

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-04-2012	A
	Dependencia	Aprobado	Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA		SUBDIRECTOR ACADEMICO	i(166)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	EDGAR JULIAN TORRES DIAZ		
FACULTAD	INGENIERÍAS		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERÍA MECÁNICA		
DIRECTOR	MSc. Ing. Mecánico RICARDO ANDRÉS GARCÍA LEÓN		
TÍTULO DE LA TESIS	DIAGNOSTICO DEL CUMPLIMIENTO DE LA CALIDAD DE LOS BLOQUES H-10 FABRICADOS POR LA LADRILLERA HORA LIMITADA EN OCAÑA NORTE DE SANTANDER		
RESUMEN (70 palabras aproximadamente)			
<p>ESTE PROYECTO TIENE COMO FINALIDAD CONOCER EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LOS BLOQUES H-10 DE LA EMPRESA OCAÑERA HORA LIMITADA Y UNA VEZ EXAMINADO TODO LO RELACIONADO CON LA MANUFACTURA APLICADA POR LA LADRILLERA, SE PROCEDIÓ A REALIZAR UN DIAGNÓSTICO DE CALIDAD TENIENDO EN CUENTA LO DIFERENTES PRUEBAS DE LABORATORIO DE TIPO DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS REALIZADOS Y SUS RESPECTIVOS RESULTADOS, TENIENDO EN CUENTA LOS ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 166	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM: 1



Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552
Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88 - Fax: Ext. 104
info@ufpso.edu.co - www.ufpso.edu.co

DIAGNOSTICO DEL CUMPLIMIENTO DE LA CALIDAD DE LOS BLOQUES H-10
FABRICADOS POR LA LADRILLERA HORA LIMITADA EN OCAÑA NORTE DE
SANTANDER

AUTOR:

EDGAR JULIAN TORRES DIAZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de Ingeniero Mecánico

Director

RICARDO ANDRÉS GARCÍA LEÓN

MSc. Ing. Mecánico

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA MECÁNICA

OCAÑA, COLOMBIA

MAYO, 2018

Dedicatoria

*Agradecer a Dios que me permitió estar hoy terminando este ciclo tan importante para mí vida,
a mis padres Luis Freddy Torres y Nivia Díaz.*

*A mis hermanas María Camila y Aura Cristina que nunca dudaron de mí y siempre estuvieron
apoyándome en todo lo que necesite.*

*A mi compañera de vida Denis Larrea y a lo mejor de mí, mi hija Emilia Torres Larrea quien es
la pieza fundamental de todo lo que soy.*

A mi familia y amigos que me acompañaron durante esta etapa que hoy culmina.

A mi tutor Ricardo Andrés García León por su paciencia y constante colaboración.

A todos aquellos que hicieron parte de esto y aportaron en cualquier momento algo, gracias.

*Y por último, pero no menos importante, gracias a las personas que hoy ya no están conmigo
pero que fueron clave para que todo esto se diera, gracias de todo corazón... Dios los bendiga a
todos!*

Índice

Introducción	xvi
Capítulo 1. Diagnóstico del cumplimiento de la calidad de los bloques H-10 fabricados por la ladrillera hora limitada en Ocaña Norte de Santander	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Formulación del problema	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 General.	2
1.3.2 Específicos.	2
1.4 Justificación.....	2
1.5 Delimitaciones.....	4
1.5.1 Geográfica.	4
1.5.2 Conceptual	4
1.5.3 Operativa.	4
1.5.4 Temporal	4
Capítulo 2. Marco Referencial	5
2.1 Marco Histórico	5
2.2 Marco Conceptual	9
2.2.1 Bloques H10.....	9
2.2.2 Arcilla.....	10
2.2.3 Estudio Técnico-Económico	10
2.2.3.1 Valor Presente Neto (VPN).....	10
2.2.3.2 Tasa Interna de Retorno (TIR).....	11
2.2.3.3 Periodo de Recuperación (Payback)	11
2.2.3.4 Índice de Rentabilidad	11
2.2.3.5 Relación Beneficio Costo (B/C).....	11
2.3 Marco Teórico.....	11
2.3.1 Generalidades de la arcilla.	11
2.3.2 Clasificación de las arcillas.....	13
2.3.2.1 Arcillas comunes.	14
2.3.2.2 Arcillas especiales.....	14
2.3.2.3 Caolines	15
2.4 Marco Legal	15
2.4.1 Norma Técnica Colombiana NTC 4017	15
2.4.1.1 Selección de los especímenes de ensayo	16
2.4.1.2 Identificación	16
2.4.1.3 Secado	16
2.4.1.4 Enfriamiento.....	16
2.4.2 Norma Técnica Colombiana NTC 4205	17
2.4.2.1 Definiciones	17
2.4.2.2 Clases de unidades.....	17
2.4.2.3 Designación	17
2.4.3 Norma Técnica Colombiana NTC 1522	18

2.4.3.1 Equipos.....	18
Capítulo 3. Diseño Metodológico	19
3.1 Tipo de investigación	19
3.2 Procedimiento para la toma de muestras.....	20
3.3 Fases del proyecto de investigación.....	21
3.3.1 Fase 1.	21
3.3.1.1 Actividad 1.	21
3.3.1.2 Actividad 2.	21
3.3.2 Fase 2.	21
3.3.2.1 Actividad 1	22
3.3.2.2 Actividad 2.	22
3.3.2.3 Actividad 3	22
3.3.3 Fase 3	22
3.3.3.1 Actividad 1	22
3.3.3.2 Actividad 2	22
3.3.3.3. Actividad 3	22
3.4 Recursos financieros	23
Capítulo 4. Análisis y Discusión	25
4.1. Estudiar el proceso de fabricación del bloque H-10 en cada una de las etapas a través de fuentes primarias para identificar las variables que serán objeto de investigación.....	25
4.1.1. Antecedentes históricos a nivel mundial.....	25
4.1.2. Antecedentes históricos a nivel nacional	28
4.1.3. Identificar las etapas y funcionamiento del proceso productivo de la arcilla utilizada para la fabricación de bloques H10.	30
4.1.3.1. Características de la industria cerámica.....	30
4.1.3.2. Ladrillera Hora Ltda	31
4.1.3.3. Descripción de las tapas del proceso.	33
4.2. Determinar las propiedades morfológicas, físicas y mecánicas de los bloques H-10 mediante ensayos de laboratorio, teniendo en cuenta las normas NTC 4017 y 4205.	38
4.2.1. Tasa de absorción inicial.....	39
4.2.2. Tasa de absorción Final.....	45
4.2.3. Granulometría por Tamizado	49
4.2.4. Granulometría por Hidrómetro.	67
4.2.5. Índice de Plasticidad.	86
4.2.6. Resistencia a la compresión	102
4.2.7. Resistencia mecánica a la flexión (Módulo de rotura).....	107
4.2.8. Caracterización química y mineralógica.....	111
4.3. Realizar un estudio financiero que muestre la factibilidad de la implementación de un proceso de producción óptimo en la fabricación de bloques en la Ladrillera Ocaña.	121
4.3.1. Comparar los resultados obtenidos	121
4.3.2. Evaluación de los resultados obtenidos	121
4.3.3. Estimar la factibilidad económica.....	122
Conclusiones	128

Recomendaciones	133
Referencias	134
Apéndices	140

Lista De Tablas

Tabla 1. Recursos financieros.	23
Tabla 2. Cronograma de actividades.	24
Tabla 3. Tasa de absorción inicial de los Bloque H-10, Ocaña.....	41
Tabla 4. Resumen estadístico para la absorción inicial Bloque H-10, Ocaña.....	42
Tabla 5. Tasa de Absorción Inicial de los Bloque H-10, Cúcuta.	43
Tabla 6. Resumen estadístico para la Absorción Inicial Bloque H-10, Cúcuta	44
Tabla 7. Tasa de Absorción Final de los Bloques H-10, Ocaña.....	46
Tabla 8. Resumen estadístico para absorción final Bloque H-10, Ocaña.	47
Tabla 9. Tasa de Absorción Final de los Bloques H-10, Cúcuta.....	48
Tabla 10. Masa de la muestra de acuerdo al TMN.....	50
Tabla 11. Datos de tamizado para la muestra 1.....	54
Tabla 12. Resultados Clasificación Granulométrica por tamizado para la muestra 1.....	55
Tabla 13. Porcentajes del contenido de la muestra 1.	56
Tabla 14. Datos de tamizado para la muestra 2.....	56
Tabla 15. Resultados Clasificación Granulométrica por tamizado para la muestra 2.....	57
Tabla 16. Porcentajes del contenido de la muestra 2.	58
Tabla 17. Datos de tamizado para la muestra 3.....	58
Tabla 18. Resultados Clasificación Granulométrica por tamizado para la muestra 3.....	59
Tabla 19. Porcentajes del contenido de la muestra 3.	60
Tabla 20. Datos de tamizado para la muestra 4.....	60
Tabla 21. Resultados Clasificación Granulométrica por tamizado para la muestra 4.....	61
Tabla 22. Porcentajes del contenido de la muestra 4.	62

Tabla 23. Datos de tamizado para la muestra 5.....	62
Tabla 24. Resultados Clasificación Granulométrica por tamizado para la muestra 5.....	63
Tabla 25. Porcentajes del contenido de la muestra 5.	64
Tabla 26. Datos de tamizado para la muestra 5.....	64
Tabla 27. Resultados Clasificación Granulométrica por tamizado para la muestra 6.....	65
Tabla 28. Porcentajes del contenido de la muestra 6.	66
Tabla 29. Corrección por temperatura Ct.	69
Tabla 30. Valores de a para diferentes Gs.....	70
Tabla 31. Valores de profundidad efectiva.	71
Tabla 32. Valores de K.....	72
Tabla 33. Análisis granulométrico método – hidrómetro para la muestra 1.	73
Tabla 34. Análisis granulométrico método – hidrómetro para la muestra 2.	75
Tabla 35. Análisis granulométrico método – hidrómetro para la muestra 3.	77
Tabla 36. Análisis granulométrico método – hidrómetro para la muestra 4.	79
Tabla 37. Análisis granulométrico método – hidrómetro para la muestra 5.	81
Tabla 37. Análisis granulométrico método – hidrómetro para la muestra 6.	83
Tabla 39. Datos Hidrometría por granulometría.	86
Tabla 40. Datos del límite líquido para la muestra 1.....	91
Tabla 41. Datos limite plástico para la muestra 1.	92
Tabla 42. Resultados para la muestra 1.....	92
Tabla 43. Datos del límite líquido para la muestra 2.....	92
Tabla 44. Datos limite plástico para la muestra 2.	93
Tabla 45. Resultados para la muestra 2.....	93
Tabla 45. Datos del límite líquido para la muestra 3.....	94

Tabla 47. Datos limite plástico para la muestra 3.	94
Tabla 48. Resultados para la muestra 3.	95
Tabla 49. Datos del límite líquido para la muestra 4.	95
Tabla 50. Datos limite plástico para la muestra 4.	96
Tabla 51. Resultados para la muestra 4.	96
Tabla 52. Datos del límite líquido para la muestra 5.	96
Tabla 53. Datos del límite plástico para la muestra 5.	97
Tabla 54. Resultados de la muestra 5.	97
Tabla 54. Datos del límite líquido para la muestra 6.	98
Tabla 56. Datos del límite plástico para la muestra 6.	98
Tabla 57. Resultados de la muestra 6.	99
Tabla 58. Resultados generales de las pruebas.	101
Tabla 58. Compresión Bloques H-10, Ocaña.	103
Tabla 59. Compresión Bloques H-10, Cúcuta.	105
Tabla 61. Datos morfológicos para ensayo resistencia a Flexión Bloques H-10 Cúcuta.	108
Tabla 62. Datos morfológicos para ensayo resistencia a Flexión Bloques H-10 Ocaña.	109
Tabla 63. Resultado del análisis de Fluorescencia de Rayos X (FRX).	112
Tabla 64. Equipos sugeridos para la optimización del proceso.	123
Tabla 65. Flujo de caja estimado de la empresa.	124

Lista De Figuras

Figura 1. Bloque H-10.....	9
Figura 2. Clasificación de los materiales arcillosos de aplicación cerámica.	14
Figura 3. Ubicación geográfica de la empresa.	31
Figura 4. Diagrama del proceso.	33
Figura 5. Diagrama entradas y salidas en la producción de bloques H-10.	34
Figura 6. Proceso de obtención de bloques.....	34
Figura 7. Análisis estadístico para absorción inicial Bloque H-10, Ocaña.....	41
Figura 8. Análisis estadístico para absorción inicial Bloque H-10, Cúcuta.....	43
Figura 9. Análisis estadístico para absorción final Bloque H-10 Ocaña Vs número de muestras.	47
Figura 10. Análisis estadístico para absorción final Bloque H-10 Cúcuta Vs número de muestras.	49
Figura 11. Cuarteo de la muestra de arcilla.....	50
Figura 12. Presecado.	51
Figura 13. Lavado en tamiz N° 200.	51
Figura 14. Secado del material retenido.....	52
Figura 15. Muestra seca en tamices.	52
Figura 16. Peso de material retenido en los tamices.	53
Figura 17. Curva granulométrica para la Muestra 1.	55
Figura 18. Curva granulométrica para la Muestra 2.	57
Figura 19. Curva granulométrica para la Muestra 3.	59
Figura 20. Curva granulométrica para la Muestra 4.	61

Figura 21. Curva granulométrica para la Muestra 5.	63
Figura 22. Curva granulométrica para la Muestra 6.	65
Figura 23. Resultados Clasificación Granulométrica por tamizado para todas las muestras.....	66
Figura 24. Selección del material para la muestra.	68
Figura 25. Curva granulométrica método – hidrómetro para la muestra 1.	74
Figura 26. Curva granulométrica método – hidrómetro para la muestra 2.	76
Figura 27. Curva granulométrica método – hidrómetro para la muestra 3.	78
Figura 28. Curva granulométrica método – hidrómetro para la muestra 4.	80
Figura 29. Curva granulométrica método – hidrómetro para la muestra 5.	82
Figura 30. Curva granulométrica método – hidrómetro para la muestra 6.	84
Figura 31. Curva granulométrica método – hidrómetro para todas las muestras.....	84
Figura 32. Clasificación del suelo a partir de las gráficas de tamizado e hidrometría.....	85
Figura 33. Pasta homogénea.	87
Figura 34. Muestra en cazuela de Casagrande.	87
Figura 35. Corte a la muestra con el ranurador.	88
Figura 36. Muestra tomada en el cierre de la ranura.	88
Figura 37. Muestra lista para llevar al horno.	89
Figura 38. Muestra aplastada.	90
Figura 39. Curva de fluidez para la muestra 1.	91
Figura 40. Curva de fluidez para la muestra 2.	93
Figura 41. Curva de fluidez para la muestra 3.	94
Figura 42. Curva de fluidez para la muestra 4.	95
Figura 43. Curva de fluidez para la muestra 5.	97
Figura 44. Curva de fluidez para la muestra 6.	98

Figura 45. Plasticidad en el diagrama de casa Grande para todas las muestras.....	99
Figura 46. Diagrama de predicción de la extrusión y/o moldeo a través de los Límites de Atterberg.....	100
Figura 47. Resistencia mecánica a la compresión vs número de muestras (Bloques H-10 Ocaña).	104
Figura 48. Grafica de Carga vs Tiempo.....	104
Figura 49. Resistencia mecánica a la compresión vs número de muestras (Bloques H-10 Cúcuta).	105
Figura 50. Grafica de Carga vs Tiempo.....	106
Figura 51. Representación de la carga aplicada a flexión.....	107
Figura 52. Grafica de Carga vs Tiempo.....	109
Figura 53. Grafica de Carga vs Tiempo.....	110
Figura 54. Resultado del análisis de Difracción de Rayos X (DRX).....	119
Figura 55. Sección de bloque terminado con partículas de arena mayores a 2 mm.	122
Figura 56. Flujo de caja.....	125
Figura 57. Flujo de la inversión para 3 años.....	126

Lista de Apéndices

Apéndice 1. Secado al horno de Bloques H-10.	141
Apéndice 2. Prueba de Absorción inicial	142
Apéndice 3. Prueba de Absorción final.	143
Apéndice 4. Prueba de Compresión.	144
Apéndice 5. Prueba de Flexión.	145
Apéndice 6. Muestras de LL e IP antes de entrar al horno.	146
Apéndice 7. Muestras de IP y LL en el horno.	147
Apéndice 8. Clasificación USCS de los suelos.	148
Apéndice 9. Clasificación según AASHTO para las muestras.	149

Introducción

Este proyecto tiene como finalidad conocer el proceso de producción de los Bloques H-10 de la empresa Ocañera Hora Limitada y una vez examinado todo lo relacionado con la manufactura aplicada por la ladrillera, se procedió a realizar un diagnóstico de calidad teniendo en cuenta lo diferentes pruebas de laboratorio de tipo destructivos y no destructivos realizados y sus respectivos resultados, teniendo en cuenta los estándares nacionales de calidad establecidos en las normas NTC 4017 y 4205.

