió determinar que pastas necesitan ser optimizadas
- Las mezclas óptimas conseguidas fueron: para Nuevo Susudel, 80% de arcilla Plástica y 20% de arcilla Arenosa, para San Gerónimo 80% de arcilla Lastre y 20% de arcilla Negra, y para Pullcanga la mejor combinación resulta de 16,66% de arcilla Negra, 16,67% de arcilla Roja y un 66,67% de arcilla Lastre.
- La selección de las mezclas óptimas se realizó considerando el porcentaje de absorción de agua y el módulo de resistencia a la flexión, es así que la pasta Pullcanga presenta un porcentaje de absorción de agua del 16,30% y un módulo de resistencia a la flexión de 3,18 N/mm², la pasta San Gerónimo muestra un porcentaje de absorción de agua del 13,76% y un módulo de resistencia a la flexión de 2,35 N/mm² y para la pasta Nuevo Susudel el porcentaje de absorción de agua es del 13,75% y el módulo de resistencia a la flexión es de 2,44N/mm².
- Las pastas óptimas de San Gerónimo y Pullcanga corresponden a los valores más bajos de absorción de agua y más altos de resistencia a la flexión, en cambio con la mezcla de Nuevo Susudel se escogió la de mayor resistencia a la flexión aunque no coincida con el menor porcentaje de absorción de agua. Esto

¹Verde: Estado de la pieza cerámica recién formada, es decir sin secar ni quemar



pudo darse debido a que las propiedades de las arcillas son muy similares y que provoca que no exista una buena compactación de las partículas que incluso se puede apreciar en la superficie rugosa de las piezas terminadas.

- Las bajas absorciones de agua de las pastas de Nuevo Susudel en comparación a los otros dos lugares en estudio puede deberse a la composición de las materias primas que tienen considerables contenidos de feldespatos que producen, a la temperatura de cocción de los ladrillos, una vitrificación incipiente y por ende un relativamente bajo porcentaje de absorción de agua.
- Los resultados obtenidos de absorción de agua y resistencia a la flexión fueron comparados con los requisitos expresados en la norma NTE-INEN 654 Baldosas Cerámicas: Requisitos, tomando como referencia las baldosas del grupo AIII, en lo que corresponde al valor de absorción de agua si se cumple, pero el módulo de resistencia a la rotura debe ser de 7N/mm^2 , valor que los ladrillos para piso no cumplen y una de las razones se debe a que el proceso de elaboración que es diferente al usado para la baldosas cerámicas, por lo que no se puede aplicar esta normativa.

RECOMENDACIONES

- Para mejorar la calidad de los productos cerámicos, se recomienda la realización de una molienda gruesa de las materias primas, usando un molino de martillos.



- Al momento de elaborar los moldes de los nuevos ladrillos, la altura de los mismos debe ser mayor a las utilizadas en el desarrollo de esta tesis, en especial para piezas de dimensiones mayores, con el fin de evitar deformaciones, trizaduras y proporcionar mayor resistencia a las piezas.
- En la elaboración de improntas para los ladrillos se recomiendan que estas no sean muy complejas y que no abarquen más del 80% de la superficie total de aplicación, lo que favorece para que no se formen trizaduras en los filos de la pieza debido a la presión realizada por la impreta.
- En el diseño de nuevos modelos, se debe evitar ángulos o lados pronunciados, en especial si van a ser usadas en pastas con una granulometría gruesa, ya que provocan tensiones en las piezas, principalmente durante el secado, ocasionando trizaduras y/o roturas.
- Se recomienda que la cantidad de agua para la pasta de San Gerónimo no sea superior al 18%, la de Pullcanga no debe superar el 23% y para la pasta Nuevo Susudel no sea mayor al 20% ya que al superar estos valores, se provocarán roturas en las figuras.
- Se recomienda la generación de una normativa apropiada para este producto ya que tanto la normativa de ladrillo panelón, como las de baldosas cerámicas, si bien pueden ser usadas como referencia, no corresponden totalmente con las propiedades y usos de estos productos.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Account, S. (2002). Fabricación de Azulejos, Pavimentos y Baldosas de Cerámica. *Proyecto de Acción Complementaria y de Acompañamiento a La Formación*, 200. Retrieved from <https://www.fundae.es/Recursos digitales/Lists/Comisiones paritarias/DispForm.aspx?ID=63>



- Alteret Cerámicas. (2016). Cualidades de la Terracota Manual. *Alteret Cerámicas*. Retrieved from <https://www.alteret.com/es/guias-y-catalogos/guias-y-catalogos/cualidades-de-la-terracota-manual.pdf>
- Alvarez, A. N., & Chacho, G. M. (2015). *Sustitución del vidrio a base de óxido de plomo por uno frito en la elaboración de tejas en el sector de San José de Balzay y Racar*. Universidad de Cuenca.
- Álvarez, S. F. (2012). *Optimización del proceso de mezcla de arcilla para la producción de ladrillos en el sector artesanal*. Universidad de Cuenca.
- Alvear, P., & Palomeque, R. (2017). *Análisis del inventario del ciclo de vida del ladrillo utilizado en la ciudad de Cuenca: aspectos energéticos, medio ambientales, sociales, económicos y culturales*. Universidad de Cuenca.
- Arévalo, P. M. (2005). *Utilización de cascarilla de arroz en la elaboración de ladrillos livianos y de alta resistencia*. Universidad de Cuenca.
- Armijos, J. M. (2015). *Oña y su parroquia Susudel: Patrimonio Cultural de la Nación*. Universidad de Cuenca.
- Astudillo, S. M., & Avilés, M. A. (2005). *Elaboración de un filtro cerámico como sistema de purificación de agua para el abastecimiento doméstico*. Universidad de Cuenca.
- Baltuille, J. . (2009). *Materias primas nacionales alternativas para la fabricación de baldosas cerámicas*. Instituto Geológico y Minero de España. Retrieved from http://info.igme.es/SIDIMAGENES/139000/999/139999_0000001.PDF
- Barba, A., Beltrán, V., Felíu, C., García, J., Ginés, F., Sánchez, E., & Sanz, V. (2002). *Materias Primas para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas* (Segunda). Castellón, España: Instituto de Tecnología de Cerámica.
- Bernal, I., Cabezas, H., Espitia, C., Mojica, J., & Quintero, J. (2003). Análisis Próximo de Arcillas Para Cerámica. *Revista Academica Colombiana de Ciencias.*, 18(105), 569–578. Retrieved from https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/33343322/7-ANALISIS.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1504828021&Signature=mMJnEp%2B%2BDuJjbslmlrPdCUBD%2Bw%3D&response-content-disposition=inline%3B filename%3DANALISIS_PROXIMO_DE_ARCILLAS_
- Besoain, E. (1985). *Mineralogía de arcillas de suelo* (Primera). San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Blasco, I., Ferrero, J., García, C., & González, R. (2015). Análisis y descripción gráfica del funcionamiento de los hornos cerámicos. Madrid, España: Escuela de Arte Francisco