Lo anterior responde a la necesidad de la empresa de mejorar los estándares de calidad de uno de sus productos insignias y de mayor demanda en la provincia de Ocaña.

Asimismo, se hicieron análisis de laboratorio al producto terminado y se compararon con bloques de las mismas especificaciones (H-10) de la ladrillera Santa Isabel de la ciudad de Cúcuta Norte de Santander, para esto fue necesario constatar que cada unidad dispuesta a ser estudiada, estuviera sin ningún daño o falla visible y hacer las tomas morfológicas a las muestras para luego proceder a realizar los tallajes y pesajes correspondientes, pues todos estos datos son necesarios para llevar a cabo los ensayos de laboratorio.

Teniendo en cuenta lo anterior, en el presente trabajo se tiene la siguiente estructura contextualizada en cada uno de los objetivos propuestos los cuales se definen de la siguiente forma:

El Capítulo 1, presenta el planteamiento del problema, su respectiva justificación y delimitaciones, siendo el principal objetivo de este trabajo el diagnóstico del cumplimiento de la calidad de los bloques H-10 fabricados por la Ladrillera Hora Limitada en Ocaña Norte de Santander, teniendo en cuenta como muestra adicional de comparación bloques H-10 de la ciudad de Cúcuta.

En el Capítulo 2 se definen los principios básicos como la historia del sector cerámico y la evolución de este durante el transcurso de las décadas, los tipos arcillas, como también definiciones técnicas y legales que abarcan la investigación.

En el Capítulo 3 se describe el diseño metodológico que se tuvo en cuenta para el desarrollo de cada una de las actividades propuestas en las fases para poder dar respuesta al objetivo general planteado.

Finalmente, el Capítulo 4 presenta el análisis de los resultados obtenidos de cada uno de las pruebas de laboratorio realizadas de tipos destructivas y no destructivas.

Capítulo 1. Diagnóstico del cumplimiento de la calidad de los bloques H-10 fabricados por la ladrillera hora limitada en Ocaña Norte de Santander

1.1 Planteamiento del problema

La ladrillera Hora Ltda. En Ocaña Norte de Santander se encuentra ubicada en la vereda la rinconada muy cerca de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, actualmente se dedica a la fabricación y comercialización de productos de mampostería de perforación horizontal, siendo su producto principal el bloque H-10. El proceso de producción del bloque se realiza en varias etapas las cuales no cuenta con un proceso de verificación o validación técnica de calidad sobre los materiales utilizados para la conformación del bloque ajustado a la certificación de las Normas Técnicas Colombianas para el producto final.

Lo anterior se debe al desconocimiento de la incidencia de la calidad y la demanda continua del producto por ser líderes en la fabricación de bloques en la región y sus alrededores, además la falta de verificación técnica de la calidad en términos de producción, la cual no ha sido percibida por parte de la administración de la empresa; sumado a esto, la premura de la adquisición del producto por los clientes para las construcciones sin tener en cuenta las consecuencias presentadas por la desatención en la calidad del producto.

1.2 Formulación del problema

¿Cuáles serán las variables que influyen en la calidad de los bloques H-10 teniendo en cuenta las normas NTC 4017 y 4205?

1.3 Objetivos

1.3.1 General. Diagnosticar el cumplimiento de la calidad de los bloques H-10 fabricados por la Ladrillera Hora Limitada En Ocaña Norte De Santander.

1.3.2 Específicos.

- Estudiar el proceso de fabricación del bloque H-10 en cada una de las etapas a través de fuentes primarias para identificar las variables que serán objeto de investigación.
- Determinar las propiedades morfológicas, físicas y mecánicas de los bloques H-10 mediante ensayos de laboratorio, teniendo en cuenta las normas NTC 4017 y 4205.
- Describir las posibles fallas en el proceso productivo a través de una evaluación que permita realizar una propuesta de mejoramiento para la calidad del bloque H-10.

1.4 Justificación

Con el desarrollo de este proyecto se pretende realizar un diagnóstico de la calidad de los bloques de referencia H-10 fabricados por la ladrillera Ocaña la cual se encuentra ubicada muy cerca de la universidad Francisco de Paula Santander y es pionera en la región en la tecnificación

del proceso productivo para la fabricación de tipo de producto de mampostería para la construcción a base de arcilla, por esta razón abarca gran parte del mercado teniendo como responsabilidad, suplir la demanda de dicho material para las necesidades en la mayoría de municipios, veredas y corregimientos de la provincia de Ocaña.

Es por lo anterior, que nuestra población objeto de estudio serán los bloques H-10 a los cuales se les realizarán diferentes pruebas de laboratorio como Absorción Inicial, Absorción Final, compresión, flexión y morfología, estas pruebas serán realizadas con equipos que están ubicados en las instalaciones de la UFPSO específicamente en el laboratorio de resistencia de materiales, lo anterior se hace con la finalidad de medir la calidad del producto terminado de la Ladrillera Hora Ltda. en Ocaña Norte de Santander y posteriormente realizar una comparación con bloques del mismo tipo traídos de la ciudad de Cúcuta Norte de Santander con la finalidad de verificar cuál de los dos productos tiene mejores propiedades y cumplen a cabalidad con las Normas Técnicas Colombianas NTC 4017 y 4205 que rigen los productos de mampostería para la construcción.

Asimismo, se espera brindar un plan de acción de acuerdo a los resultados obtenidos de los análisis y los datos de las normas con la finalidad de contribuir al mejoramiento y posicionamiento de la industria cerámica de la región.

1.5 Delimitaciones

1.5.1 Geográfica. El trabajo se realizará en las instalaciones de la ufpsa específicamente en el laboratorio de resistencia de materiales con la asesoría de director del proyecto.

1.5.2 Conceptual. La temática del proyecto se enmarcará en los siguientes conceptos: Materiales, procesos industriales, ensayos de laboratorio, arcilla, cerámicos, normas técnicas y demás relacionados con el proyecto.

1.5.3 Operativa. El proyecto se desarrollará con base en los parámetros del presente documento y con la asesoría del director y las personas que se necesiten como asesores en el transcurso de la investigación para poder realizar los objetivos del proyecto.

1.5.4 Temporal. El presente proyecto tendrá una duración aproximada de 8 a 10 semanas a partir de la fecha de aprobación del anteproyecto.

Capítulo 2. Marco Referencial

2.1 Marco Histórico

Desde el inicio de esta evolución los hombres han construido con los materiales que le rodeaban, con aquello que tenían al alcance de la mano. Las numerosas actividades, estudios y prácticas con el uso de la tierra como material de construcción se han empleado en todos los continentes desde tiempos inmemoriales.

El uso de la arcilla se difundió primero en Egipto y el lejano Oriente, pasando después a Europa a través de Roma y Grecia. Solo los edificios con fines claramente propagandistas, templos y palacios, sobre todo, eran levantados con materiales de mayor costo y con una dificultad de trabajo mucho mayor.

Los primeros núcleos de habitación en los que aparecen construcciones en material imperecedero se dan en Mesopotamia -Tell Mureybet y Ali Kosh- en el IX milenio A.N.E se detectan en Mureybet viviendas edificadas con bloques calcáreos unidos por morteros de arcilla. Simultáneamente en Ali Kosh aparecen los primeros Adobes – mezcla de arcilla, arenas limosas y agua- aunque de muy pequeño tamaño, hasta el periodo de Samarra (5500 A.N.E) se comienza a utilizar el adobe como material de construcción de edificios (Toirac, 2008).

El ladrillo cocido aparece 3000 años A.N.E –Palacio de Nippur en Mesopotamia- usándose como elemento decorativo y cubrimiento de muros realizándose en adobe. El ladrillo cocido

suponía una gran mejora con respecto al de adobe pues era más duro, además de resistir mejor al paso del tiempo y los agentes naturales -lluvias y viento-. En zonas como Egipto y Mesopotamia donde los vientos son cargados de arena y suele llover de manera torrencial, las edificaciones levantadas con adobe, que eran la gran mayoría han desaparecido casi en su totalidad, mientras que las elaboradas con ladrillo cocido se han conservado mejor.

En Egipto su utilización es posterior y parece haber sido introducido desde la vecina Mesopotamia. en este país la roca también era muy abundante, lo que provocó que varios materiales constructivos alternaban. En general la piedra se reservó para conjuntos arquitectónicos de gran entidad y elevados costos como templos.

Los primeros edificios construidos en adobe en Egipto son de la primera Dinastía 3050 años A.N.E -Mastabas de Saqara y Naqada y Tumbas de Abidos-.

La definitiva difusión del ladrillo cocido tuvo como lugar el imperio nuevo (1540-1070 años A.N.E) y sobre todo en la época Greco-Romana. Durante este periodo el adobe y el ladrillo cocido convivieron en la edificación, siendo muy habitual la utilización de ambos materiales en una misma construcción, el ladrillo cocido para los lugares expuestos al desgaste y la humedad y el adobe para el resto del conjunto.

El mundo Romano fue el encargado de difundir la construcción con ladrillo cocido permitiendo y dando paso a grandes edificaciones y vastos complejos monumentales del imperio, tarea que hubiera sido difícil de completar con cualquier otro material.

Obras defensivas y viviendas fueron los fines principales a que se destinó este material en los albores de su uso. Ejemplo de esto lo tenemos en los siglos VII y VI A.N.E. en Italia y algunas zonas de Gran Muralla China. Formas más elaboradas en base a grandes bloques de tierra secada al sol aparecen en el siglo IV en Grecia conservándose hasta hoy cientos de metros lineales de muro hecho de esta forma.

Pero si queremos retomar la evidencia más remota del uso de la tierra hay que ir a la zona del sureste de Irán donde se encuentran las ruinas de Tepe Yahya cuyos orígenes se sitúan en el año 3400 A.N.E y que hoy es un montículo de 18 m de altura 180 m de diámetro.

En América hacia el primer milenio A.N.E aparecen las primeras viviendas íntegramente de arcilla, aunque las más antiguas que hoy se conservan son de piedras asentadas con arcillas y con revestimiento de este material.

En este continente las construcciones con tierra tuvieron su máximo esplendor 200 años antes de la llegada de los españoles con ejemplos notables, como Cachan, Paramonga en Perú, que se aprecian aún hoy en día.

La llegada de los españoles produjo una fuerte influencia en las construcciones indígenas de América, así se transformaron las técnicas del adobe y el tapial, que los españoles conocían. Apareció la quincha en base a madera, barro y caña la cual fue impuesta por disposiciones legales, en las segundas plantas de Lima, después de los terremotos de los siglos XVII y XVIII. Este uso de suelo tiene su justificación y la primera de ellas está en su extraordinaria abundancia:

el 74% de la corteza terrestre es tierra: lo que determina su fácil y amplia disponibilidad y como consecuencia su bajo costo (Toirac, 2008).

Por otra parte, cualquiera de las técnicas de construcción que emplea la tierra, y entre ellas los bloques y tapiales (dos de las más desarrolladas), son sencillos y no requieren equipos refinados, lo que facilita la autoconstrucción y su empleo.

Estas técnicas además contribuyen al ahorro de otros materiales como los agregados y el cemento que puede destinarse a obras donde no hay lugar para la tierra. Si además la comparamos, en cuanto a consumo de energía con otros materiales de la construcción, resulta una gran economía con su empleo.

Pero la tierra no es sólo un material histórico; hoy es también un material de construcción para más de 1500 millones de personas que viven en construcciones de tierra desde los Estados Unidos hasta la Patagónica; desde el Sahara, hasta el Cono sur africano; en Asia y en el Oriente y hasta en la industrializada Europa.

El uso de la arcilla, la fabricación de ladrillos, bloques y otros productos a base de este material como pieza fundamental en la construcción es viejo pues data de unos 7000 años A.N.E precedentes de la Mesopotamia, se cree que esta práctica llegó a España procedente de Marruecos y posteriormente al continente Americano con la llegada de los Españoles, fue así como se popularizó la arquitectura.

La tierra sigue siendo un material de construcción. Según Naciones Unidas la oferta oficial en los países en vías de desarrollo será superior a las 500,000 viviendas/año (200,000 en Latinoamérica, 200,000 en África; 100,000 en Asia).

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Bloques H10. Los bloques H10 son los que vienen en presentaciones de seis huecos cuadrados y ocho huecos mixtos y tienen como función soportar cargas uniaxiales. Este tipo de bloques se debe poseer un bajo nivel de absorción de agua que evite dilataciones y fisuras, ya que generalmente se encuentra expuesto a humedad en el interior o exterior (Rozo, Sánchez, & Alvarez, 2014).

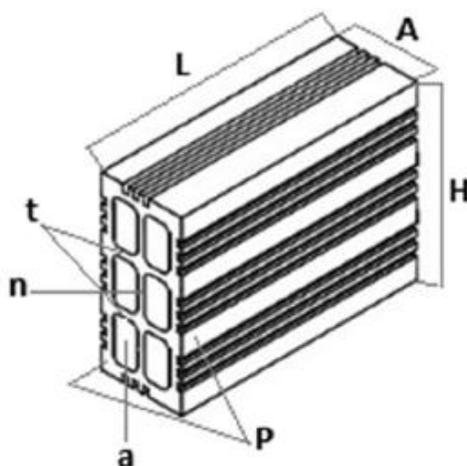


Figura 1. Bloque H-10

Fuente: (Cormela, 2016) (Rozo et al., 2014)

En la fabricación de este tipo de bloques se llevan a cabo tres fases. La primera fase corresponde a la modificación de la composición y plasticidad de la arcilla para obtener una mezcla homogénea, después se le da la forma deseada por extrusión. Luego que se tenga la pieza

moldeada, se realiza el secado de forma controlada, esto con el fin de evitar distorsiones o daños en el diseño. Finalmente, se lleva a cocción para minimizar la presencia de poros y así aumentar la densidad y la resistencia mecánica (Barranzuela, 2014) (Muñoz, Muñoz, Mancilla, & Rodríguez, 2007).

2.2.2 Arcilla. Las arcillas son materiales naturales muy repartidos en la superficie de la corteza terrestre y que, en ocasiones, pueden formar, al ser mezclados con agua, masas plásticas a partir de las cuales es factible fabricar productos cerámicos (Linares, Huertas, & Capel, 1983).

La mayoría de las arcillas se encuentran en sedimentos, aunque generalmente no se formen allí. Por tanto, se debe buscar su origen en los procesos externos de los suelos que provocan la alteración y reducción de una roca a sus componentes al entrar en contacto con la atmósfera, conocidos como procesos de meteorización (Linares et al., 1983).

2.2.3 Estudio Técnico-Económico. Una vez se apruebe la viabilidad de las propuestas que resulten de esta investigación, se deben identificar los aspectos técnicos y los costos asociados que implican la realización de las mismas con el fin de determinar su factibilidad técnica y económica.

2.2.3.1 Valor Presente Neto (VPN). Es el remanente neto que recibe el inversionista hoy, después de descontar los ingresos a una tasa de descuento y restarle la inversión inicial. La regla de decisión se basa en los siguientes criterios: si se obtiene un VPN mayor que cero se acepta la inversión, si por el contrario el cálculo del VPN es menor que cero se rechaza, y por último si este valor es igual a cero entonces la elección es indiferente (Valero, 2005).