- Alcántara. Retrieved from [http://ceramica.name/tecnologia_ceramica/Archivos/Hornos ceramicos.pdf](http://ceramica.name/tecnologia_ceramica/Archivos/Hornos_ceramicos.pdf)
- Bruguera, J. (1984). *Manual Práctico de Cerámica* (Primera). Barcelona: Omega.
- Cabo, M. (2011). Ladrillo Ecológico Como Material Sostenible para las Construcción. *Universidad Publica De Navarra*, 121. Retrieved from <http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/4504/577656.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0A%0A>
- Calderón, M. E. (2010). *Inventario de Atractivos Turisticos de la parroquia Susudel*. Universidad del Azuay.
- Calvo, M. I., & Durán, D. (2013). “*Determinación del índice de compresibilidad e indice de expansion de los suelos cohesivos blandos en la zona de Tonsupa en la provincia de Esmeraldas.*” Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Chavez de los Santos, M. G. (2014). *Desarrollar un programa de investigación para la reducción de generación de finos de pellet*. Tecnológico Nacional de México.
- Cornejo, P. I. (2016). Depósitos minerales no metálicos del Ecuador. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional del Ecuador. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24008.11523>
- Cornell, J. (2002). *Experiments with Mixtures Designs, Models, and the Analysis of Mixture Data*. (J. W. & Sons, Ed.) (Tercera). Wiley- Interscience Publication.
- Corral, J. T. (2012). Caracterización Granulometrica de las Plantas Productoras de Arena en la Republica Dominicana, su impacto en la calidad y costo del Hormigón. *Ciencia y Sociedad República Dominicana*, 37(0378-7680), 293–334.
- Cuellar, J. (2000). *Desarrollo y caracterización de un Gres porcelánico*. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Cultrone, G. (2004). *Estudio mineralógico-petrográfico y fisico-mecánico de ladrillos macizos para su aplicación en intervenciones del Patrimonio Histórico*. *Mineralogía y Petrología*. Universidad de Granada.
- Deleg, N. (2010). *Definición de un proceso de produccion Semi-Industrial de Ladrillos en la Parroquia Susudel*. *Ingeniería Química*. Universidad de Cuenca.
- Didier, C., Etcheverrigaray, M., Kratje, R., & Goicoechea, H. C. (2007). Crossed mixture design and multiple response analysis for developing complex culture media used in recombinant protein production. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 86(1), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2006.07.007>



- DIPAC. (2016). DIPAC - Productos de Acero. Retrieved August 5, 2018, from <http://www.dipacmanta.com/acero-inoxidable/platinas-acero-inoxidable>
- Duque, G. (2017). *Manual de geología para Ingenieros*. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales. Retrieved from <http://bdigital.unal.edu.co/1572/>
- Fenili, Biz, E. P., Boa Hora, F. M., Madeira, P. R. M., Modesto, R., & Bernardin, C. O. (2004). Determinación de la plasticidad de las arcillas: el Método de indentación comparado con el método de Pfefferkorn. *Qualicer*, 49–55.
- Flores, F. (2004). *Diseño de una máquina semiautomática moldeadora de ladrillos de barro de 5.5x13x24 cm de dimensiones, con una capacidad de 500 ladrillos por hora, utilizable en la industria ladrillera*. Universidad de las Américas, Puebla. Retrieved from http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/ibarra_f_f/
- Fontalvo, E., & Gutierrez, E. (2014). *Diseño de un Horno para cocción de ladrillos refractarios en una empresa del sector ladrillero*. Universidad Autónoma del Caribe.
- Gabrielsson, J., Lindberg, N., & Lundstedt, T. (2002). Multivariate methods in pharmaceutical applications. *Journal of Chemometrics*, 16(3), 141–160. <https://doi.org/10.1002/cem.697>
- Galabru, P. (1977). *Obras de fábrica y metálicas* (Segunda). Barcelona, España: Editorial Reverté S.A.
- Galán, E., & Aparicio, P. (2005). Materias primas para la industria cerámica. *Utilización de Rocas y Minerales Industriales*, 2, 31–48.
- García, N., Guerrero, G., & Monroy, R. (2014). Propiedades Físicas Y Mecánicas De Ladrillos Macizos Cerámicos Para Mampostería. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 22(1), 1–5. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- García, N., Ibarra, A., & López, C. (2013). Caracterización de arcillas empleadas en pasta cerámica para la elaboración de ladrillos en la zona de Ocaña, Norte de Santander. *Épsilon*, 20, 101–119.
- Gavilanes, C., & Santellán, G. (2016). *Normalización y estandarización de la fabricación de ladrillos y tejas del cantón Chambo*. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Gozálvez, J., & García, J. (2006). Mixture design experiments applied to the formulation of colorant solutions. *Journal of Chemical Education*, 83(4), 647–650. <https://doi.org/10.1021/ed083p647>
- Guasumba, J., Olmedo, F., & Paguay, R. (2014). Diseño y construcción de un secador para piezas de cerámica blanca mediante el uso de convección forzada y acondicionamiento



- de aire ambiente. *Universidad de Las Fuerzas Armadas*, 1, 1–9. Retrieved from [https://es.scribd.com/doc/249697684/DISENO -Y-CONSTRUCCION-DE-UN-SECADORPARA-PIEZAS-DE-CERAMICA-BLANCAMEDIANTE-EL-USO-DE-CONVECCIONFORZADA-Y-ACONDICIONAMIENTODE-AIRE-AMBIENTE](https://es.scribd.com/doc/249697684/DISENO-Y-CONSTRUCCION-DE-UN-SECADORPARA-PIEZAS-DE-CERAMICA-BLANCAMEDIANTE-EL-USO-DE-CONVECCIONFORZADA-Y-ACONDICIONAMIENTODE-AIRE-AMBIENTE)
- Guerrero, G., Espinel, E., & Sánchez, H. G. (2017). Análisis de temperaturas durante la cocción de ladrillos macizos y sus propiedades finales. *Revista Tecnura*, 21(51), 118. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2017.1.a09>
- Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos* (Tercera Ed). Ciudad de México, México: MC Graw Hill. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Heras, C. M. (1992). Glosario terminológico para el estudio de las cerámicas arqueológicas. *Revista Española de Antropología Americana*, 22, 9–34. Retrieved from <https://revistas.ucm.es/index.php/REAA/article/viewFile/REAA9292110009A/24436>
- Inga, J. D., & Saetama, D. L. (2009). *Formulación de pasta del tipo porcelana química para la producción de materiales de laboratorio y otros usos en la industria*. Universidad Técnica Particular de Loja.
- Jarama, L., & Uzhca, B. (2016). *Ecoetiquetas para materiales de construcción en mampostería de la ciudad de Cuenca*. Universidad de Cuenca.
- Junco, J., & Tejada, E. (2014). Influencia de la actividad de las arcillas en la estabilización de suelos con sales cuaternarias de amonio en Cuba. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 4(197), 75–84.
- Lema, W. B. (2015). *Obtención de pasta y acoples de vidrio que no libere plomo para la elaborar tejas artesanales usando horno de tiro invertido*. Universidad de Cuenca.
- López, P. L. (2004). Población Muestra Y Muestreo. *Punto Cero*, 09(08), 69–74.
- Lucassen, J., Ferrandis, M. L., & Carazo, J. A. (2003). La fabricación de ladrillos en Europa occidental y la India: un intento de historia comparada con el trabajo. *Historia Social*, (45), 3–33. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/40340842>
- Luján, M., & Guzmán, D. (2015). Diseño, Construcción y Evaluación de un Horno (MK3) para la Cocción de Ladrillos Artesanales. *Acta Nova*, 7(2), 165–193. Retrieved from http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892015000200006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Maldonado, D. (2009). *La Ruta del Cóndor*. Universidad del Azuay.
- Maldonado, O. (2000). *Diseño de experimentos con mezclas*. Univeridad de Sonora. Retrieved