2.2.3.2 Tasa Interna de Retorno (TIR). Es la tasa de interés que hace que el VPN sea igual a cero. Algunas ventajas de su uso es que es fácil de entender y comunicar. Sin embargo presenta desventajas tales como que no opera con flujos de efectivo no convencionales y que probablemente conduzca a decisiones incorrectas en las comparaciones de inversiones mutuamente excluyentes (Valero, 2005).

2.2.3.3 Periodo de Recuperación (Payback). Consiste en la determinación del tiempo necesario para que los flujos de caja netos positivos sean iguales al capital invertido. Este método permite al inversionista comparar los proyectos basado en el tiempo de recuperación (Valero, 2005).

2.2.3.4 Índice de Rentabilidad. Se basa en el estudio de la rentabilidad y comparación de la misma con respecto a la inversión necesaria. Para el cálculo de la rentabilidad de una inversión con base en la relación entre ingresos y egresos se tomarán en cuenta los flujos de caja netos de cada periodo y el capital invertido (Valero, 2005).

2.2.3.5 Relación Beneficio Costo (B/C). Es la relación entre los beneficios y los costos o egresos de un proyecto. Se define como la relación de los flujos de ingresos descontados entre los flujos de egresos o costos descontados del proyecto (Valero, 2005).

2.3 Marco Teórico

2.3.1 Generalidades de la arcilla. Las arcillas generalmente se usan en la fabricación de productos para la construcción, con un equivalente al 90% del total. El 10% restante tienen otros

usos como son cauchos, pinturas, arenas de moldeo, agricultura, papel, entre otros productos (García & Suárez, 2004). Las minas que contienen materiales arcillosos en su composición pueden ser clasificadas dependiendo de su mineralogía, composición química, origen geológico, propiedades físicas, utilización industrial, comportamiento geotécnico, entre otras clasificaciones, pero siendo la más común y la más conocida la clasificación mineralógica, entre las que podemos encontrar, según su estructura molecular, arcillas de tipo caolín, illita y montmorillonita (Díaz & Torrecillas, 2002).

En el área Norte santandereana hay una amplia gama de productos que se fabrican a base de arcilla. Colombia, en estos momentos, no es una gran potencia en fabricación industrial de productos basados en esta materia prima, sin importar que en los suelos exista una gran abundancia de arcillas óptimas. Para el caso de Norte de Santander, existe gran variedad de yacimientos naturales; pero a pesar de esto, es un departamento cuya exportación de materiales fabricados de arcilla no superan el 5,7% del total de las exportaciones a nivel regional, representando para la economía del departamento aproximadamente 13,7 millones de dólares a Julio de 2013; y teniendo en cuenta que estas cifras, en relación con materiales para la construcción, sólo se ve reflejada para el municipio de Cúcuta y su área metropolitana, pues es el único municipio que posee PYMES en lo referente a fabricación de materiales arcillosos (Martínez & Aguilar, 2012) (Montoya & Montoya, 2014).

En la optimización de los bloques y materiales cerámicos se utilizan tres componentes principales. El principal es la arcilla, ya que su plasticidad facilita la estructura del artículo final; el segundo es el feldespato o alúmina, que cumple la función de fundente; y el tercero es el sílice, que cumple la función de material de relleno y estabilizador (Monteiro & Vieira, 2004).

2.3.2 Clasificación de las arcillas. Desde el punto de vista petrográfico, las arcillas pueden clasificarse según su mineralografía (ricas en caolinita), su quimismo (alto contenido en alúmina), su origen geológico (de tipo sedimentario), sus propiedades físicas (plasticidad, etc.), su utilización industrial (sector refractario, construcción, etc.), entre otros parámetros. Tomando como base la mineralogía, que es una de las principales formas de clasificarlas, las arcillas están contenidas de minerales arcillosos y minerales no arcillosos, que son los que brindan la plasticidad y las propiedades de secado y cocción de los productos finales hechos a base de esta materia prima. Los minerales arcillosos corresponden a los filosilicatos, es decir, los silicatos de aluminio, hierro y magnesio hidratados con estructuras en capas incluyendo a las palygorskitas y las sepiolitas (Díaz & Torrecillas, 2002).

Las arcillas que están englobadas dentro del grupo de yacimientos minerales no metálicos, están divididas como lo indica la figura 2, desde el punto de vista cerámico-geológico. A través de esta clasificación se pretende ubicar todas las arcillas que hay en la naturaleza dentro de su respectivo grupo, y con base en eso, describir su composición y aplicaciones. Las dos ramas principales dentro de las rocas arcillosas son las arcillas comunes y la de los caolines. Las arcillas especiales quedan en un segundo plano ya que no son muy adecuadas para ser empleadas en grandes proporciones, esto debido a algunas de sus propiedades físicas (Díaz & Torrecillas, 2002).

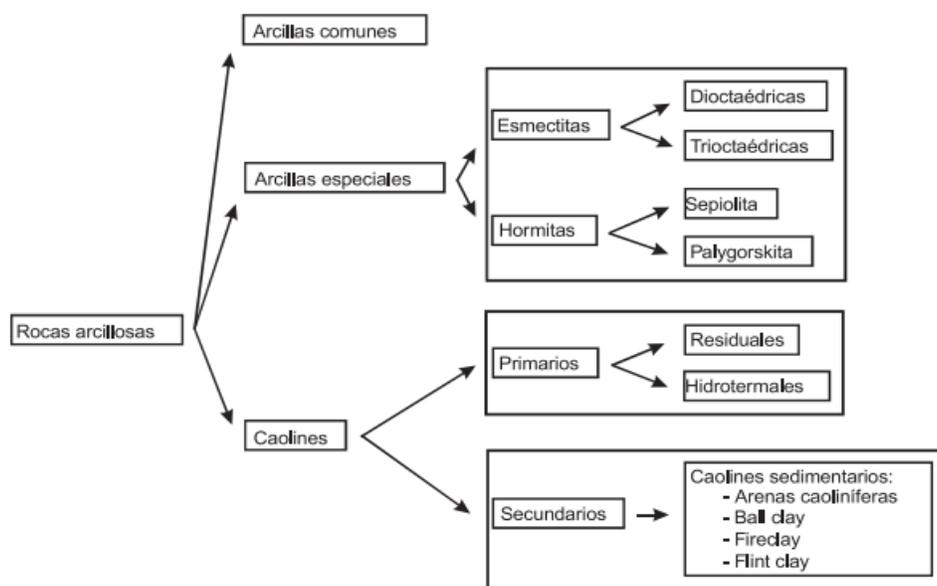


Figura 2. Clasificación de los materiales arcillosos de aplicación cerámica.

Fuente: (Díaz & Torrecillas, 2002)

2.3.2.1 Arcillas comunes. Toda materia prima arcillosa de distribución amplia. Se utiliza en el sector de la construcción y la alfarería gracias a sus propiedades físicas y sus especificaciones químico-mineralógicas no muy exigentes. Posee minerales arcillosos de grupo de las micas (illitas, moscovitas, etc.), y en menor medida caolín, cloritas, esmectitas y hormitas. Los principales usos a los que se destinan estas arcillas son para la industria de la construcción, como ladrillos huecos, tejas y azulejos (Díaz & Torrecillas, 2002).

2.3.2.2 Arcillas especiales. Este grupo de arcillas no tiene una representatividad amplia en el campo cerámico. Esta clasificación encierra a un conjunto de arcillas comerciales con una mineralogía y propiedades físicas concretas y determinadas. Están compuestas por esmectitas y hormitas, pero con un origen geológico relacionado (Díaz & Torrecillas, 2002).

2.3.2.3 Caolines. Son las arcillas cerámicas por excelencia por su variedad y por las amplias aplicaciones industriales que tiene. En la clasificación propuesta por el estudio de Díaz Rodríguez y Torrecillas (2002), se han separado dos subgrupos dentro de los caolines:

Los caolines primarios, que son generados a partir de la roca madre original rica en feldespatos y otros silicatos aluminicos. Los factores principales influyentes son el clima, la composición de las rocas primarias, las estructuras geológicas, el relieve del terreno, la hidrogeología del terreno y la edad geológica.

Los caolines secundarios, que constituyen el grupo más grande dentro de los caolines y se originan por la erosión y materiales aportados de distintos orígenes. Los yacimientos de este subgrupo de arcillas están en España, específicamente en la Cordillera Cantábrica y la Cordillera Ibérica.

2.4 Marco Legal

Para el posterior análisis de este trabajo se realizaron varias pruebas en el laboratorio de suelos de la UFPSO, que están direccionadas bajo lo establecido en las normas NTC 4205 “Unidades de mampostería de arcilla cocida, ladrillos y bloques cerámicos”, NTC 4017 “Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla” y NTC 1522 “Suelos. Ensayo para determinar la granulometría por tamizado”.

2.4.1 Norma Técnica Colombiana NTC 4017. Como lo expresa (ICONTEC, 2005), esta norma cubre los procedimientos de muestreo y ensayo de unidades de mampostería de arcilla,

bloques de arcilla y de otros productos tales como adoquines, tejas. Los ensayos incluyen módulo de rotura, resistencia a la compresión, absorción de agua, coeficiente de saturación, efecto de congelamiento y descongelamiento, eflorescencia, tasa inicial de absorción, determinación de la masa, tamaño, alabeo, uniformidad dimensional, área de las perforaciones, análisis térmico-diferencial y expansión por humedad, aunque no todos los ensayos son aplicables necesariamente a todos los tipos de unidades. Los valores se deben registrar de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades.

2.4.1.1 Selección de los especímenes de ensayo. Para el propósito de esta norma, los especímenes deben ser seleccionados de manera que sean representativos del lote entero de unidades del que se toman, de la variedad de colores, texturas y tamaños del envío. Deben estar limpios sin materiales extraños no asociados con su fabricación.

2.4.1.2 Identificación. Cada espécimen debe estar marcado de tal manera que se pueda identificar en cualquier momento. Estas marcas no deben cubrir más del 5 % de la superficie del espécimen.

2.4.1.3 Secado. Los especímenes se secan entre 110 °C y 115 °C, en un secadero durante 24 h, hasta que, en dos pesajes sucesivos a intervalos de 2 h, no se presente una pérdida de masa superior al 0,2 % del último peso del espécimen determinado previamente.

2.4.1.4 Enfriamiento. Después del secado, se enfrían los especímenes en una cámara que se mantiene a una temperatura de $24\text{ °C} \pm 8\text{ °C}$, con una humedad relativa entre el 30 % y 70 %. Se almacenan las unidades separadas entre sí, durante un período mínimo de 4 h, hasta que la

temperatura de la superficie esté a ± 5 °C de la temperatura de la cámara de enfriamiento. Para los ensayos que requieran unidades secas, no se deben utilizar especímenes notablemente calientes al tacto.

2.4.2 Norma Técnica Colombiana NTC 4205. Como lo expresa (ICONTEC, 2000), esta norma establece los requisitos que deben cumplir los ladrillos y bloques cerámicos utilizados como unidades de mampostería y fija los parámetros con que se determinan los distintos tipos de unidades. Los valores se deben regir de acuerdo con el sistema internacional de unidades.

2.4.2.1 Definiciones. Tipos de unidades: se distinguen tres tipos básicos de unidades de mampostería de arcilla cocida, según la disposición de sus perforaciones y del volumen que estas ocupen: perforación vertical (ladrillos y bloques) (PV); perforación horizontal (ladrillos y bloques) (PH) y macizos (M). La aplicación de cada tipo de unidad de mampostería dentro de la edificación debe estar acorde con los cálculos y requisitos que para ello establezca la norma NSR-98, con el fin de que se garantice la estabilidad de la estructura.

2.4.2.2 Clases de unidades. El uso o función principal de cualquier tipo de unidad de mampostería determina la clase a que corresponde y los requisitos físicos que debe cumplir. Para efectos de esta norma, se consideran las unidades estructurales (portantes) y las unidades no estructurales (divisorios o de cierre); y las unidades de mampostería de uso exterior, o de fachadas, y las unidades de uso interior.

2.4.2.3 Designación. Independientemente del nombre comercial que cada fabricante asigne a sus productos, para clasificarlos según esta norma, las unidades de mampostería de arcilla

cocida se deben designar así: las iniciales del tipo a que correspondan (PV, PH o M), separadas por un guion de la letra I o E, si es para inferior o exterior, respectivamente, y a continuación, la especificación de sí es para mampostería estructural o no estructural, acompañada de la referencia a esta norma.

2.4.3 Norma Técnica Colombiana NTC 1522. Esta norma establece el procedimiento que debe seguirse en las operaciones de tamizado de suelos, con el fin de determinar su composición granulométrica (Icontec, 1979).

2.4.3.1 Equipos. Las balanzas usadas deben tener una sensibilidad de 0,01 g para medir la masa del material que para el tamiz de 2,00 mm (No. 10), y otra con sensibilidad de 0,1 % de la masa de la muestra, para medir la masa del material retenido en el tamiz 2,00 mm (No.10).

Deben cumplir con los requisitos establecidos en la NTC 32. Una serie completa incluye los siguientes tamices:

Tamiz de 76,1 mm (3 pulgadas), Tamiz de 50,8 mm (2 pulgadas), Tamiz de 25,4 mm (1 pulgada), Tamiz de 19,0 mm (3/4 de pulgada), Tamiz de 12,7 mm (1/2 de pulgada), Tamiz de 9,51 mm (3/8 de pulgada), Tamiz de 4,76 mm (No.4), Tamiz de 2,38 mm (No.8), Tamiz de 2,00 mm (No.10), Tamiz de 1,19 mm (No.16), Tamiz de 595 μm (No.30), Tamiz de 297 μm (No.50), Tamiz de 149 μm (No.100), Tamiz de 74 μm (No. 200).

Capítulo 3. Diseño Metodológico

3.1 Tipo de investigación

En la realización de este trabajo se llevó a cabo una investigación de profundidad descriptiva, dado a que la finalidad es detallar las variables que intervienen en la preparación de la pasta de arcilla para la fabricación de productos de mampostería para la construcción, el cual consta de un diseño experimental para identificar los efectos que producen las variables estudiadas como lo son la composición de arcilla (Arenas – Limos – Arcillas). El tipo de propósito es básico dado a que hasta el momento no se implementan los resultados de la investigación por las empresas del sector en la región del norte de Santander.

Por otra parte, el enfoque del proyecto fue de tipo mixta (cualitativa – cuantitativa), teniendo en cuenta que desde lo cualitativo se llevaron a cabo estudios del estado de arte y la literatura concerniente al tema de investigación en libros, trabajos de grado, artículos científicos y demás datos de fuentes bibliográficas confiables.

A nivel cuantitativo como se trató de una investigación de tipo experimental; la recolección de las muestras de arcilla se realizó directamente en las minas de la Ladrillera mediante observación directa. Así mismo, de los resultados de los análisis que se obtuvieron de las muestras se determinaron las variables a estudiar para el planteamiento y puesta en marcha de los estudios experimentales. Además se realizaron ensayos de laboratorio con el fin de determinar las variables que fueron objeto de estudio, para identificar las que tienen mayor repercusión y de esta

forma diseñar la mezcla óptima en la fabricación de bloques H-10 (García-León, Acosta, & Flórez, 2015) (García-León & Flórez, 2016)(García-León, Bolívar, & Flórez, 2016)(García-León & Bolívar, 2017).

3.2 Procedimiento para la toma de muestras

Con la finalidad de tener una recolección de muestras confiable, se tuvo en cuenta el siguiente procedimiento para la toma de muestras tipo canal, seleccionando la veta de la mina de material cerámico:

- El sitio a muestrear debe estar perfectamente localizado, en lo posible se realizará el respectivo levantamiento topográfico.
- Describir, registrar y levantar una columna local del manto de material cerámico y las condiciones del entorno.
- La muestra se obtiene por la elaboración de un canal mediante un corte uniforme y continuo.
- Se debe lograr una superficie lo más regular posible, con la implementación de picos, palas y espátulas.
- Se debe limpiar bien la superficie a muestrear hasta una profundidad de 5 centímetros como mínimo. En el caso particular a juicio geológico cuando sea necesario toma la muestra en un frente de mina inactiva, la profundidad deberá ser mayor de 10 centímetros.
- Delimitar la zona con tiza o cintas, así como los materiales y toma de datos.

A continuación, se procederá a realizar una limpieza de la zona de la veta, teniendo en cuenta el formato de ubicación de la zona de muestreo.