- from <http://www.bidi.uson.mx/TesisIndice.aspx?tesis=8128>
- Mansilla, C. (2013). POTENCIAL DE HIDROGENIONES- pH. *Revista de Actualización Clínica*, 40, 2076–2082.
- Martín, J. G. (2003). Pisos Coloniales en Panamá la vieja: Una manera de afianzar el status. *Arqueología Americana*, 225–238.
- Martinez, A. M. (2013). *Optimización del proceso de secado en piezas de cerámica fabricadas en talleres semi-artesanales, por medio de un mecanismo de evaporación a baja presión*. Universidad Rafael Landívar.
- Morales, J. (2005). *Tecnología de los materiales cerámicos* (Primera). Madrid, España: Editorial Díaz de Santos.
- Muñoz, J. A., Muñoz, R. A., Mancill, P., & Rodríguez, J. E. (2007). Estudio del procesamiento cerámico de las arcillas de la vereda “ La Codicia ” (Guapi , Colombia) para potencializar su uso en la elaboración de piezas cerámicas. *Revista Facultad de Ingeniería*, 42, 68–78.
- Naula, P. (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Susudel*. San Felipe de Oña, Ecuador.
- Ordoñez, M., & Sinchi, B. (2010). *Plan de negocios para talleres de ladrillo artesanal e industrial en la parroquia Sinincay sector Sigcho*. Universidad de Cuenca. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/1133/1/tad985.pdf>
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227–232. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Pacheco, B. (2015). *Análisis y Determinación de los precios de comercialización de la Industria Ladrillera de tipo mecanizada del cantón Cuenca caso práctico de Ladessa Año 2014*. Universidad de Cuenca.
- Palacios, M. A. (2005). *Diseño de un método para optimiza la formación de sílice amorfa en una arcilla mediante tratamiento térmico*. Universidad de Cuenca.
- Peña, A., & Pinta, F. (2012). Análisis sectorial: La Industria de la Construcción es el mayor empleador del mundo. *Infoeconomía*, 8. Retrieved from <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Infoeconomia/info10.pdf>
- Pullaguari, A. S. (2017). *Creación de 2 pastas cerámicas para monococción y bicocción (cono 04) a partir de los residuos cerámicos de empresa EDESA (S . A .)*. Universidad Central del Ecuador.



- Red de Ladrilleras. (2018). Red de Ladrilleras Estadísticas. Retrieved August 24, 2018, from <http://www.redladrilleras.net/>
- Restrepo, Ó. J. (2011). *Baldosas cerámicas y gres porcelánico: Un mundo en permanente evolución* (Primera). Medellín, Colombia: Centro Editorial Facultad de Minas.
- Rosales, Y. V. (2004). *Ensayos para morteros adhesivos de revestimientos cerámicos*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Sánchez, A. (2012). *Formulación y Elaboración de salchichas con materia prima nutritiva y aptas para colación estudiantil, utilizando aditivos naturales*. Universidad de Cuenca. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2460/1/tq1103.pdf>
- Santos, J. D., Malagón, P. Y., & Córdoba, E. M. (2011). Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de Barichara, Santander. *DYNA*, 78(167), 50–58. Retrieved from <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25762>
- Scalone, M. A. (2012). Propiedades Físico-Químicas de los suelos. *Instituto de Agrimensura*. Montevideo, Uruguay: Universidad de la República. Retrieved from <https://www.fing.edu.uy/sites/default/files/2012/5922/Capitulo10.pdf>
- Sembenelli, P. (1966). Los límites de Atterberg y su significado en la industria cerámica y ladrillera. *Materiales de Construcción*, 16, 5–14.
- Singer, F., & Singer, S. (1979). *Enciclopedia de la Cerámica Industrial* (Primera). Bilbao, España: Editorial Urmo.
- Susudel Historico. (2016). Susudel Historico. Retrieved September 10, 2018, from <https://www.facebook.com/pages/category/Organization/Susudel-Histórico-172249382977246/>
- Tufiño, G., Viera, N., Lascano, L., & Guerrero, V. (2015). Propiedades térmicas de arcillas ecuatorianas para ser utilizadas como material refractario. *Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador*, 19. Retrieved from http://www.cdts.espol.edu.ec/Proyectos/Proyectos en ejecución/Horno Materiales_files/infoEPN.pdf
- Uribe, R. A. (2015). Investigaciones de Materias Primas Minerales No Metálicas en el Ecuador. *Revista Politécnica*, 36(3), 34–44. Retrieved from <http://www.revistapolitecnica.epn.edu.ec/images/revista/volumen36/tomo3/Investigaciones deMateriasPrimasMinerales.pdf>
- Vieira, C. M. F., Holanda, J. N. F. de, & Pinatti, D. G. (2000). Caracterização de massa cerâmica vermelha utilizada na fabricação de tijolos na região de Campos dos



Goytacazes - RJ. *Cerâmica*, 46(297), 14–17. <https://doi.org/10.1590/S0366-69132000000100003>

Villanueva, C. (2006). *Aplicación de cadena de Markov en protocolos de comunicación. Escuela de Ingeniería Industrial. Pontificia Universidad Católica del Perú.*
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Zea, N. (2005). *Caracterización de las arcillas para la fabricación de ladrillos artesanales.* Universidad de San Carlos de Guatemala.

ANEXOS

ANEXO 1

PROCEDIMIENTOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS Y PASTAS

En esta parte se hallan descritos detalladamente los métodos utilizados para la caracterización de las diferentes propiedades de las arcillas, así como los procedimientos utilizados para la determinación de la resistencia a la flexión y absorción de humedad (variables de repuesta dentro del diseño de mezclas) de acuerdo a la Norma NTE-INEN 295 y 296. Los métodos descritos son los siguientes.

- ANEXO 1.1. MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD
- ANEXO 1.2. MÉTODO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRIA.
- ANEXO 1.3. MÉTODO PARA DETERMINAR LA PLASTICIDAD.



- ANEXO 1.4. MÉTODO PARA LA DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE CONTRACCION AL SECADO, A LA QUEMA Y CONTRACCION TOTAL
- ANEXO 1.5. MÉTODO PARA LA DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE ABSORCION DE AGUA Y ESPACIO POROSO
- ANEXO 1.6. MÉTODO PARA LA DETERMINACION DEL pH
- ANEXO 1.7. MÉTODO PARA DETERMINAR LA ABSORCIÓN DE HUMEDAD.
- ANEXO 1.8. MÉTODO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.

ANEXO 1.1 DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD PORCENTUAL EN ARCILLAS Y EN LAS PASTAS

MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> • Cápsulas de porcelana • Espátulas 	
EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> • Balanza de precisión marca BOECO Germany, Serie BWL 61 • Estufa marca Quincy Lab Inc. 	
MÉTODO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los materiales como cápsulas de porcelana y espátulas deben estar completamente limpias y secas para que no influyan con los resultados. 2. Se pesa las cápsulas de porcelana vacías y se anota su peso P_1. 3. Se coloca en la cápsula de porcelana 20g de la muestra que se desea determinar la humedad P_2. 4. Se lleva la cápsula de porcelana con la muestra a la estufa a una temperatura de 110°C por 24 horas o hasta obtener peso constante. 5. Se pesa nuevamente la cápsula con la muestra P_3 y por diferencia de peso se determina el porcentaje de humedad haciendo uso de la siguiente expresión matemática. 	
FÓRMULAS	$\% \text{ Humedad} = \frac{(P_h - P_s)}{P_h} * 100$ $\% \text{ Humedad} = \frac{(P_2 - P_1) - (P_3 - P_1)}{(P_2 - P_1)} * 100$ <p>Dónde:</p> <p>P_h = Peso del material húmedo (g)</p> <p>P_s = Peso del material seco (luego de las 24 horas de secado)(g)</p> <p>P_1 = Peso de la cápsula de porcelana vacía, limpia y seca (g)</p> <p>P_2 = Peso de la cápsula de porcelana más la muestra húmeda (g)</p> <p>P_3 = peso de la cápsula de procelana más muestra seca (g)</p>	

ANEXO 1.2. DETERMINACIÓN GRANULOMETRICA DE ARCILLAS Y DE PASTAS USANDO EL METODO HÚMEDO-SECO

<p>MATERIALES</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cápsula de porcelana • Recipiente metálico • Espátula, Pinza para cápsulas 	 <p>LAVADO</p>  <p>SECADO</p>  <p>TAMIZADO</p>
<p>EQUIPOS</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica marca BOECO Germany, Serie BWL 61 • Batería de tamices marca Humboldt, H-4325 • Serie de tamices marca ELE International • Medidor de Humedad marca Precisa 310M 	
<p>MÉTODO</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Es necesario medir la humedad de las muestras ya que se deberá trabajar con la cantidad neta del material. 2. Se pesa 200g netos de cada una de las muestras y se realizará un deslamado del material para lo cual se lo coloca en un tamiz de malla ASTM #400. 3. Se lava suavemente con un chorro de agua constante, disgregando el material usando las yemas de los dedos, hasta que el agua de escurrido este totalmente limpia. 4. Pasar el material retenido en el tamiz a un recipiente metálico con un pequeño chorro de agua, esperar unos minutos a que decante y eliminar la mayor cantidad de agua que se posible. 5. Secar completamente el material en la estufa a 110°C, esperar unos minutos a que se enfríe, y pesar nuevamente. 6. Colocar el juego de tamices en cascada, es decir ordenados de arriba hacia abajo por orden decreciente de luz o abertura de malla y colocar la muestra en tamiz superior, es decir en el de mayor abertura. 7. Someter el conjunto a un movimiento vibratorio durante un tiempo de 10 minutos, dejar reposar por dos minutos y pesar el material retenido en cada tamiz, el peso del material pasante del tamiz más fino será sumado al peso del material perdido en el deslamado. 	

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO Y EL ÍNDICE DE PLASTICIDAD EN ARCILLAS Y PASTAS	
MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> • Cápsula de porcelana • Espátula • Porta – muestras
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO EN ARCILLAS Y PASTAS	
MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> • Cápsula de porcelana • Tamiz malla ASTM #40
EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> • Tamiz malla ASTM #40 (425µm) • Balanza analítica marca BOECO Germany, Serie BWL 61 • Medidor de Humedad marca Precisa 310M
MÉTODOS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Toma muestra entre 10 y 30 g de la muestra de material con agua destilada, utilizada en el ensayo anterior. 2. Moldear la muestra sobre una placa de vidrio por un tamiz malla ASTM #40 (425µm) la muestra tamizada y colocarla en la cápsula de porcelana con agua destilada poco a poco y homogenizar con una espátula hasta formar una masa de consistencia plástica. 3. Dejar reposar por 24 horas en un lugar oscuro y que mantenga su humedad, máximo en 3 minutos, si no aparecen en ese lapso las trizaduras, debe tomarse nuevamente otra cinta partiendo de otra mezcla con menos humedad. 4. Colocar con la ayuda de la espátula en la cuchara de plasticidad del Set Casa Grande hasta que quede rasa con el borde inferior. 5. Cuando se obtienen las trizaduras cortar en pedazos y determinar la humedad en la estufa a 110 °C por 24 horas o en el analizador de humedad hasta obtener peso constante. La cantidad de agua expresada en porcentaje de la muestra que la masa tiene es el límite plástico. 6. Cada ensayo debe realizarse por triplicado de la muestra y la humedad debe tener una diferencia máxima de 0.2% en 13 mm.
MÉTODOS FORMULAS	<p>ÍNDICE DE PLASTICIDAD</p> <p>Realizar 3 determinaciones: una entre 25 y 35 golpes, otra entre 20 y 30 golpes y otra entre 15 a 25 golpes. Esto se consigue variando la cantidad de agua en cada prueba. La prueba se realizará por triplicado y la variación entre cada prueba debe ser de ± 1 golpe para que se acepte ese valor en ese punto. Entre cada punto debe existir como mínimo 5 golpes de diferencia. No puede tomarse el valor de 25 golpes. Con cada uno de los datos se grafica en papel semilogarítmico el número de golpes vs el porcentaje de humedad y se obtiene el valor de la humedad correspondiente a 25 golpes, este será el límite líquido.</p> <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> I_p = Índice de Plasticidad L_l = Límite líquido L_p = Límite plástico



ANEXO 1.3. DETERMINACIÓN DE LA PLASTICIDAD EN ARCILLAS Y PASTAS

DETERMINACIÓN DE CONTRACCION AL SECADO	
MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> • Mortero de cerámica • Molde de yeso para una placa de 10x5x1cm • Tamiz mallas ASTM #20 • Calibrador • Espátula • Cuerda de guitarra o hilo nylon
EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica marca BOECO Germany, Serie BWL 61
MÉTODO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Moler las muestras y pasarlas a través de un tamiz malla #20, con las muestras preparadas se adiciona agua, en cantidad suficiente hasta obtener una masa consistente la misma que pueda ser moldeada y no se pegue entre las manos. 2. Se forman placas de 10cm de largo por 5cm de ancho y 1cm de espesor, para esto se coloca la pasta en un molde de yeso, se compacta correctamente en el molde y se elimina el exceso de pasta usando el hilo nylon humedecido, se empareja la placa y se elimina los excesos usando una espátula. 3. Con el calibrador se hace una marca de 5 cm en la placa en forma de cruz, se etiqueta la placa y se la deja secar hasta que se desprenda del molde fácilmente. 4. Se deja secar las placas formadas durante 72 horas al aire libre y durante 24 horas en la estufa a una temperatura de 110°C. 5. Transcurrido el tiempo, se mide con el calibrador nuevamente las distancias entre las marcas y éstas será la contracción al secado.
FÓRMULAS	<p>CONTRACCCIÓN AL SECADO</p> $\%C_s = \frac{L_o - L_s}{L_o} * 100$ <p>Dónde: $\%C_s$ = Porcentaje de contracción al secado L_o = Longitud inicial de la marca (5cm)(cm) L_s = Longitud final de las marcas luego del secado (cm)</p>



FORMACIÓN



SECADO



MEDICIÓN

ANEXO 1.4. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE CONTRACCIÓN AL SECADO, QUEMA Y TOTAL EN ARCILLAS Y PASTAS