3.3 Fases del proyecto de investigación

Fases para el desarrollo del estudio cumpliendo los objetivos específicos: Se formula cada una de las fases y sus respectivas actividades a fin de dar solución al problema de investigación, las cuales son:

3.3.1 Fase 1. Estudiar el proceso de fabricación del bloque H-10 en cada una de las etapas a través de fuentes primarias para identificar las variables que serán objeto de investigación.

3.3.1.1 Actividad 1. Indagar el estado de arte basado en fuentes bibliográficas confiables tales como Sciencedirect, Redalyc, Scopus, entre otras, en temáticas relacionadas con fabricación de bloques H10, caracterización de las arcillas y análisis químicas, así como también normas que regulen el proceso a estudiar.

3.3.1.2 Actividad 2. Identificar las etapas y funcionamiento del proceso productivo de la arcilla utilizada para la fabricación de bloques H10.

3.3.2 Fase 2. Determinar las propiedades morfológicas, físicas y mecánicas de los bloques H-10 mediante ensayos de laboratorio, teniendo en cuenta las normas NTC 4017 y 4205.

3.3.2.1 Actividad 1. Extraer una muestra de cada una de las cinco vetas o minas de arcilla de la Ladrillera Ocaña.

3.3.2.2 Actividad 2. Someter las muestras de arcilla a ensayos de granulometría por tamizado e hidrometría, de índice de plasticidad y análisis químicos.

3.3.2.3 Actividad 3. Tabular los datos obtenidos de los diferentes ensayos de laboratorio para compararlos con valores teóricos, y de esta forma identificar los procesos erróneos que causan pérdidas económicas que basadas en la producción de la empresa.

3.3.3 Fase 3. Describir las posibles fallas en el proceso productivo a través de una evaluación que permita realizar una propuesta de mejoramiento para la calidad del bloque H-10.

3.3.3.1 Actividad 1. Analizar el proceso productivo y los ensayos de laboratorio para determinar las fallas.

3.3.3.2 Actividad 2. Establecer los programas de mejoramiento que se deben seguir para brindar una producción de bloques H-10 de mayor calidad.

3.3.3.3. Actividad 3. Realizar un estudio financiero que muestre la factibilidad de la implementación de un proceso de producción óptimo en la fabricación de bloques en la Ladrillera Ocaña.

3.4 Recursos financieros

Los gastos en la elaboración del proyecto serán cubiertos por el autor del proyecto de investigación.

Tabla 1.

Recursos financieros.

INGRESOS	PROPIOS	UFPSO	TOTAL
JULIÁN TORRES	\$1.000.000		\$ 1.000.000
UFPSO		\$1.000.000	\$ 1.000.000
TOTAL, INGRESOS	\$1.000.000	\$1.000.000	\$ 2.000.000
EGRESOS			
Trasporte	\$ 100.000		\$ 100.000
Ensayos de laboratorio		\$850.000	\$850.000
Papelería y fotocopias	\$ 200.000		\$ 200.000
Internet	\$ 100.000		\$ 100.000
Gastos varios	\$ 300.000		\$ 300.000
TOTAL, EGRESOS	\$700.000	\$850.000	
SUMAS IGUALES	\$ 300.000	\$ 150.000	\$ 1.550.000

Fuente: Autor del proyecto

Para el cumplimiento de todas las actividades anteriores, se tuvo en cuenta el siguiente cronograma de actividades:

Tabla 2.
Cronograma de actividades.

ACTIVIDADES	MESES												
	1			2			3			4			
Fase 1. Estudiar el proceso de fabricación del bloque H-10 en cada una de las etapas a través de fuentes primarias para identificar las variables que serán objeto d investigación.													
Indagar el estado de arte basado en fuentes bibliográficas confiables tales como Sciencedirect, Redalyc, Scopus, entre otras, en temáticas relacionadas con fabricación de bloques H10, caracterización de las arcillas y análisis químicas, así como también normas que regulen el proceso a estudiar.													
Identificar las etapas y funcionamiento del proceso productivo de la arcilla utilizada para la fabricación de bloques H10.													
Fase 2. Determinar las propiedades morfológicas, físicas y mecánicas de los bloques H-10 mediante ensayos de laboratorio, teniendo en cuenta las normas NTC 4017 y 4205.													
Extraer una muestra de cada una de las cinco vetas o minas de arcilla de la Ladrillera Ocaña.													
Someter las muestras de arcilla a ensayos de granulometría por tamizado e hidrometría, de índice de plasticidad y análisis químicos.													
Tabular los datos obtenidos de los diferentes ensayos de laboratorio para compararlos con valores teóricos, y de esta forma identificar los procesos erróneos que causan pérdidas económicas que basadas en la producción de la empresa.													
Fase 3. Describir las posibles fallas en el proceso productivo a través de una evaluación que permita realizar una propuesta de mejoramiento para la calidad del bloque H-10.													
Analizar el proceso productivo y los ensayos de laboratorio para determinar las fallas.													
Establecer los programas de mejoramiento que se deben seguir para brindar una producción de bloques H-10 de mayor calidad.													
Realizar un estudio financiero que muestre la factibilidad de la implementación de un proceso de producción óptimo en la fabricación de bloques en la Ladrillera Ocaña.													

Fuente: Autor del proyecto

Capítulo 4. Análisis y Discusión

En el desarrollo de este capítulo, se evaluaron los principales factores que influyen directamente en la calidad del proceso de fabricación del bloque H-10 en la empresa, además se reportan y estudian los resultados de los análisis tecnológicos de las muestras de arcillas seleccionadas.

A continuación, se presentan los resultados de cada una de las actividades propuestas en el diseño metodológico para el desarrollo del proyecto de investigación.

4.1. Estudiar el proceso de fabricación del bloque H-10 en cada una de las etapas a través de fuentes primarias para identificar las variables que serán objeto de investigación

4.1.1. Antecedentes históricos a nivel mundial. La materia prima principal en la elaboración de productos cerámicos es la arcilla, sobre la que ha habido varios estudios para conocer más sus propiedades y características y elaborar mejores mezclas con el fin de mejorar la calidad del producto final (Afanador, Ibarra, & López, 2013). A través de estudios realizados a partir del 2002 se caracterizaron las arcillas en el departamento de Antioquia, Colombia, para identificar las zonas en las que se encuentra arcilla con mejor calidad para ser usadas como materia prima en la producción de ladrillos, tejas y tubos, además de otros usos (Duitama, Espitia, Mojica, Quintero, & Romero, 2004).

El sector cerámico en la zona de Norte de Santander es ampliamente utilizado, siendo reconocido no sólo a nivel nacional, sino también internacional. A pesar de esto, en las fábricas de cerámicos de la región hay un amplio desconocimiento de las características y el comportamiento de las materias primas utilizadas en la fabricación de productos derivados de la arcilla (Gelves & Sánchez, 2009).

Las arcillas constituyen la principal materia prima para la fabricación de cerámicos de construcción. Las cuales aparecen en todo tipo de formación rocosa, desde la más antigua a la más reciente, y en formaciones ígneas y sedimentarias de todo tipo (Barba et al., 1997); como consecuencia de ello, sus características físicas, químicas y mineralógicas varían ampliamente, incluso entre las capas de un mismo depósito arcilloso. Por tanto, en cualquier industria cerámica el control de la calidad de los productos empieza por la caracterización y control de la calidad de sus arcillas.

Una de las características más importantes a evaluar en las arcillas es la composición química y mineralógica, dado que ella influye directamente en las propiedades de los cerámicos obtenidos. Por ejemplo, arcillas con alto contenido de caolinita van a permitir obtener productos cerámicos con carácter refractario, coloración clara y buena resistencia mecánica, mientras que altos contenidos de illita y montmorillonita confieren alta plasticidad a las pastas cerámicas, lo que se traduce en un fácil conformado de las piezas, pero también en una gran contracción de las mismas durante el secado y la sinterización, lo cual puede llevar a la formación de grietas (Vieira, Sánchez, & Monteiro, 2008a); en tales casos se debe agregar material desgrasante (arena) para ajustar la plasticidad de la pasta.

Por tanto, la plasticidad es otro parámetro importante a controlar; entendiéndose ésta como la propiedad que tienen las arcillas de formar una masa plástica con el agua. Uno de los métodos más sencillos para determinar tal propiedad es el de los límites de Atterberg (ASTM, 2005), que comprenden el límite líquido (% de humedad que posee un suelo cuando se halla en el límite entre el estado líquido y estado plástico), límite plástico (el cual corresponde a la menor humedad a la cual un suelo se puede moldear) e índice de plasticidad, que es la diferencia de los dos límites anteriores e indica el intervalo de trabajabilidad de la arcilla.

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

La caracterización de las arcillas también debe comprender su análisis térmico, como termogravimetría (TG), análisis térmico diferencial (ATD) y calorimetría diferencial de barrido (DSC). La gran importancia de estos análisis radica en que gracias a ellos se pueden predecir diversos fenómenos térmicos que tienen lugar durante la cocción de las arcillas, tales como cristalización de fases, reacciones en estado sólido, deshidratación, fusión, oxidación, etc (Amado, Villafrades, & Tuta, 2011).

4.1.2. Antecedentes históricos a nivel nacional. A nivel nacional son varios los estudios realizados a mezclas óptimas para bloques, arcillas, pastas cerámicas, espectroscopia infrarroja (FTIR), composiciones químicas de la materia prima, fluorescencia de rayos X (FRX), difracción de rayos X (DRX), análisis térmicos (ATD/TG) ensayos destructivos y no destructivos al producto terminado (Bloques H-10) como microscopia electrónica de transmisión (MET) así como también algunos ensayos físico - químicos.

En el valle del Cauca tuvo lugar una investigación realizada por (Florez Arenas, 2015), la cual dio como resultado el hallazgo de la mezcla adecuada para elaborar el producto según las condiciones de la ladrillera.

(Amado et al., 2011) realizaron la caracterización química, mineralógica, granulométrica, y plástica a tres muestras que fueron designadas con los siguientes nombres: cascajo (C) roja (R) y amarilla (A). En el procedimiento fabricaron probetas cerámicas por prensado, las cuales se sinterizaron a 1050°C y posteriormente se caracterizaron física y mecánicamente con la finalidad de conocer sus propiedades para importantes para obtener productos derivados de la cerámica.

En Cúcuta norte de Santander se estudiaron varios especímenes de empresas donde se fabrican bloques para la construcción, (Gelves & Sánchez, 2009) realizando ensayos de laboratorio en los cuales los autores del proyecto determinaron que los diferentes ladrillos huecos son aptos para usar como productos de mampostería no estructural para uso en interiores y exteriores.

La investigación realizada por (Leonado Cely Illera & Bolívar León, 2015) analizan características principales de una arcilla utilizada para la fabricación de piezas de construcción de cerámica en el área metropolitana de San José de Cúcuta. Con análisis de XRD y XRF Se determinó su arcilla / relación de cuarzo, la plasticidad y el comportamiento en el proceso de secado y la cocción, todo esto por medio de un proceso de extrusión y gracias a los resultados de la investigación se mostró que el material es adecuado para la fabricación de productos estructurales y de revestimiento para suelos y paredes.

En Cúcuta existen varios trabajos más relacionados con el tema por cuanto en esta ocasión se pasarán por alto sin el ánimo de desmeritar ninguno, solo se omiten debido a que algunos trabajos son continuación de otros proyectos con algunas variantes en procedimientos o en las mezclas aplicadas a la materia prima.

En el municipio de Ocaña norte de Santander existen hasta el momento varios documentos y estudios sobre el tema, aunque existen varios autores trabajando en áreas similares las tesis apuntan a resultados que tienen que ver con el hallazgo de las mezclas optimas en cuanto a la pasta cerámica para la creación de diferentes diseños de mampostería que se producen en la región (incluido el que es objeto de estudio en esta investigación, Bloque H-10) (García-León & Flórez, 2016) y en el desarrollo de esta investigación tuvo como finalidad realizar un reconocimiento de las variables actuales que intervienen en el proceso de fabricación del bloque tales como: Procesamiento, proporciones, materiales y componentes. Al finalizar este estudio los investigadores esperan aumentar la rentabilidad de la empresa disminuyendo los desperdicios que actualmente superan el 8% ayudando a una mayor productividad y calidad en las piezas fabricadas, asimismo generando un menor costo en la producción.

(García-León et al., 2016) se basaron en la recolección de información y proceder a la elaboración de los ensayos en el laboratorio de resistencia de materiales y sísmica de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña siguiendo los lineamientos de la Norma Técnica Colombia NTC 4017 para realizar mediciones de absorción de agua, morfología, compresión y flexión. Los resultados fueron analizados y apoyándose en ellos se propuso una mejora en la etapa de extracción y tratamiento de las materias primas, con la finalidad de optimizar los recursos económicos de la empresa.

En 2014 (Montoya & Montoya, 2014) realizo una caracterización de los factores de riesgo en los procesos productivos de la producción de las empresas cerámicas para poder mitigar los efectos negativos que afecten la economía de este sector. En Norte de Santander se han adelantado estudios en los que se analizaron las propiedades físicas y químicas de las arcillas, logrando como resultado la identificación de la composición y el comportamiento de cada muestra de las materias primas tomadas (Sánchez, Orozco, & Peñaloza, 2014).

4.1.3. Identificar las etapas y funcionamiento del proceso productivo de la arcilla utilizada para la fabricación de bloques H10.

4.1.3.1. Características de la industria cerámica. La cadena de valor de materiales de construcción tiene tres grandes divisiones: la explotación minera, la transformación de la arcilla y la comercialización del producto final. El proceso de transformación de la arcilla o también conocido como producción de materiales cerámicos tradicionales está compuesto en general de las siguientes etapas: condicionamiento de la materia prima, mezclado, trituración, humectación, compactación, extrusión, corte, secado, cocción y almacenamiento. Una de las etapas más

importantes de este proceso es la cocción, que a su vez se divide en tres sub-etapas: precalentamiento, quema y enfriamiento.

De acuerdo a su capacidad de producción y desarrollo tecnológico las industrias ladrilleras se han clasificado en chircales, ladrilleras pequeñas, medianas y grandes (Riojas Castillo & Rodríguez Montaña, 2004), siendo la ladrillera Hora Ltda. como una mediana empresa de producción de bloques H-10.

4.1.3.2. Ladrillera Hora Ltda. La ladrillera Hora Ltda. más conocida como Ladrillera Ocaña, está ubicada en la zona rural en la vía a la Vereda la Rinconada de la ciudad de Ocaña en Norte de Santander con coordenadas ($8^{\circ}14'09.8''$ N, $73^{\circ}19'30.2''$ W) (ver Figura 3). La empresa está dedicada principalmente la producción de Bloques H-10x30 y H-10x40, produciendo en su mayoría bloques H10x30 de 6 huecos perforados debido a que son los de más de demanda en la región. El combustible utilizado en la fabricación de los productos además de la arcilla y sus derivados, es el carbón mineral.



Figura 3. Ubicación geográfica de la empresa.

Fuente: (Google Maps, 2016)

En el año 1999 se construyó el horno Hoffman de tiro inducido mediante un extractor de aire con capacidad de producir 25500 bloques H-10 diarios, aproximadamente 700,000 bloques mensuales. Dicho horno consta de un sistema con 24 recamaras, que poseen una capacidad de hasta 5 apiles (650 ladrillos por apile) por recamara con una separación de 60 centímetros entre apiles. Además, posee un secadero natural de 2586 m² y en el 2003 se construyó un secadero artificial para 6000 piezas diarias. La quema es realizada utilizando carbón mineral, donde cada ladrillo tiene un consumo promedio de 0,288 Kg de carbón (Payares Perez, 2014) (Jacome, 2015).

En el 2007 se cambió totalmente la línea de producción, se adquirieron equipos de mayor capacidad y de mejor tecnología con el objetivo de trabajar con altos estándares de calidad y eficiencia. Posteriormente se amplía el horno Hoffman 54 metros de longitud y en el 2009 se cambia las ramadas de zinc de los secaderos por plástico con la finalidad de que el proceso secado sea más rápido.

Entre el año 2010 y 2011, se adquirieron dos equipos de mayor capacidad en la línea de producción (un mezclador y molino laminador 800), los que brindan la posibilidad de mejorar la calidad del producto actual. Además, se amplía a 18 metros el horno Hoffman quedando de 72 metros y se construye un nuevo secadero artificial con tecnología a base de ventiladores y un sistema continuo de transporte para acomodar los bloques, con lo que se reducen los tiempos de acomodación y además se minimiza el impacto ambiental.

El 25 de noviembre de 2015, la empresa logró certificarse en los Sistemas Integrados de Gestión (ISO 9001, OHSAS 18001 e ISO 14001) en su proceso de fabricación de productos derivados de la arcilla y productos de mampostería.

En junio de 2016, se inició la construcción de un nuevo sistema de secado forzado, con la finalidad de aprovechar los gases generados por el horno y aumentar la producción en un 30%, la cual sigue en fase de construcción hasta la presentación de este documento.

4.1.3.3. Descripción de las tapas del proceso. A continuación se presenta una descripción detallada de los procesos realizados a la arcilla para la fabricación de los bloques en la empresa Hora Ltda. (Gerencia Hora Ltda, 2015) (García-León & Flórez, 2016).

En la siguiente figura 4, se describe cada una de las etapas del proceso productivo que se realiza en la empresa, siendo las más importantes aquellas resaltadas en color oscuro.

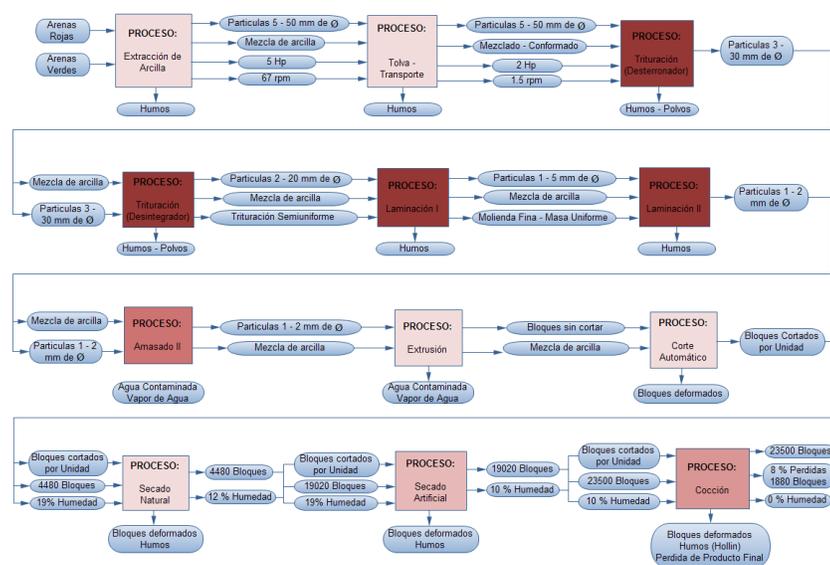


Figura 4. Diagrama del proceso.

Fuente: (García-León, 2017)

La siguiente figura 5 describe de forma general las entradas, salidas y los desechos necesarios para la fabricación de un bloque en la empresa Hora Ltda.

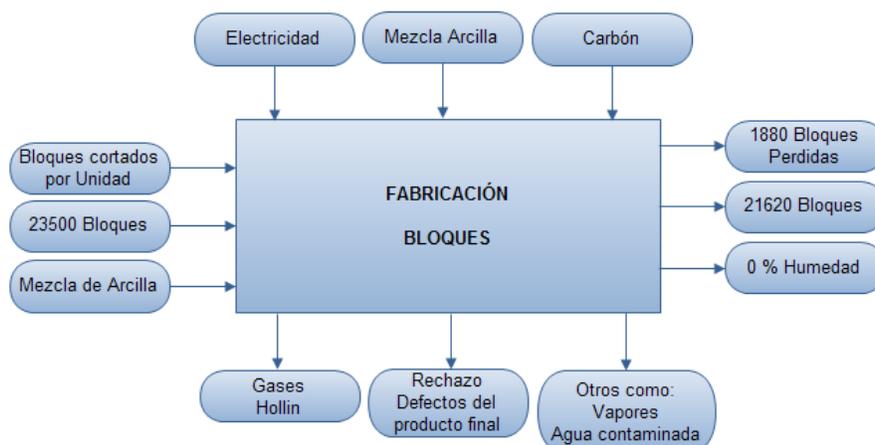


Figura 5. Diagrama entradas y salidas en la producción de bloques H-10.

Fuente: (García-León & Flórez, 2016)

A continuación en la figura 6, se presenta una descripción detallada de los procesos realizados a la arcilla para la fabricación de los bloques en la empresa Hora Ltda (Gerencia Hora Ltda, 2015) (García-León & Flórez, 2016):

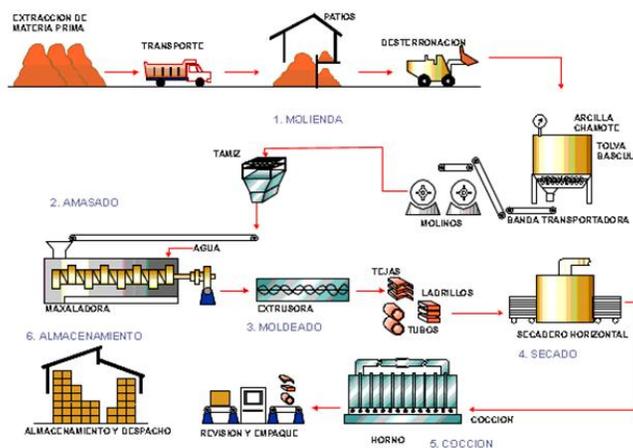


Figura 6. Proceso de obtención de bloques.

Fuente: (Ladrilleraaguacaliente, 2015)

Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación, se especifica el proceso productivo de la industria cerámica:

Extracción de la materia prima: Este es el primer paso del proceso donde se extrae y se transporta la materia prima necesaria para la elaboración de los bloques (La arcilla). Este material está compuesto por partículas muy pequeñas de silicatos hidratados de alúmina, además de otros minerales importantes para la conformación de la pasta cerámica. Este material es llevado en algunos casos en camiones desde la mina o incluso en bandas transportadoras, esto si el material se encuentra cerca al lugar de acopio.

Maduración: Antes de incorporar la arcilla al ciclo de producción, debe ser sometida a ciertos procesos donde se tritura para hacer que las muestras sean homogéneas luego se deja en reposo para luego entrar a estar en acopio, todo lo anterior se hace con el fin de obtener una consistencia adecuada y uniformidad de en las características físicas y químicas esperadas por los productores.

El reposo a la intemperie tiene como propósito facilitar el desmenuzamiento de los terrones y la disolución de los nódulos para impedir las aglomeraciones de las partículas arcillosas. La exposición a la acción atmosférica (aire, lluvia, sol, hielo, etc.) favorece además a la descomposición de la materia orgánica que pueda estar presente y permite también la purificación química y biológica del material. De esta manera se obtiene un material lo más inerte posible y poco dado a transformaciones mecánicas o químicas.

Preparación de la pasta cerámica: Después de la maduración que se produce en la zona de acopio sigue la fase de pre elaboración, la cual consiste en una serie de operaciones que tiene la finalidad de purificar y refinar la materia prima. Los elementos utilizados en esta pre-elaboración para el tratamiento puramente mecánico suelen ser:

Desintegrador: Se encarga de triturar los terrones de mayor tamaño, duros y compactos por la acción de una serie de cilindros dentados.

Laminador refinador: Esta formadora por dos cilindros rotatorios lisos montados en ejes paralelos, con separación entre sí, de 1 a 2 mm, espacio por el cual se hace pasar la arcilla sometiéndola a un aplastamiento y planchado que hacen aún más pequeñas las partículas. En la fase final se consigue la eventual trituración de los últimos nódulos que pudieran estar todavía, en el interior del material, el cual proporciona el tamaño adecuado de las partículas de arcilla para su unificación en la etapa de cocción.

Humidificación: Antes de llegar a la operación de moldeo, la materia prima llega un mezclador humedecedor donde se agrega agua para obtener la humedad precisa de aproximadamente el 16%.

Mezclado: Luego de la pre elaboración, sigue el depósito de material en las bandas transportadoras que están bajo techo, acá el material se homogeniza definitivamente tanto en apariencia como en características físico químicas.

Moldeado: El moldeado consiste en hacer pasar la mezcla de arcilla por una boquilla al final de la estructura con la forma del producto que se desea obtener. El moldeado, normalmente se hace caliente utilizando calor saturado aproximadamente a 130°C y a presión reducida. Procediendo de esta manera, se obtiene una humedad más uniforme y una masa más compacta puesto que el vapor tiene un mayor poder de penetración que el agua.

Secado natural y forzado: El secado es una de las fases más delicadas de todo el proceso de producción, de la cual depende en gran parte, el buen resultado y calidad del material, más que nada en lo que respecta a la ausencia de fisuras. El secado tiene la finalidad de eliminar el agua agregada en la fase de moldeado para que de esta manera se pueda pasar a la fase de cocción.

Cocción: Este proceso se realiza en hornos de Hoffman, donde la temperatura de cocción oscila de 900° C y 1200° C. En el interior del horno, varía de forma continua y uniforme en las recamaras de cocción. Es durante la cocción donde se produce la sinterización, de manera que esta etapa resulta ser una de las instancias cruciales del proceso en lo que a la resistencia del ladrillo respecta.

Distribución: Antes del embalaje, se procede a la formación de paquetes sobre pallets, que permitirán luego moverlos de manera mucho más fácil con carretilla de horquillas, donde posteriormente son entregados conforme las solicitudes de los clientes.

4.2. Determinar las propiedades morfológicas, físicas y mecánicas de los bloques H-10 mediante ensayos de laboratorio, teniendo en cuenta las normas NTC 4017 y 4205.

La caracterización tecnológica de materias primas es de vital importancia para predecir su comportamiento en el proceso productivo y de esta forma poder obtener productos de calidad requeridos por los clientes y las normas vigentes.

La caracterización física, química y térmica de las arcillas usadas por la empresa Ladrillera Hora Ltda. se llevó a cabo en los laboratorios de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña y en los laboratorios GMAS, Bogotá.

A continuación, se detalla la aplicación de las diferentes técnicas para realizar las caracterizaciones de las muestras recolectadas en las diferentes secciones del proceso. Teniendo en cuenta los criterios de selección de las minas con la finalidad de analizar los controles básicos y complementarios por medio de ensayos de laboratorios destructivos y no destructivos.

La realización de las pruebas de laboratorio a las muestras de suelo de la Ladrillera Ocaña se basó en normas locales, nacionales e internacionales, siguiendo las pautas de las guías del laboratorio de suelos de la UFPSO para los ensayos de granulometría por tamizado e hidrómetro y plasticidad. Las normas que rigen los ensayos son: Norma Técnica Colombiana NTC 1522, Norma INV E-123-07, Norma INV E-124-07, AASHTO T87-70 y AASHTO T88-70, ASTM D 421-58 y ASTM D 422-63. Todas estas para los ensayos de granulometría por tamizado e hidrómetro. Para el ensayo de plasticidad se tuvieron en cuenta las siguientes normas: NTC 4630, INV E-125-07 y INV E-126-07.

4.2.1. Tasa de absorción inicial. Es la capacidad de absorción capilar que tiene las unidades secas medidas durante 1 minuto y se expresa en **g/cm²/min**. La absorción de agua tiene relación directa con la porosidad de los elementos que son materia de análisis en su momento, también con la disposición de las propiedades mecánicas a la hora de realizarle ensayos y en la compactación de cerámicos.

Cuando los valores de absorción de agua son bajos estos sugieren una capacidad mínima de recolección de humedad del ambiente por parte del material, lo que termina siendo provechoso para el trabajo que se requiera.

Este análisis de laboratorio se lleva a cabo teniendo en cuenta todo lo especificado en la NTC 4017, esta norma recomendando los requisitos mínimos de pre humedecimiento de todas las unidades que serán objeto de estudio.

Para los cálculos de la tasa inicial de absorción de agua se utiliza la siguiente fórmula:

$$T. I. A = \frac{G}{\frac{A}{\text{min}}}$$

Donde:

T. I. A= Tasa inicial de absorción.

G= Diferencia en gramos entre los pesajes inicial y final por cada minuto (g/min).

A= Área de contacto con el agua (cm²).

Teniendo en cuenta la información anterior, a continuación, se analizó la morfología de los bloques H-10, además de algunos resultados de la prueba de laboratorio teniendo como referencia la norma NTC 4017.

Para el ensayo se tomaron cinco (5) bloques y en donde posteriormente se realizó el secado en horno de 24 horas a una temperatura de 110°C (Ver Anexo 1), una vez son enfriadas las muestras durante seis (6) horas a temperatura ambiente se toma la lectura del peso y se registra, seguido esto se coloca uno de los bloques sobre unos soportes que están dentro de una bandeja contenedora que están llenas de agua a no más de 5 milímetros de profundidad para garantizar que la superficie inferior del bloque se moje y absorba agua durante 1 minuto, al transcurrir el tiempo mencionado el bloque es retirado de la bandeja y con un paño se seca el exceso de agua, se lleva la muestra a una báscula para volver a hacer el pesaje dentro de los siguientes 120 segundos (Ver Apéndice 2).

En la siguiente Tabla 3 se presentan los resultados de absorción inicial para los bloques seleccionados en la empresa de Ocaña:

Tabla 3.

Tasa de absorción inicial de los Bloque H-10, Ocaña.

N	MASA SECA	MASA SECADA EN EL HORNO	MASA HUMEDA	% ABSORCION DE AGUA	ANCHO (mm)	ALTO (mm)	LARGO (mm)	TABIQUE (mm)		ESPESOR DE LOS LADOS (mm)			
								VERTICAL	HORIZONTAL	1	2	3	4
1	4864	4862	4935	0,024	97,00	191,28	304,42	8,45	9,15	13,15	14,25	13,81	13,69
2	4861	4869	4931	0,021	97,71	190,13	302,00	9,86	8,90	13,12	13,95	14,36	13,73
3	4932	4927	4991	0,021	98,13	193,51	301,27	8,97	8,71	13,97	14,03	13,99	12,97
4	4893	4890	4974	0,028	96,75	192,05	303,80	9,07	9,16	13,00	13,70	14,07	13,05
5	4936	4937	4993	0,018	97,40	193,07	305,06	9,05	8,91	13,77	14,00	13,79	14,11

Fuente: Autor del proyecto

El resultado que arroja el análisis estadístico de la Tabla 3 en el software STATGRAPHICS Centurión se muestra en la siguiente

Figura:

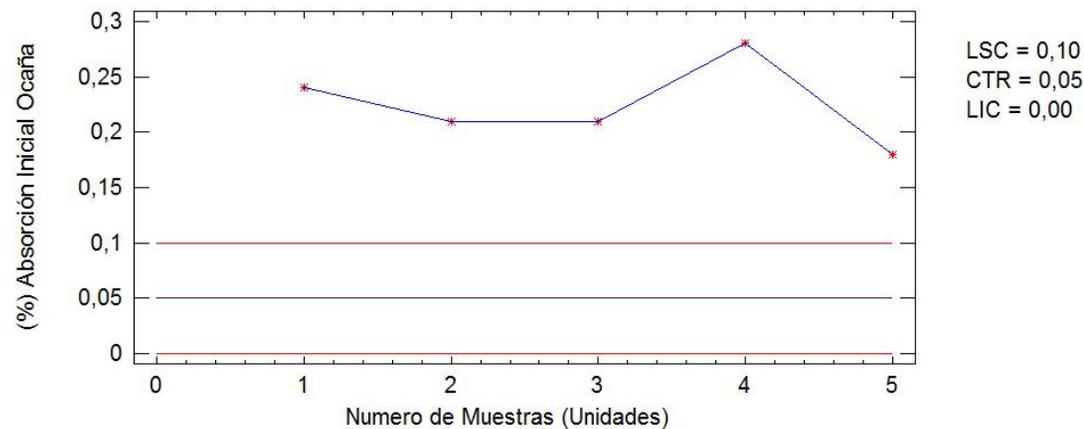


Figura 7. Análisis estadístico para absorción inicial Bloque H-10, Ocaña.