DETERMINACION DE CONTRACCION A LA QUEMA Y CONTRACCION TOTAL													
MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> • Calibrador “pie de rey” 												
EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> • Horno 												
MÉTODO	<p>1. Las placas preparadas para la contracción al secado, son colocadas en el horno y se procede a quemarlas, por medio de un ciclo de quema establecido. De acuerdo a una revisión bibliográfica.</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Intervalos de temperatura (°C)</th> <th>Tiempo (min.)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$^{\circ}T_{Ambiente} - 170^{\circ}C$</td> <td>90</td> </tr> <tr> <td>170°C – 570°C</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>570°C – 575°C</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>575°C – 850°C</td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>850°C – 850°C</td> <td>60</td> </tr> </tbody> </table> <p>2. Luego de la quema y el enfriamiento, se mide nuevamente la longitud de las marcas y se determina el porcentaje de contracción a la quema.</p>	Intervalos de temperatura (°C)	Tiempo (min.)	$^{\circ}T_{Ambiente} - 170^{\circ}C$	90	170°C – 570°C	60	570°C – 575°C	30	575°C – 850°C	120	850°C – 850°C	60
Intervalos de temperatura (°C)	Tiempo (min.)												
$^{\circ}T_{Ambiente} - 170^{\circ}C$	90												
170°C – 570°C	60												
570°C – 575°C	30												
575°C – 850°C	120												
850°C – 850°C	60												
FÓRMULAS	<p>CONTRACCIÓN A LA QUEMA</p> $\%C_Q = \frac{L_s - L_q}{L_s} * 100$ <p>Dónde: $\%C_Q$ = Porcentaje de contracción al quemado L_q = Longitud de la marca tras el quemado (cm) L_s = Longitud final de las marcas luego del secado(cm)</p> <p>CONTRACCIÓN TOTAL</p> $\%C_T = \frac{L_o - L_q}{L_o} * 100$ <p>Dónde: $\%C_T$ = Porcentaje de contracción al secado L_o = Longitud inicial de la marca(cm) L_q = Longitud final de las marcas luego de la quema (cm)</p>												

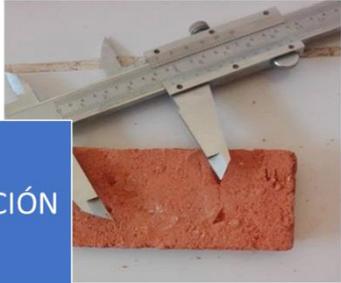
SECADO



QUEMA



MEDICIÓN



ANEXO 1.5. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE AGUA Y ESPACIO POROSO EN ARCILLAS Y PASTAS

DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE AGUA	
MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> • Recipiente plástico • Franela o paño de tela
EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica marca BOECO Germany, Serie BWL 61
MÉTODO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Las placas quemadas, resultantes del ensayo anterior son pesadas 2. Se las coloca en un recipiente con agua destilada, verticalmente teniendo en cuenta que el agua no cubra completamente las placas, con el fin de eliminar todo el aire que se encuentran en los poros. 3. Esperar 30 minutos y sumergir totalmente las placas, se deja reposar por 24 horas para determinar la cantidad de agua que absorbe la placa. 4. Retirar las placas del agua y con un paño húmedo eliminar el exceso de agua y finalmente pesar nuevamente las placas.
FÓRMULAS	<p>ABSORCIÓN DE AGUA</p> $\%AA = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$ <p>Dónde $\%AA =$ Porcentaje de absorción de agua $P_h =$ peso en humedo (g) $P_s =$ peso en seco (g)</p>

PESAJE



COLOCACIÓN



ABSORCION DE AGUA



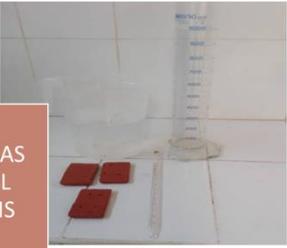
SECADO



DETERMINACIÓN DEL ESPACIO POROSO	
MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> • Probeta de 1000ml • Pipeta serológica 10ml
MÉTODO	<p>1. Las placas con las cuales se realizó la determinación de la absorción de agua, serán utilizadas en esta determinación. Se coloca agua en una probeta hasta un volumen conocido. Se coloca la placa en la probeta y se mide el volumen que ésta desplaza. Si el volumen no se puede medir exactamente se usa una pipeta serológica que determine los mililitros faltantes.</p>
FÓRMULAS	<p>ESPACIO POROSO</p> $\% EP = \frac{P_h - P_s}{V_{Placas}} \times 100$ <p>Dónde: $\% EP =$ Poceraje de espacio poroso $P_h =$ Peso en humedo (g) $P_s =$ Peso en seco (g) $V_{Placas} =$ Volumen desplazado (ml)</p>



MATERIALES



MUESTRAS PARA EL ANÁLISIS



VOLUMEN DESPLAZADO

ANEXO 1.6. DETERMINACIÓN DEL pH EN ARCILLAS Y PASTAS

DETERMINACIÓN DEL pH DE ARCILLAS Y DE PASTAS		
MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> • Placa de vidrio 20x20 • Espátula • Vaso de precipitación • Mortero 	<ul style="list-style-type: none"> • Frasco Lavador • Probeta de 50ml • Probeta de 10ml • Tamiz Malla ASTM #20
EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica marca BOECO Germany, Serie BWL 61 • Potenciómetro marca BOECO Germany, pH meter BT 600 • Medidor de Humedad 	
MÉTODO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Antes de realizar la medida del pH se debe medir la humedad de cada una de las muestras de arcilla, ya que se debe pesar una cantidad neta 2. Se trituran las arcillas con la ayuda de un mortero y se pasa por un tamiz malla ASTM #20 3. De la muestra completamente triturada, se toman 20g netos de material y se colocan sobre la placa de vidrio 4. Ya en la placa de vidrio, realizar un pequeño agujero y se añade agua destilada de poco a poco, se mezcla constantemente con la espátula, hasta formar la imagen especular. 5. Seguir agregando agua, hasta que la muestra casi no pueda permanecer sobre la placa de vidrio (solución líquida) 6. Transferir a un vaso de precipitación de 100ml y agregar agua hasta completar 50ml, se debe lavar correctamente la placa de vidrio, hasta que quede completamente limpia. 7. Agitar correctamente y medir el pH utilizando el potenciómetro. <p><u>En el caso de la medida del pH de las pastas, partimos de ladrillos panelón que se hallen completamente secos pero que aún no estén quemados, necesitan ser disgregados y luego se procede con el método usado para la medida del pH.</u></p>	



ANEXO 1.7. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE HUMEDAD

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	LADRILLOS CERÁMICOS DETERMINACIÓN DE ABSORCIÓN DE HUMEDAD	NTE INEN 296:2015 Primera revisión 2015-12
---	--	---

1. OBJETO

Esta norma establece el método de ensayo de los ladrillos cerámicos empleados en albañilería para determinar la absorción de la humedad.

Esta norma comprende los ladrillos cerámicos fabricados de arcilla moldeada y cocida. No comprende a los ladrillos refractarios o fabricados con materiales silico-calcareos.

2. REFERENCIAS NORMATIVAS

Los siguientes documentos, en su totalidad o en parte, están referidos y son indispensables para su aplicación. Para referencias fechadas, solamente aplica la edición citada. Para referencias sin fecha, aplica la última edición del documento de referencia (incluyendo cualquier enmienda).

NTE INEN 292, *Ladrillos cerámicos. Muestreo*

NTE INEN 293, *Ladrillos cerámicos. Definiciones. Clasificación y condiciones generales*

3. DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma, se adoptan las definiciones contempladas en NTE INEN 293.

4. MÉTODO DE ENSAYO

4.1 Generalidades

El procedimiento descrito en esta norma se basa en la determinación de las masas de una muestra de ladrillo antes y después de ser sumergida en agua, estableciéndose la diferencia entre las dos masas como base para conocer el valor de la absorción de la humedad.

4.2 Equipo

Los equipos que se deben utilizar son los siguientes:

- Balanza con capacidad mínima de 5 kg y con escala que permita lecturas hasta de 0,5 g.
- Estufa de desecación regulada a una temperatura de 110 °C.

4.3 Preparación de las muestras

La muestra a ensayar consistirá en el número de ladrillos de acuerdo a la tabla 1 de la NTE INEN 292, que se desecarán en estufa a 110 °C hasta obtener una masa constante. Luego, se enfriarán a la temperatura ambiente y se volverán a pesar. Si se observa un aumento de masa mayor del 1 %, se repetirá la operación.



NTE INEN 298

2015-12

4.4 Procedimiento

Una vez preparadas las muestras y anotada su masa constante, sumergirlas en agua destilada a una temperatura de 15 °C a 30 °C durante 24 horas. Al sacar las muestras del agua, secarlas con una toalla húmeda antes de pesarlas. La pesada de cada muestra debe concluirse antes de cinco minutos de sacada del agua.

4.5 Cálculo

La absorción de cada muestra expresada en porcentaje se calcula por la ecuación siguiente:

$$\text{Absorción \%} = \frac{P_2 - P_1}{P_1} \times 100$$

donde

P_1 es la masa de la muestra desecada,

P_2 es la masa de la muestra después de 24 horas de haber sido sumergida.

4.6 Expresión de los resultados

El promedio de los valores de absorción obtenidos en cinco muestras representa el porcentaje de absorción de humedad del lote de ladrillos inspeccionado.

2015-0585

2 de 3



Las muestras de ladrillo son colocadas en un recipiente con agua destilada durante 24 horas



Pesaje de las muestras luego de las 24 horas colocadas en agua destilada

ANEXO 1.8. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXION

 CDU: 691.421 CO 02.07-302		
Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	LADRILLO CERAMICOS DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA FLEXION	INEN 295 1977-05
Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN – Casilla 17-01-3099 – Baquezano Moreno E(829) y Almagro – Cuzco-Ecuador – Prohibida la reproducción	<p style="text-align: center;">1. OBJETO</p> <p>1.1 Esta norma tiene por objeto establecer el método de ensayo de los ladrillos cerámicos empleados en albañilería para determinar su resistencia a la flexión.</p> <p style="text-align: center;">2. ALCANCE</p> <p>2.1 Esta norma comprende los ladrillos cerámicos fabricados de arcilla moldeada y cocida. No comprende a los ladrillos refractarios o fabricados con materiales silico- calcáreos.</p> <p style="text-align: center;">3. RESUMEN</p> <p>3.1 El procedimiento descrito en esta norma se basa en la aplicación de una carga progresiva de flexión a una muestra de ladrillos, hasta determinar su resistencia máxima admisible.</p> <p style="text-align: center;">4. MÉTODO</p> <p>4.1 Instrumental</p> <p>4.1.1 Puede usarse cualquier máquina de las empleadas para ensayos de flexión, siempre que los apoyos tengan una longitud por lo menos igual al ancho de la muestra de prueba y aseguren su contacto total y permanente con la misma.</p> <p>4.2 Preparación de las muestras</p> <p>4.2.1 Las muestras a utilizarse consistirán en cinco ladrillos secos, enteros y sin defectos apreciables.</p> <p>4.3 Procedimiento</p> <p>4.3.1 Colocar el ladrillo de muestra con su cara mayor sobre los apoyos, asegurando una separación de 15cm entre éstos. Hacer descender la pieza superior hasta obtener un contacto directo con la superficie en el centro de la luz. Las tres líneas de contacto se mantendrán paralelas. Aplicar la carga hasta la rotura de la muestra.</p> <p>4.3.2 La velocidad de aplicación de la carga será tal que el cabezal de la máquina no avance más de 1,5 mm por minuto.</p> <p>4.4 Cálculo</p> <p>4.4.1 El módulo de rotura se calcula con la ecuación siguiente:</p> $R = \frac{300 G l}{2 b d^2}$ <p>Siendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> R = módulo de rotura, en Megapascuales. G = carga de rotura, en Newtones. l = distancia entre apoyos en milímetros. b = ancho de cara a cara de la muestra, en milímetros. d = promedio del espesor de cara a cara de la muestra en milímetros. <p>4.5 Expresión de los resultados</p> <p>4.5.1 El promedio de los valores obtenidos en cinco muestras representa la resistencia a la flexión del lote de ladrillos sometidos a ensayo.</p> <p style="text-align: right;">(Continúa)</p>	

APÉNDICE Y

Y.1 Las unidades de medida y cálculo de resistencia a la flexión están expresadas de acuerdo a la Norma INEN 1. Sistema Internacional de Unidades SI.

Y.2 En vista de que en normas de referencia, textos de estudio y escalas de máquinas se mantiene el uso de otras unidades, en la Tabla 1 se indican las equivalencias más usadas para el cálculo.

TABLA 1. Equivalencia de unidades SI con unidades tradicionales de cálculo de resistencia mecánica.

UNIDADES SI	Equivalencia	Equivalencia Unidades Tradicionales
1 N (Newton)		0,10 kgf
1 Pa (Pascal)	$\frac{N}{m^2}$	$\frac{0,10 \text{ kgf}}{cm^2}$
100 Pa N	$\frac{N}{dm^2}$	$\frac{0,10 \text{ kgf}}{dm^2}$
10 000 Pa	$\frac{N}{cm^2}$	$\frac{0,10 \text{ kgf}}{cm^2}$
1 000 000 Pa (Megapascal)	$\frac{N}{mm^2}$	$\frac{0,10 \text{ kgf}}{mm^2}$
1 MPa	$\frac{100 \text{ N}}{cm^2}$	$\frac{10 \text{ kgf}}{cm^2}$
0,1 MPa	$\frac{10 \text{ N}}{cm^2}$	$\frac{1 \text{ kgf}}{cm^2}$



Equipo para la determinación de la fuerza de rotura, utilizado en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Arquitectura



Ladrillo luego de ser sometido a una fuerza de rotura



Ladrillo colocado en el equipo antes de ser sometido a la fuerza de rotura



Tipos de roturas que se producen en los ladrillos para revestimiento de piso.



ANEXO 2

ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS ARCILLAS

ANEXO 2.1 ANALISIS QUIMICO DE LAS ARCILLAS DE NUEVO SUSUDEL

 CESEMIN Centro de Estudios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos	REPORTE DE RESULTADOS  UCUENCA-EP ADMINISTRACIÓN DE SERVICIOS, DESARROLLO TECNOLÓGICO, LABORATORIO FORENSE  UNIVERSIDAD DE CUENCA	RMN-1713 Hoja 1 de 1
---	--	-------------------------

CLIENTE: UNIVERSIDAD DE CUENCA
MUESTRAS: 1 MUESTRA
FECHA: 2018-09-07

ANÁLISIS QUÍMICO

%ÓXIDO	SCMP 27-07-2018
SiO ₂	68,04
Al ₂ O ₃	18,47
Fe ₂ O ₃	2,83
CaO	0,80
MgO	0,40
Na ₂ O	2,37
K ₂ O	1,68
Pérdidas al Fuego	5,40

OBSERVACIONES:

- Método: Fusión con Hidróxidos.
Extracción Ácida
Espectroscopía de Absorción Atómica de llama.



Responsable análisis
Ing. Sonia Astudillo



Directora (e)
Ing. Marcela Idrovo

cc. archivo

Notas: Este informe sólo afecta a los objetos sometidos a ensayo.
Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESEMIN.
El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo, los análisis se efectúan sobre la muestra entregada por el cliente.
Los datos sobre la muestra, incluido el nombre, son proporcionados por el Cliente y son de su entera responsabilidad.