Fuente. Autor del proyecto

La anterior figura 7, muestra que los gráficos de control se construyen bajo el supuesto de que los datos provienen de una distribución normal con una media igual a 0,224 y una desviación estándar igual a 0,0443262.

De los 5 puntos mostrados en la figura 7, cinco (5) se encuentran fuera de los límites de control, se debe tener en cuenta que el límite superior esta denotado en la imagen con las letras LSC (Limite Superior Central), si los datos provienen de la distribución supuesta, se puede declarar que el proceso está fuera de control con un nivel de confianza del 95%, es decir, que no cumple con las especificaciones de la norma NTC 4205.

Tabla 4.

Resumen estadístico para la absorción inicial Bloque H-10, Ocaña.

VARIABLE	VALOR
Recuento	1-5
Media (Promedio)	0,224
Desviación estándar	0,0443262
Mínimo	0,018
Máximo	0,024
Sigma del proceso	0,0165012
Rango móvil promedio	0,0186134

Fuente: Autor del proyecto

En la siguiente Tabla 5 se presentan los resultados de absorción inicial para los bloques seleccionados en la empresa de Cúcuta:

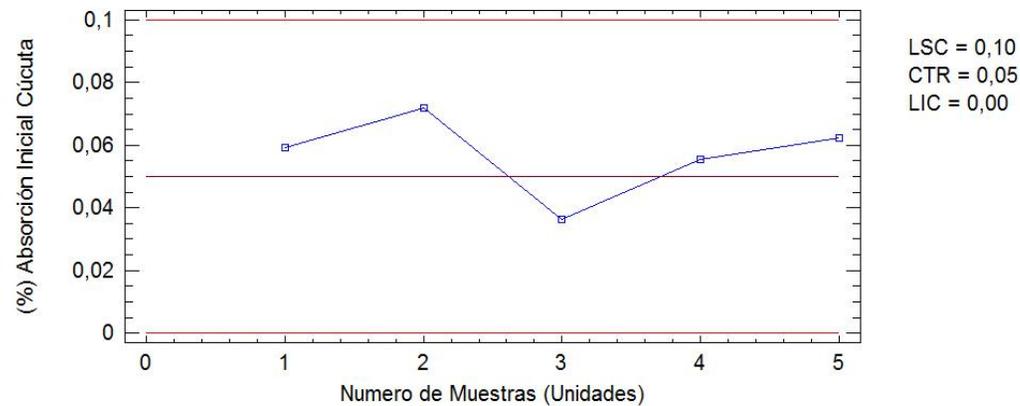
Tabla 5.*Tasa de Absorción Inicial de los Bloque H-10, Cúcuta.*

N	MASA		MASA HUMEDA	% ABSORCION DE AGUA	ANCHO (mm)	ALTO (mm)	LARGO (mm)	TABIQUE (mm)		ESPESOR DE LOS LADOS (mm)			
	MASA SECA	SECADA EN EL HORNO						VERTICAL	HORIZONTAL	1	2	3	4
1	4467	4462	4480	0,0591726	100,71	202,20	302,05	7,65	8,27	9,71	9,73	9,62	10,03
2	4597	4522	4544	0,0719625	100,66	198,75	303,71	7,76	7,99	9,82	10,01	10,19	9,75
3	4641	4565	4576	0,0363476	100,73	200,06	300,44	7,70	9,05	10,50	9,56	10,23	9,33
4	4479	4473	4490	0,0555941	100,88	201,71	303,12	8,13	9,21	10,59	10,09	10,03	10,05
5	4537	4524	4543	0,0623962	100,52	201,20	302,93	9,20	8,79	9,97	10,13	10,17	9,83

Fuente: Autor del proyecto

El resultado que arroja el análisis estadístico de la Tabla 5 en el software STATGRAPHICS Centurión se muestra en la siguiente

Figura:

**Figura 8.** Análisis estadístico para absorción inicial Bloque H-10, Cúcuta**Fuente:** Autor del proyecto

La anterior figura 8, muestra que los gráficos de control se construyen bajo el supuesto de que los datos provienen de una distribución normal con una media igual a 0,0570946 y una desviación estándar igual a 0,0165012. De los 5 puntos mostrados en la figura 8, ninguno se encuentra fuera de los límites de control en el gráfico, la probabilidad de que aparezcan a cero, ó más puntos fuera de límites, sólo por azar, es 1,0 si los datos provienen de la distribución supuesta, no se puede rechazar la hipótesis de que el proceso se encuentra en estado de control estadístico con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 6.
Resumen estadístico para la Absorción Inicial Bloque H-10, Cúcuta

VARIABLE	VALOR
Recuento	1-5
Media (Promedio)	0,0570946
Desviación estándar	0,0165012
Mínimo	0,0363476
Máximo	0,0719625
Sigma del proceso	0,0165012
Rango móvil promedio	0,0186134

Fuente: Autor del proyecto

Del análisis estadístico anterior, se puede concluir que la baja porosidad tiene relación con el grado de compactación de la mezcla arcillosa durante la fabricación. Los valores máximos de absorción de agua según la norma NTC 4205 deben ser menores del 0,10% para su uso interior o exterior. Estos valores son de igual magnitud para mampostería estructural y no estructural. En las Tablas 3 y 5, se observa que el valor de la humedad no está dentro del rango establecido por la norma, razón por la cual este tipo de producto no cumple con uno de los requisitos establecidos por la norma.

4.2.2. Tasa de absorción Final. Con este análisis de laboratorio, se busca determinar el aumento de masa en las unidades sometidas a la inmersión en agua durante un periodo de 24 horas (Ver Apéndice 3).

Para realizar este proceso al igual que en el ensayo de la tasa de inicial de absorción se debe hacer un secado al horno durante un día, se deja secar un lapso de 6 horas y luego son sumergidas las muestras en agua a temperatura ambiente sin haber hecho un pre humedecimiento previo como se hacía en el anterior ensayo. Posteriormente, al terminar las 24 horas de inmersión se retiran los bloques del agua, se elimina el exceso de líquido con un paño y se pesan (es importante que el pesaje de cada espécimen se realice en un lapso de 300 segundos una vez retirados del agua).

Según la norma NTC 4205 los valores máximos de Absorción final son de un 13% para el uso interior y de un 13,5% para usos exteriores, estos son valores de igual magnitud para el uso estructural y no estructural.

Todo lo anterior se hace para calcular el aumento de masa que gana el bloque debido a la porosidad que posee, más no el agua que se aloja en la superficie según sea su geometría.

Para la realización de estos cálculos se utiliza la siguiente expresión la cual está definida en la norma NTC 4205:

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{W_{ss} - W_s}{W_s} * 100$$

Donde:

w_s = Masa seca antes de la inmersión. (gramos)

w_{ss} = Masa húmeda después de la inmersión. (gramos)

Una vez teniendo claro el procedimiento, se inicia la toma de datos correspondiente con la morfología de las muestras que serán ensayadas, como se muestra en las siguientes Tablas 7 y 8. En la siguiente Tabla 7 se presentan los resultados de absorción inicial para los bloques seleccionados en la empresa de Ocaña:

Tabla 7.
Tasa de Absorción Final de los Bloques H-10, Ocaña.

N	MASA	MASA	% ABSORCION DE AGUA	ANCHO (mm)	ALTO (mm)	LARGO (mm)	TABIQUE (mm)		ESPESOR DE LOS LADOS (mm)				
	SECA	SECADA EN EL HORNO					MASA HUMEDA	VERTICAL	HORIZONTAL	1	2	3	4
1	4862	4861	5508	13,3100	97,39	192,82	304,41	9,78	9,36	13,64	13,30	14,50	14,48
2	4935	4934	5586	13,2144	97,67	192,28	302,03	8,06	8,47	13,00	15,05	14,36	13,95
3	4881	4880	5525	13,2172	98,03	194,03	304,16	9,86	8,39	14,98	13,63	14,18	13,26
4	4935	4934	5578	13,0522	96,72	193,55	303,62	10,13	8,14	12,89	14,10	13,56	13,36
5	4956	4954	5605	13,1408	96,01	194,54	307,02	9,05	8,56	13,77	14,00	13,22	14,66

Fuente: Autor del proyecto

El resultado que arroja el análisis estadístico de la Tabla 7 en el software STATGRAPHICS Centurión se muestra en la siguiente

Figura:

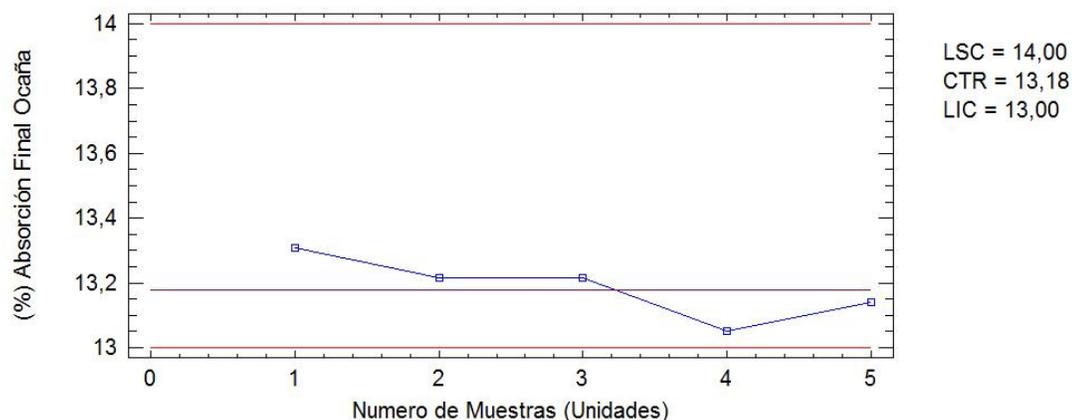


Figura 9. Análisis estadístico para absorción final Bloque H-10 Ocaña Vs número de muestras.
Fuente. Autor del proyecto

La anterior Figura 9, muestra que los gráficos de control se construyen bajo el supuesto de que los datos provienen de una distribución normal con una media igual a 13,1869 y una desviación estándar igual a 0,0780142.

De los 5 puntos mostrados en la Tabla 8, ninguno se encuentra fuera de los límites de control en el gráfico, se puede declarar que en gran medida cumple con la norma NTC 4205 y que el proceso está fuera de control con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 8.
 Resumen estadístico para absorción final Bloque H-10, Ocaña.

VARIABLE	VALOR
Recuento	1-5
Media (Promedio)	13,1869
Desviación estándar	0,0780142
Mínimo	13,0522
Máximo	13,3100
Sigma del proceso	0,0780142
Rango móvil promedio	0,088

Fuente: Autor del proyecto

En la siguiente Tabla 9, se presentan los resultados de absorción inicial para los bloques seleccionados en la empresa de Cúcuta:

Tabla 9.

Tasa de Absorción Final de los Bloques H-10, Cúcuta.

N	MASA SECA	MASA SECADA	MASA HUMEDA	% ABSORCION DE AGUA	ANCHO (mm)	ALTO (mm)	LARGO (mm)	TABIQUE (mm)		ESPESOR DE LOS LADOS (mm)			
		EN EL HORNO						VERTICAL	HORIZONTAL	1	2	3	4
1	4683	4511	4968	10,13	100,70	202,20	303,50	7,76	8,27	9,70	9,82	9,61	10,05
2	4525	4510	4942	9,57	100,59	199,36	302,18	7,76	7,94	9,89	10,76	10,19	9,64
3	4580	4477	4931	10,14	100,70	201,43	301,41	7,70	9,07	10,99	9,57	10,27	9,35
4	4531	4517	4964	9,89	101,86	201,09	303,12	8,30	9,22	10,75	10,14	10,09	10,12
5	4679	4522	4977	10,06	100,58	201,15	302,93	9,36	8,53	9,76	10,10	10,14	9,74

Fuente: Autor del proyecto

De la Tabla 9, podemos hacer el análisis de que el porcentaje de absorción de agua en los bloques H-10 de la ladrillera de Cúcuta Norte de Santander es menor al de la ladrillera de Ocaña y aunque los dos están en el rango que exige la norma, la absorción es mucho menor en los bloques producidos por la empresa Cucuteña debido a la calidad de las arcillas de la región, además de la tecnología utilizada en el proceso productivo para el tratamiento de la materia prima.

El resultado que arroja el análisis estadístico de la Tabla 9 en el software STATGRAPHICS Centurión se muestra en la siguiente

Figura:

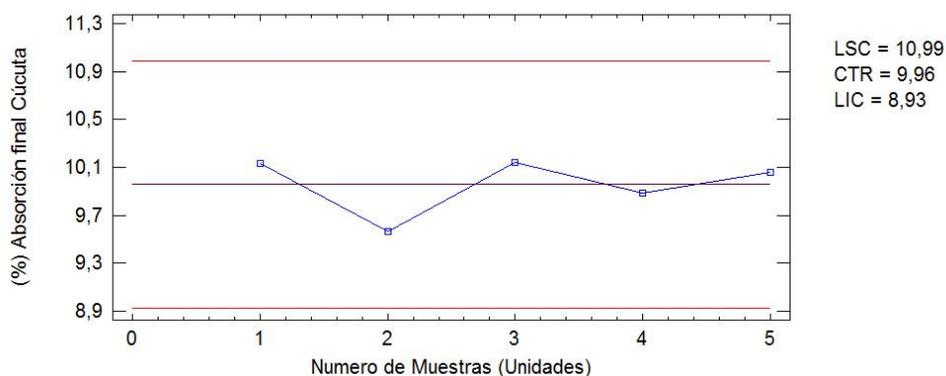


Figura 10. Análisis estadístico para absorción final Bloque H-10 Cúcuta Vs número de muestras.
Fuente: Elaboración propia.

La anterior figura 10, muestra que los gráficos de control se construyen bajo el supuesto de que los datos provienen de una distribución normal con una media igual a 9,958 y una desviación estándar igual a 0,343528. Estos parámetros fueron estimados a partir de los datos obtenidos de la morfología y medición de los bloques. De los 5 puntos mostrados en la Figura 10, ninguno se encuentra fuera de los límites de control en el gráfico, así que la probabilidad de que aparezcan cero, ó más puntos fuera de límites, sólo por azar, es 1,0 si los datos provienen de la distribución supuesta, no se puede rechazar la hipótesis de que el proceso se encuentra en estado de control estadístico con un nivel de confianza del 95%.

4.2.3. Granulometría por Tamizado. Este análisis es fundamental para definir la distribución del tamaño de las partículas, la gradación del suelo y para predecir inconvenientes que podrían presentarse en el futuro (García-León & Bolívar, 2017). El procedimiento es el mismo para las 6 muestras y se describe a continuación:

Cuartear la tierra y escoger la sección que contenga la partícula de mayor tamaño y determinar su Tamaño Máximo Nominal (TMN), que equivale al último tamiz por el que pasó (Ver Figura 11).



Figura 11. Cuarteo de la muestra de arcilla.

Fuente: Autor del proyecto

De acuerdo al TMN, comparar con la siguiente tabla para determinar la cantidad de muestra recomendada para el ensayo (Ver Tabla 10).

Tabla 10.

Masa de la muestra de acuerdo al TMN.

TAMAÑO NOMINAL MAXIMO (pulgadas)	MASA MINIMA APROXIMADA (gramos, g)
9,51 mm (3/8 de pulgada)	500
12,7 mm (1/2 de pulgada)	750
19,0 mm (3/4 de pulgada)	1000
25,4 mm (1 de pulgada)	2000
38,0 mm (1 1/2 de pulgada)	3000
50,8 mm (2 de pulgadas)	4000
76,1 mm (3 de pulgadas)	5000

Fuente: (INVIAS, 2007)

Se hace un presecado de la muestra para quitar el contenido de humedad presente (Ver Figura 12).



Figura 12. Presecado.
Fuente: Autor del proyecto

Depositar y lavar la muestra en el tamiz de lavado N° 200, de modo que el material fino se vaya con el agua (Ver Figura 13).



Figura 13. Lavado en tamiz N° 200.
Fuente: Autor del proyecto

El material retenido en el tamiz N° 200 se coloca en una tara y se lleva a secar en una estufa u horno, como se muestra en la Figura 14, hasta que alcance un peso constante y registrar este valor.