 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos	REPORTE DE RESULTADOS  UCUENCA-EP ADMINISTRACIÓN DE SERVICIOS TECNOLÓGICOS Y OPERATIVOS UNIVERSIDAD DE CUENCA	RMN-1714 Hoja 1 de 1
--	---	-------------------------

CLIENTE: UNIVERSIDAD DE CUENCA

MUESTRAS: 1 MUESTRA

FECHA: 2018-09-07

ANÁLISIS QUÍMICO

%ÓXIDO	SCLP 27-07-2018
SiO ₂	64,41
Al ₂ O ₃	17,68
Fe ₂ O ₃	2,71
CaO	0,77
MgO	0,39
Na ₂ O	3,61
K ₂ O	4,41
Pérdidas al Fuego	6,03

OBSERVACIONES:

- Método: Fusión con Hidróxidos.
Extracción Ácida
Espectroscopía de Absorción Atómica de llama.

Responsable análisis
Ing. Sonia Astudillo

Directora (e)
Ing. Marcela Idrovo

cc. archivo

Notas: Este informe sólo afecta a los objetos sometidos a ensayo.
Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESEMIN.
El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo, los análisis se efectúan sobre la muestra entregada por el cliente.
Los datos sobre la muestra, incluido el nombre, son proporcionados por el Cliente y son de su entera responsabilidad.



ANEXO 2.2 ANALISIS QUIMICO DE LAS ARCILLAS DE SAN GERÓNIMO

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Materiales Metálicos y No Metálicos	REPORTE DE RESULTADOS  UCUENCA-EP ADMINISTRACIÓN DE SERVICIOS TECNOLÓGICOS, EDUCACIONALES Y DE CALIDAD  ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD DE CUENCA	RMN-1708 Hoja 1 de 1
---	---	-------------------------

CLIENTE: UNIVERSIDAD DE CUENCA

MUESTRAS: 1 MUESTRA

FECHA: 2018-09-07

ANÁLISIS QUÍMICO

%ÓXIDO	SJLD 27-07-2018
SiO ₂	67,22
Al ₂ O ₃	13,94
Fe ₂ O ₃	2,30
CaO	0,41
MgO	0,33
Na ₂ O	1,59
K ₂ O	1,47
Pérdidas al Fuego	12,74

OBSERVACIONES:

- Método: Fusión con Hidróxidos.
Extracción Ácida
Espectroscopía de Absorción Atómica de llama.

Responsable análisis
Ing. Sonia Astudillo

Directora (e)
Ing. Marcela Idrovo

cc. archivo

Notas: Este informe sólo afecta a los objetos sometidos a ensayo.
Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESEMIN.
El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo, los análisis se efectúan sobre la muestra entregada por el cliente.
Los datos sobre la muestra, incluido el nombre, son proporcionados por el Cliente y son de su entera responsabilidad.



 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos	REPORTE DE RESULTADOS  ADMINISTRACIÓN DE SERVICIOS, GESTIÓN TECNOLÓGICA, INNOVACIÓN Y EDUCACIÓN UNIVERSIDAD DE CUENCA	RMN-1709 Hoja 1 de 1
--	---	-------------------------

CLIENTE: UNIVERSIDAD DE CUENCA
MUESTRAS: 1 MUESTRA
FECHA: 2018-09-07

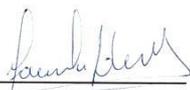
ANÁLISIS QUÍMICO

%ÓXIDO	SJLP 27-07-2018
SiO ₂	71,00
Al ₂ O ₃	15,74
Fe ₂ O ₃	2,85
CaO	0,43
MgO	0,29
Na ₂ O	0,65
K ₂ O	0,85
Pérdidas al Fuego	8,19

OBSERVACIONES:

- Método: Fusión con Hidróxidos.
Extracción Ácida
Espectroscopía de Absorción Atómica de llama.


Responsable análisis
Ing. Sonia Astudillo


Directora (e)
Ing. Marcela Idrovo

cc. archivo

Notas: Este informe sólo afecta a los objetos sometidos a ensayo.
Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESEMIN.
El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo, los análisis se efectúan sobre la muestra entregada por el cliente.
Los datos sobre la muestra, incluido el nombre, son proporcionados por el Cliente y son de su entera responsabilidad.



ANEXO 2.3 ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS ARCILLAS DE PULLCANGA

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos	REPORTE DE RESULTADOS  UNIVERSIDAD DE CUENCA	RMN-1710 Hoja 1 de 1
--	---	-------------------------

CLIENTE: UNIVERSIDAD DE CUENCA
MUESTRAS: 1 MUESTRA
FECHA: 2018-09-07

ANÁLISIS QUÍMICO

%ÓXIDO	PLLRP 27-07-2018
SiO ₂	47,11
Al ₂ O ₃	32,50
Fe ₂ O ₃	3,67
CaO	0,30
MgO	0,23
Na ₂ O	0,47
K ₂ O	0,42
Pérdidas al Fuego	15,29

OBSERVACIONES:

- Método: Fusión con Hidróxidos.
Extracción Ácida
Espectroscopía de Absorción Atómica de llama.

Responsable análisis
Ing. Sonia Astudillo

Directora (e)
Ing. Marcela Idrovo

cc. archivo

Notas: Este informe sólo afecta a los objetos sometidos a ensayo.
Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESEMIN.
El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo, los análisis se efectúan sobre la muestra entregada por el cliente.
Los datos sobre la muestra, incluido el nombre, son proporcionados por el Cliente y son de su entera responsabilidad.



 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Muestras Metálicas y No Metálicas	REPORTE DE RESULTADOS  UCUENCA-EP ADMINISTRACION DE SERVICIOS, GESTION TECNOLÓGICA, CAPACITACION ESPECIALIZADA  UNIVERSIDAD DE CUENCA	RMN-1711 Hoja 1 de 1
---	--	-------------------------

CLIENTE: UNIVERSIDAD DE CUENCA
MUESTRAS: 1 MUESTRA
FECHA: 2018-09-07

ANÁLISIS QUÍMICO

%ÓXIDO	PLLMP 27-07-2018
SiO ₂	72,07
Al ₂ O ₃	13,74
Fe ₂ O ₃	2,71
CaO	0,41
MgO	0,25
Na ₂ O	0,88
K ₂ O	0,96
Pérdidas al Fuego	8,99

OBSERVACIONES:

- Método: Fusión con Hidróxidos.
Extracción Ácida
Espectroscopia de Absorción Atómica de llama.

Responsable análisis
Ing. Sonia Astudillo

Directora (e)
Ing. Marcela Idrovo

cc. archivo

Notas: Este informe sólo afecta a los objetos sometidos a ensayo.
Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESEMIN.
El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo, los análisis se efectúan sobre la muestra entregada por el cliente.
Los datos sobre la muestra, incluido el nombre, son proporcionados por el Cliente y son de su entera responsabilidad.



 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Materiales Metálicos y No Metálicos	REPORTE DE RESULTADOS  UCUENCA-EP ADMINISTRACIÓN DE SERVICIOS TECNOLÓGICOS Y EDUCACIÓN ESPECIALIZADA  ANEXO A PUBLICACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA	RMN-1712 Hoja 1 de 1
---	---	-------------------------

CLIENTE: UNIVERSIDAD DE CUENCA

MUESTRAS: 1 MUESTRA

FECHA: 2018-09-07

ANÁLISIS QUÍMICO

%ÓXIDO	PLLD 27-07-2018
SiO ₂	65,51
Al ₂ O ₃	17,43
Fe ₂ O ₃	3,06
CaO	0,74
MgO	0,85
Na ₂ O	2,12
K ₂ O	1,18
Pérdidas al Fuego	9,10

OBSERVACIONES:

- Método: Fusión con Hidróxidos.
Extracción Ácida
Espectroscopia de Absorción Atómica de llama.