Figura 14. Secado del material retenido.
Fuente: Autor del proyecto

Hacer pasar la muestra seca por la serie de tamices como se indica en la Figura 15 y agitar durante el tiempo necesario para que cada partícula llegue al tamiz correspondiente.



Figura 15. Muestra seca en tamices.
Fuente: Autor del proyecto

Pesar en la balanza el material retenido de cada tamiz y posteriormente realizar los cálculos necesarios (Ver Figura 16).



Figura 16. Peso de material retenido en los tamices.
Fuente: Elaboración propia.

Los coeficientes de uniformidad y de curvatura se calculan con las siguientes expresiones.

Estos datos son necesarios para determinar la buena o mala gradación de las partículas del suelo.

Coefficiente de uniformidad (C_U):

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Coefficiente de curvatura (C_C):

$$C_C = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}}$$

Los porcentajes de grava, arena, finos y la clasificación del suelo según el sistema correspondiente como lo es la clasificación AASHTO y SUCS para cada muestra (Bañon, 2012) (Ver Apéndice 8 y 9).

Se determinarán los datos realizando los ensayos para cada muestra, se pueden determinar dos características de clasificación: Según los coeficientes C_U y C_C , y según los porcentajes de grava, arena y finos.

Para que una arena se considere bien graduada, los coeficientes de uniformidad y de curvatura deben estar entre los rangos $C_U > 6$ y $1 < C_C < 3$. Para que una grava se considere bien graduada, los coeficientes de uniformidad y de curvatura deben estar entre los siguientes rangos $C_U > 4$ y $1 < C_C < 3$.

Datos de la muestra 1: $TMN = 3/8''$; $m = 1350$ g; $m_{seca} = 560.3$ g. Además, se obtuvo la siguiente tabla de resultados:

Tabla 11.

Datos de tamizado para la muestra 1.

PESO TOTAL DE LA MUESTRA (g) MUESTRA 1			560.3 g	
TAMIZ (mm)	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	TAMICES	
			%RETENIDO	% PASA
4''	100	0,00	0,00	100,00
13/4''	80	0,00	0,00	100,00
21/2''	63	0,00	0,00	100,00
2''	50	0,00	0,00	100,00
1 - 1/2''	40	0,00	0,00	100,00
1''	25	0,00	0,00	100,00
3/4	20	0,00	0,00	100,00
1/2	12,5	0,00	0,00	100,00
3/8	10	0,00	0,00	100,00
#4	5	21,2	3,78	96,22
#10	2	67,0	11,95	88,05
#20	1,25	135,7	24,21	75,79
#40	0,4	135,9	24,25	75,75
#100	0,16	162,7	29,03	70,97
#200	0,08	37,8	6,74	63,26
Fondo	0	0	0	0

Fuente: Autor del proyecto

De acuerdo a los datos, la curva granulométrica para la muestra 1 es la siguiente:

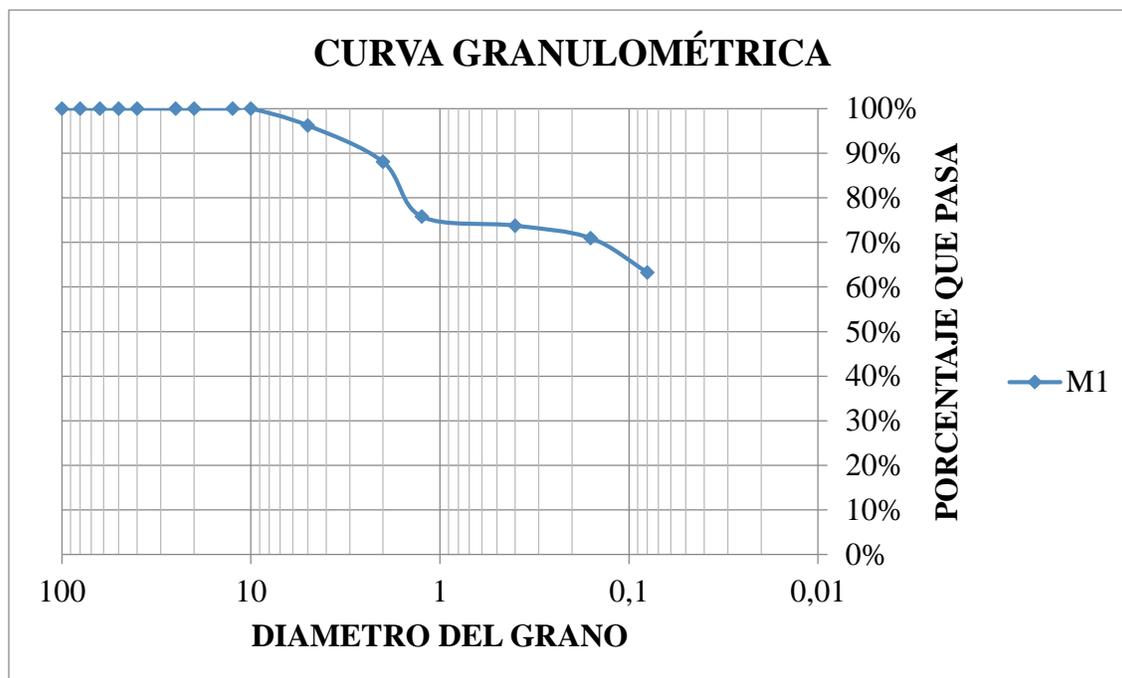


Figura 17. Curva granulométrica para la Muestra 1.

Fuente: Autor del proyecto

Los diámetros de las partículas correspondientes a un porcentaje que pasa el 10, 30 y 60 % son:

Tabla 12.

Resultados Clasificación Granulométrica por tamizado para la muestra 1.

CALCULO	RESULTADO	UNIDADES
Pasa tamiz N° 4 (5mm):	90,89	%
Pasa tamiz N° 200 (0,080 mm):	41,28	%
D60:	0,16	mm
D30:	0,12	mm
D10 (diámetro efectivo):	0,09	mm
Coefficiente de uniformidad (Cu):	1,78	
Grado de curvatura (Cc):	1,00	

Fuente: Autor del proyecto

Los resultados del ensayo en porcentajes de grava, arena y finos se pueden ver en la Tabla 10 y 11, teniendo en cuenta la siguiente Tabla 13:

Tabla 13.*Porcentajes del contenido de la muestra 1.*

	USCS	AASHTO
% GRAVA	4,06	8,55
% ARENA	89,80	81,26
% FINOS	42,01	42,01
CLASIFICACIÓN	SM - SC	A-4

Fuente: Autor del proyecto

Datos de la muestra 2: TMN = 3/8"; m = 2002,58 g; m_{seca} = 1107,6 g. Además, se obtuvo

la siguiente tabla de resultados:

Tabla 14.*Datos de tamizado para la muestra 2.*

PESO TOTAL DE LA MUESTRA (g) MUESTRA 2			1107.6 g	
TAMIZ (mm)	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	TAMICES	
			%RETENIDO	% PASA
4"	100	0,00	0,00	100,00
13/4"	80	0,00	0,00	100,00
21/2"	63	0,00	0,00	100,00
2"	50	0,00	0,00	100,00
1 - 1/2"	40	0,00	0,00	100,00
1"	25	0,00	0,00	100,00
3/4	20	0,00	0,00	100,00
1/2	12,5	0,00	0,00	100,00
3/8	10	0,00	0,00	100,00
#4	5	202,4	18,27	81,73
#10	2	238,4	21,52	78,48
#20	1,25	304,2	29,46	70,54
#40	0,4	144,9	13,08	80,92
#100	0,16	186,5	16,83	83,17
#200	0,08	31,2	2,81	67,19
Fondo	0			

Fuente: Autor del proyecto

De acuerdo a los datos, la curva granulométrica para la muestra 2 es la siguiente:

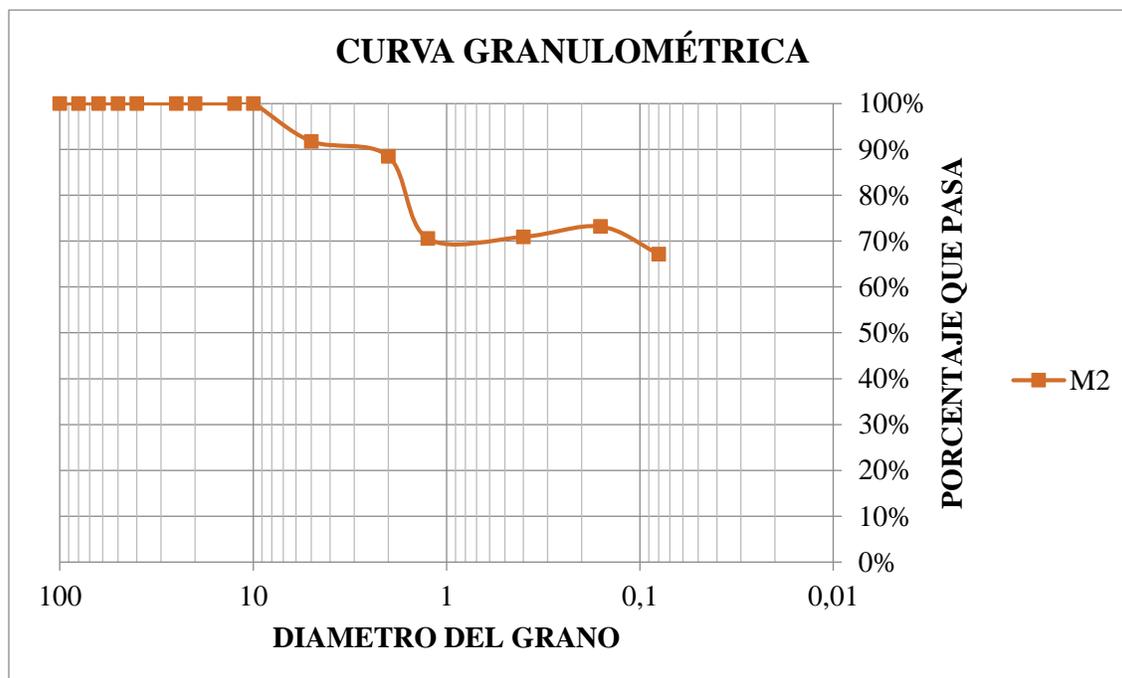


Figura 18. Curva granulométrica para la Muestra 2.

Fuente: Autor del proyecto

Los diámetros de las partículas correspondientes a un porcentaje que pasa el 10, 30 y 60 %

son:

Tabla 15.

Resultados Clasificación Granulométrica por tamizado para la muestra 2.

CALCULO	RESULTADO	UNIDADES
Pasa tamiz N° 4 (5mm):	91,73	%
Pasa tamiz N° 200 (0,080 mm):	67,19	%
D60:	0,15	mm
D30:	0,12	mm
D10 (diámetro efectivo):	0,09	mm
Coefficiente de uniformidad (Cu):	1,67	
Grado de curvatura (Cc):	1,07	

Fuente: Autor del proyecto

Los resultados del ensayo en porcentajes de grava, arena y finos se pueden ver en la Tabla

11 y 12, teniendo en cuenta la siguiente Tabla 16:

Tabla 16.*Porcentajes del contenido de la muestra 2.*

	USCS	AASHTO
% GRAVA	8,73	18,91
% ARENA	83,88	64,98
% FINOS	38,97	38,97
CLASIFICACIÓN	SM - SC	A-4

Fuente: Autor del proyecto

Datos de la muestra 3: TMN = 3/8"; m = 1483.4 g; m_{seca} = 602, 0 g. Además, se obtuvo

la siguiente tabla de resultados:

Tabla 17.*Datos de tamizado para la muestra 3.*

PESO TOTAL DE LA MUESTRA (g) MUESTRA 3			602,0 g	
TAMIZ (mm)	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	TAMICES	
			%RETENIDO	% PASA
4"	100	0,00	0,00	100,00
13/4"	80	0,00	0,00	100,00
21/2"	63	0,00	0,00	100,00
2"	50	0,00	0,00	100,00
1 - 1/2"	40	0,00	0,00	100,00
1"	25	0,00	0,00	100,00
3/4	20	0,00	0,00	100,00
1/2	12,5	0,00	0,00	100,00
3/8	10	0,00	0,00	100,00
#4	5	8,1	1,34	98,66
#10	2	48,2	8,00	92
#20	1,25	143,4	23,82	76,18
#40	0,4	186,4	30,96	69,04
#100	0,16	127,2	21,12	78,88
#200	0,08	15,8	2,62	67,38
Fondo	0			

Fuente: Autor del proyecto

De acuerdo a los datos, la curva granulométrica para la muestra 3 es la siguiente:

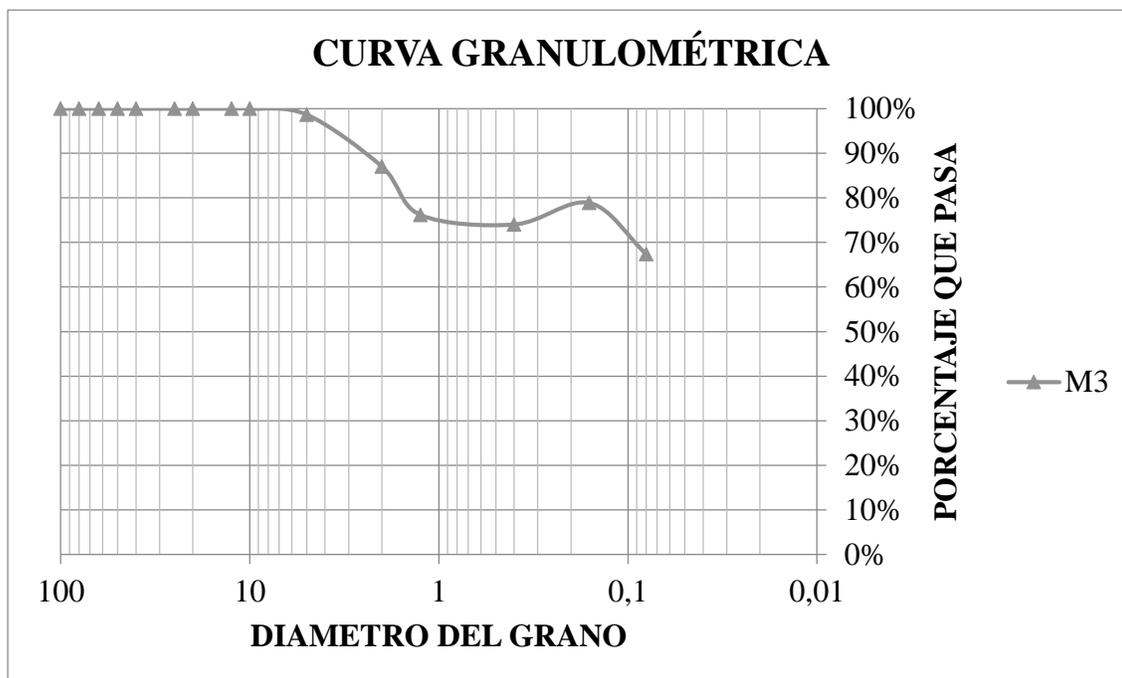


Figura 19. Curva granulométrica para la Muestra 3.

Fuente: Autor del proyecto

Los diámetros de las partículas correspondientes a un porcentaje que pasa el 10, 30 y 60 %

son:

Tabla 18.

Resultados Clasificación Granulométrica por tamizado para la muestra 3.