Responsable análisis
Ing. Sonia Astudillo



Directora (e)
Ing. Marcela Idrovo

cc. archivo

Notas: Este informe sólo afecta a los objetos sometidos a ensayo.
Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESEMIN.
El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo, los análisis se efectúan sobre la muestra entregada por el cliente.
Los datos sobre la muestra, incluido el nombre, son proporcionados por el Cliente y son de su entera responsabilidad.



ANEXO 2.4 ANÁLISIS MINERALÓGICO RACIONAL PARA LAS ARCILLAS

NUEVO SUSUDEL

ARCILLA ARENOSA (NUEVO SUSUDEL)			
FELDESPATOS	56,645	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	26,107
		$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	30,538
SUSTANCIA ARCILLOSA	17,605		
SILICE LIBRE	18,315		
IMPUREZAS	Fe_2O_3	2,71	
	CaO	0,77	
	MgO	0,39	
	M.O	3,575	

ARCILLA PLASTICA (NUEVO SUSUDEL)			
FELDESPATOS	29,994	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	9,946
		$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	20,049
SUSTANCIA ARCILLOSA	32,265		
SILICE LIBRE	32,800		
IMPUREZAS	Fe_2O_3	2,83	
	CaO	0,8	
	MgO	0,4	
	M.O	0,901	

SAN GERÓNIMO

ARCILLA NEGRA (SAN GERÓNIMO)			
FELDESPATOS	10,531	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	5,032
		$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	5,499
SUSTANCIA ARCILLOSA	34,797		
SILICE LIBRE	47,765		
IMPUREZAS	Fe_2O_3	2,85	
	CaO	0,43	
	MgO	0,29	
	M.O	3,338	



ARCILLA LASTRE (SAN GERÓNIMO)			
FELDESPATOS	22,153	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	8,702
		$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	13,450
SUSTANCIA ARCILLOSA	24,624		
SILICE LIBRE	40,877		
IMPUREZAS		Fe_2O_3	2,300
		CaO	0,410
		MgO	0,330
		M.O	9,306

PULLCANGA

ARCILLA LASTRE (PULLCANGA)			
FELDESPATOS	13,127	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	5,683
		$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	7,444
SUSTANCIA ARCILLOSA	28,475		
SILICE LIBRE	50,018		
IMPUREZAS		Fe_2O_3	2,710
		CaO	0,410
		MgO	0,250
		M.O	5,019

ARCILLA ROJA (PULLCANGA)			
FELDESPATOS	6,462	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	2,486
		$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	3,976
SUSTANCIA ARCILLOSA	79,146		
SILICE LIBRE	5,928		
IMPUREZAS		Fe_2O_3	3,670
		CaO	0,300
		MgO	0,230
		M.O	4,253



ARCILLA NEGRA (PULLCANGA)			
FELDESPATOS	24,919	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	6,986
		$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	17,934
SUSTANCIA ARCILLOSA	32,047		
SILICE LIBRE	33,843		
IMPUREZAS	Fe_2O_3	3,060	
	CaO	0,740	
	MgO	0,850	
	M.O	4,631	

ANEXO 3

VALIDACIÓN Y COMPARACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS

ANEXO 3.1 VALIDACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

Para la validación del modelo se utiliza la siguiente formulas

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Medias cuadradas
Regresión	$p - 1$	$SSR = \sum (\hat{y}_u - \bar{y})^2$	$SSR/p - 1$
Residual	$N - p$	$SSE = \sum (y_u - \hat{y}_u)^2$	$SSE/N - p$
Total	$N - 1$	$SST = \sum (y_u - \bar{y})^2$	

$$\bar{y} = \frac{\sum y_u}{\text{Número de experimentos}}$$

$$\bar{y} = 437,38/33$$

$$\bar{y} = 13,26$$

VALORES OBSERVADOS (y_u)	VALOR PREDICHO (\hat{y}_u)	RESIDUAL SUMA DE CUADRADOS ($(y_u - \hat{y}_u)^2$)	TOTAL SUMA DE CUADRADOS ($(y_u - \bar{y})^2$)	REGRESIÓN SUMA DE CUADRADOS ($(\hat{y}_u - \bar{y})^2$)
12,808	12,838	0,00088	0,207	0,181
12,847	12,838	0,00008	0,173	0,181
12,859	12,838	0,00043	0,163	0,181
12,853	12,861	0,00006	0,168	0,162
12,890	12,861	0,00082	0,139	0,162
12,841	12,861	0,00042	0,178	0,162
12,942	12,978	0,00126	0,103	0,081
12,976	12,978	0,00000	0,083	0,081
13,016	12,978	0,00141	0,061	0,081
13,008	13,028	0,00043	0,065	0,055
13,032	13,028	0,00001	0,053	0,055
13,045	13,028	0,00029	0,047	0,055
13,080	13,053	0,00076	0,033	0,044
13,023	13,053	0,00089	0,058	0,044
13,055	13,053	0,00000	0,043	0,044
12,986	12,993	0,00006	0,077	0,073
13,046	12,993	0,00282	0,047	0,073
12,948	12,993	0,00208	0,099	0,073
13,218	13,161	0,00328	0,002	0,010
13,100	13,161	0,00372	0,027	0,010



13,164	13,161	0,00001	0,010	0,010
13,501	13,520	0,00038	0,056	0,066
13,596	13,520	0,00581	0,111	0,066
13,464	13,520	0,00321	0,040	0,066
13,702	13,746	0,00197	0,192	0,233
13,777	13,746	0,00097	0,264	0,233
13,759	13,746	0,00018	0,246	0,233
13,789	13,763	0,00067	0,277	0,250
13,765	13,763	0,00000	0,252	0,250
13,736	13,763	0,00075	0,224	0,250
13,997	13,952	0,00200	0,538	0,474
13,914	13,952	0,00140	0,424	0,474
13,945	13,952	0,00005	0,464	0,474
		SSE	SST	SSR
		0,0371	4,928	4,891



ANEXO 3.2 COMPARACION DEL MODELO

Para la comparación del modelo se utiliza la siguiente formula

$$F = \frac{(SSE_{reducido} - SSE_{completo})/r}{SSE_{completo}/(N - p)}$$

VALOR ACTUAL	NUEVO VALOR PREDICHO	SUMA DE CUADRADOS RESIDUAL (REDUCIDO)
12,808	12,690	0,01400
12,847	12,690	0,02460
12,859	12,690	0,02850
12,853	12,804	0,00242
12,890	12,804	0,00735
12,841	12,804	0,00134
12,942	12,918	0,00060
12,976	12,918	0,00334
13,016	12,918	0,00951
13,008	13,032	0,00060
13,032	13,032	0,00000
13,045	13,032	0,00018
13,080	13,146	0,00433
13,023	13,146	0,01518
13,055	13,146	0,00833
12,986	13,260	0,07520
13,046	13,260	0,04566
12,948	13,260	0,09753
13,218	13,374	0,02433
13,100	13,374	0,07520
13,164	13,374	0,04391
13,501	13,488	0,00016
13,596	13,488	0,01176
13,464	13,488	0,00060
13,702	13,602	0,00995
13,777	13,602	0,03073
13,759	13,602	0,02479
13,789	13,716	0,00537
13,765	13,716	0,00239
13,736	13,716	0,00040
13,997	13,830	0,02774
13,914	13,830	0,00714
13,945	13,830	0,01313
	<i>SSE_{reducido}</i>	0,61625

ANEXO 4
FOTOGRAFÍAS



Ladrillos hexagonales con improntas de rosetón



Ladrillos romboidales con improntas sencillas para formar varias tramas



Ladrillos con formas de chacanas con varias combinaciones



Ladrillos de representaciones orgánicas formando tramas