CALCULO	RESULTADO	UNIDADES
Pasa tamiz N° 4 (5mm):	98,66	%
Pasa tamiz N° 200 (0,080 mm):	67,38	%
D60:	0,15	mm
D30:	0,12	mm
D10 (diámetro efectivo):	0,09	mm
Coficiente de uniformidad (Cu):	1,67	
Grado de curvatura (Cc):	1,07	

Fuente: Autor del proyecto

Los resultados del ensayo en porcentajes de grava, arena y finos se pueden ver en la Tabla

10 y 11, teniendo en cuenta la siguiente Tabla 19:

Tabla 19.*Porcentajes del contenido de la muestra 3.*

	USCS	AASHTO
% GRAVA	5,79	9,22
% ARENA	85,40	76,18
% FINOS	43,70	43,70
CLASIFICACIÓN	SM - SC	A-4

Fuente: Autor del proyecto

Datos de la muestra 4: TMN = 3/8"; m = 1396,75 g; m_{seca} = 551,2 g. Además, se obtuvo

la siguiente tabla de resultados:

Tabla 20.*Datos de tamizado para la muestra 4.*

PESO TOTAL DE LA MUESTRA (g) MUESTRA 4			551,2 g	
TAMIZ (mm)	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	TAMICES	
			%RETENIDO	% PASA
4"	100	0,00	0,00	100,00
13/4"	80	0,00	0,00	100,00
21/2"	63	0,00	0,00	100,00
2"	50	0,00	0,00	100,00
1 - 1/2"	40	0,00	0,00	100,00
1"	25	0,00	0,00	100,00
3/4	20	0,00	0,00	100,00
1/2	12,5	0,00	0,00	100,00
3/8	10	0,00	0,00	100,00
#4	5	10,0	1,81	98,19
#10	2	78,3	14,20	85,8
#20	1,25	130,4	23,65	76,35
#40	0,4	130,4	23,65	76,35
#100	0,16	168,2	30,51	69,49
#200	0,08	33,9	6,15	63,85
Fondo	0			

Fuente: Autor del proyecto

De acuerdo a los datos, la curva granulométrica para la muestra 4 es la siguiente:

Tabla 22.*Porcentajes del contenido de la muestra 4.*

	USCS	AASHTO
% GRAVA	9,53	18,66
% ARENA	82,16	63,50
% FINOS	40,26	40,26
CLASIFICACIÓN	SM - SC	A-4

Fuente: Autor del proyecto

Datos de la muestra 5: TMN = 3/8"; m = 1000 g; m_{seca} = 539,8 g. Además, se obtuvo la siguiente tabla de resultados:

Tabla 23.*Datos de tamizado para la muestra 5.*

PESO TOTAL DE LA MUESTRA (g) MUESTRA 5			539,8 g	
TAMIZ (mm)	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	TAMICES	
			%RETENIDO	% PASA
4"	100	0,00	0,00	100,00
13/4"	80	0,00	0,00	100,00
21/2"	63	0,00	0,00	100,00
2"	50	0,00	0,00	100,00
1 - 1/2"	40	0,00	0,00	100,00
1"	25	0,00	0,00	100,00
3/4	20	0,00	0,00	100,00
1/2	12,5	0,00	0,00	100,00
3/8	10	0,00	0,00	100,00
#4	5	7,8	1,44	98,56
#10	2	71,1	13,17	86,83
#20	1,25	127,3	23,58	76,42
#40	0,4	145,1	26,88	73,12
#100	0,16	167,6	31,04	68,96
#200	0,08	20,9	3,87	66,13
Fondo	0			

Fuente: Autor del proyecto

De acuerdo a los datos, la curva granulométrica para la muestra 5 es la siguiente:

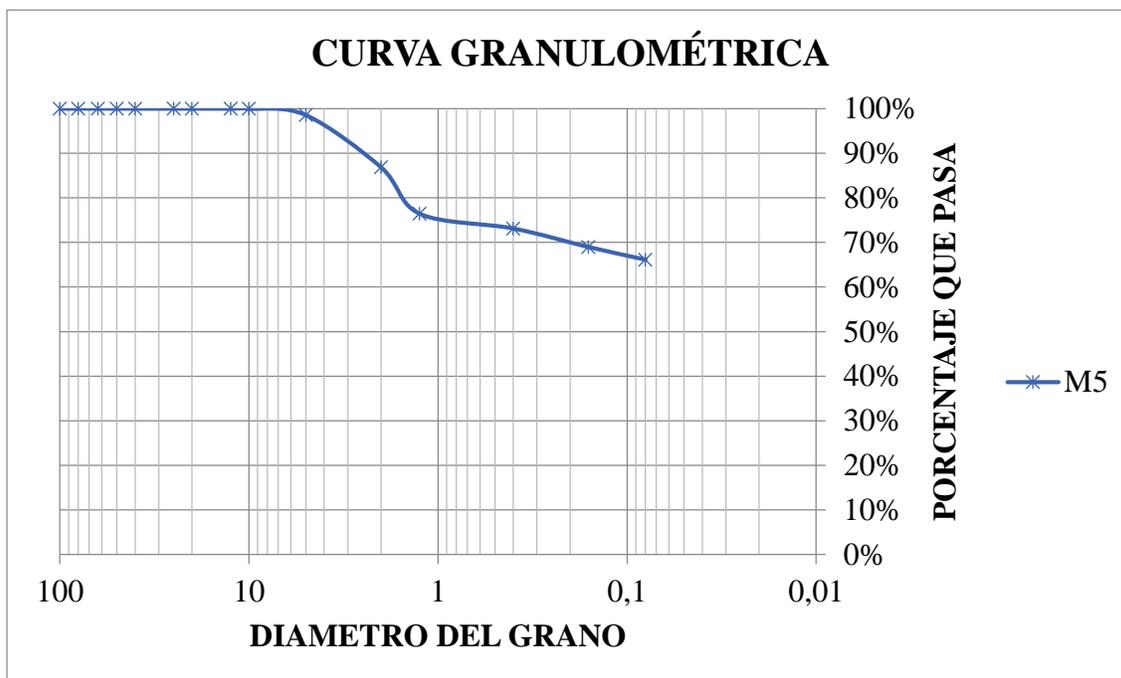


Figura 21. Curva granulométrica para la Muestra 5.

Fuente: Autor del proyecto

Los diámetros de las partículas correspondientes a un porcentaje que pasa el 10, 30 y 60 %

son:

Tabla 24.

Resultados Clasificación Granulométrica por tamizado para la muestra 5.

CALCULO	RESULTADO	UNIDADES
Pasa tamiz N° 4 (5mm):	98,56	%
Pasa tamiz N° 200 (0,080 mm):	66,13	%
D60:	0,15	mm
D30:	0,12	mm
D10 (diámetro efectivo):	0,09	mm
Coficiente de uniformidad (Cu):	1,67	
Grado de curvatura (Cc):	1,07	

Fuente: Autor del proyecto

Los resultados del ensayo en porcentajes de grava, arena y finos se pueden ver en la Tabla

10 y 11, teniendo en cuenta la siguiente Tabla 25:

Tabla 25.*Porcentajes del contenido de la muestra 5.*

	USCS	AASHTO
% GRAVA	6,26	11,36
% ARENA	89,24	77,89
% FINOS	41,28	41,28
CLASIFICACIÓN	SM - SC	A-4

Fuente: Autor del proyecto

Datos de la muestra 6: TMN = 3/8"; m = 1000 g; m_{seca} = 522, 1 g. Además, se obtuvo la siguiente tabla de resultados:

Tabla 26.*Datos de tamizado para la muestra 5.*

PESO TOTAL DE LA MUESTRA (g) MUESTRA 6			522,1 g	
TAMIZ (mm)	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	TAMICES	
			%RETENIDO	% PASA
4"	100	0,00	0,00	100,00
13/4"	80	0,00	0,00	100,00
21/2"	63	0,00	0,00	100,00
2"	50	0,00	0,00	100,00
1 - 1/2"	40	0,00	0,00	100,00
1"	25	0,00	0,00	100,00
3/4	20	0,00	0,00	100,00
1/2	12,5	0,00	0,00	100,00
3/8	10	0,00	0,00	100,00
#4	5	10,7	2,04	97,96
#10	2	76,7	14,69	85,31
#20	1,25	106,2	20,34	79,66
#40	0,4	123,8	23,71	76,29
#100	0,16	173,5	33,23	66,77
#200	0,08	31,2	5,97	64,03
Fondo	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los datos, la curva granulométrica para la muestra 6 es la siguiente:

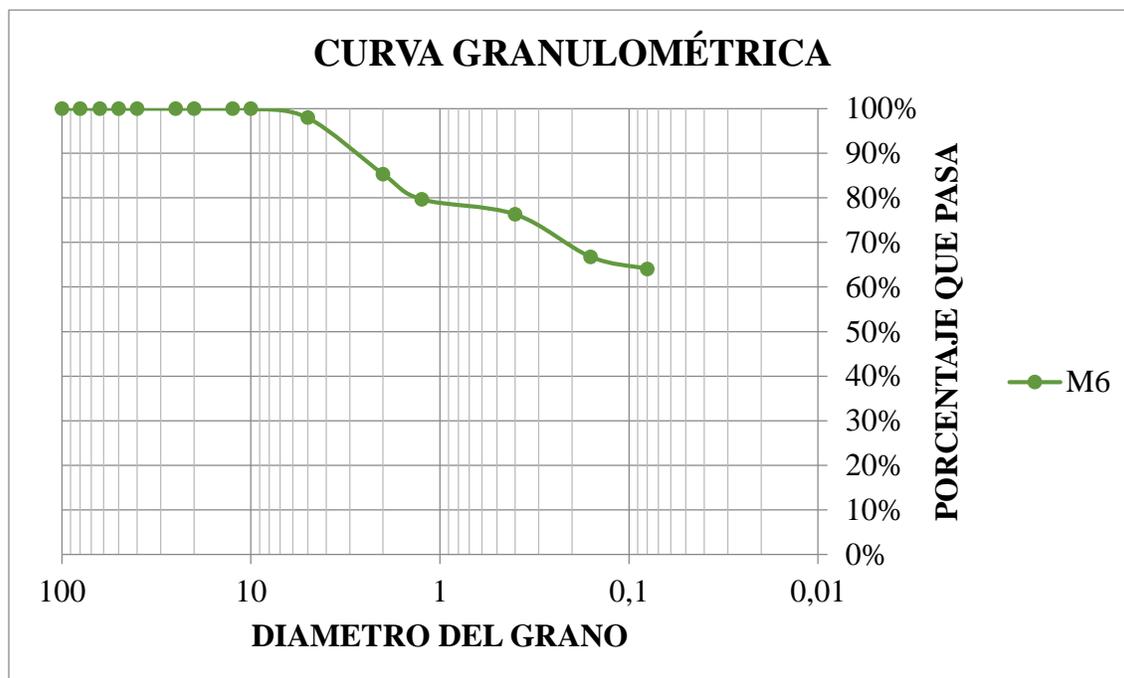


Figura 22. Curva granulométrica para la Muestra 6.

Fuente: Autor del proyecto

Los diámetros de las partículas correspondientes a un porcentaje que pasa el 10, 30 y 60 %

son:

Tabla 27.

Resultados Clasificación Granulométrica por tamizado para la muestra 6.

CALCULO	RESULTADO	UNIDADES
Pasa tamiz N° 4 (5mm):	97,96	%
Pasa tamiz N° 200 (0,080 mm):	64,03	%
D60:	0,15	mm
D30:	0,12	mm
D10 (diámetro efectivo):	0,09	mm
Coficiente de uniformidad (Cu):	1,67	
Grado de curvatura (Cc):	1,07	

Fuente: Autor del proyecto

Los resultados del ensayo en porcentajes de grava, arena y finos se pueden ver en la Tabla

10 y 11, teniendo en cuenta la siguiente Tabla 28:

Tabla 28.

Porcentajes del contenido de la muestra 6.

	USCS	AASHTO
% GRAVA	6,26	11,36
% ARENA	89,24	77,89
% FINOS	41,28	41,28
CLASIFICACIÓN	SM - SC	A-4

Fuente: Autor del proyecto

Finalmente, la siguiente Figura 23 muestra la compilación de los resultados gráficos de todas las muestras seleccionadas:

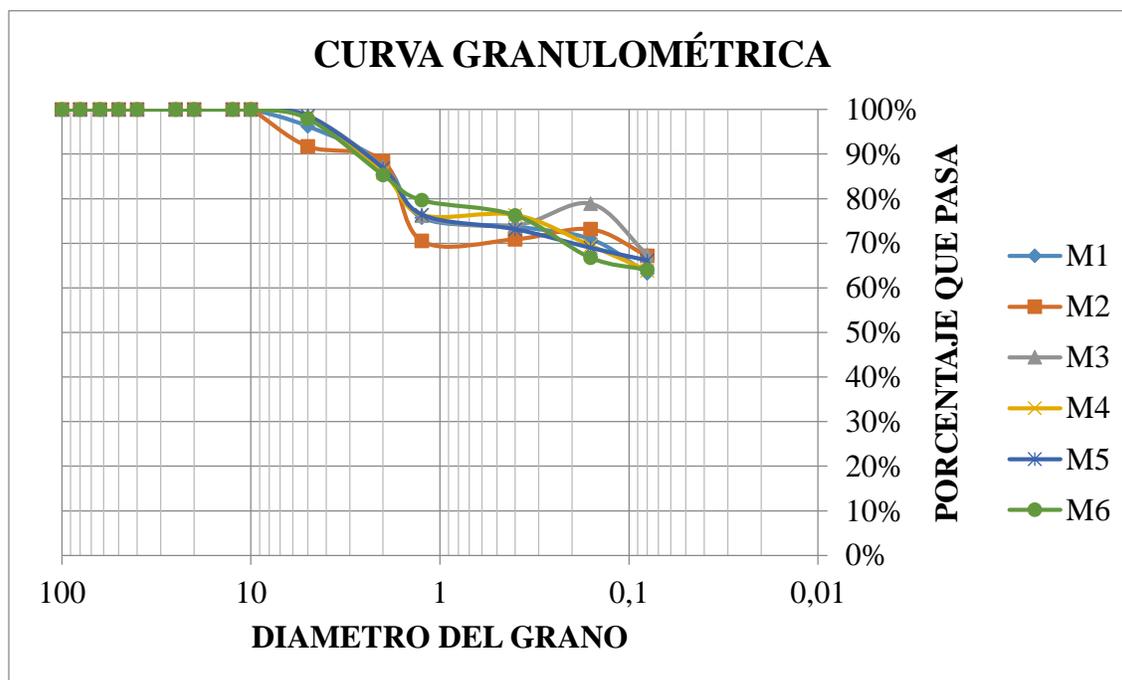


Figura 23. Resultados Clasificación Granulométrica por tamizado para todas las muestras.

Fuente: Autor del proyecto

Por lo tanto, de la figura anterior se puede concluir que las muestras se encuentran clasificadas bajo los parámetros de la AASHTO y USCS como muestras MS-SC y 4a, que

resultan ser: **Arenas limosas arcillosas con mezclas de arenas limos y arcilla. En su mayoría como limos.**

4.2.4. Granulometría por Hidrómetro. Este ensayo permite conocer el porcentaje de material fino presente en una muestra de suelo, dato que no es posible determinarse por medio de la granulometría por tamizado y que es indispensable para prever su comportamiento. Al tabular los datos se determina el porcentaje de arcilla de la muestra de suelo, es decir, las partículas con diámetro menor a 0,002 mm.

Previo al ensayo se debe preparar el defloculante o agente dispersante. Se disuelven 40 g de Hexametáfosfato de sodio en 1 litro de agua destilada.

Las lecturas de temperatura y del hidrómetro que se tomen deben corregirse con factores que serán detallados. El hidrómetro usado en la toma de lecturas es el tipo 152 H. El procedimiento es el siguiente:

- Calcular corrección por menisco (Cm). Este valor es la diferencia de nivel que se observa en la probeta sin hidrómetro y luego de introducirlo; para el hidrómetro 152 H este valor es 1 g/litro.
- Calcular la corrección por defloculante (Cd). Este valor corresponde a la lectura del hidrómetro sumergido en una probeta con 875 ml de agua destilada y 125 ml de defloculante. Generalmente es 3.
- Hacer el cuarteo de la muestra y escoger una cantidad considerable para extraer de ella 50 o 100 g para el proceso. Luego se lleva al horno dicha cantidad de material.

- Pasar la muestra seca por el tamiz N° 200 y pesar 50 o 100 g de la cantidad que pase. Esta será la cantidad de muestra que se va a someter a prueba. Si no pasa suficiente material se puede usar el tamiz N° 4 (Ver Figura 24).



Figura 24. Selección del material para la muestra.

Fuente: Autor del proyecto

- Depositar la muestra en un picnómetro y añadir 125 ml de defloculante al 4 % y agua destilada hasta llenar 2/3 del recipiente y dejar reposar por 24 horas.
- Vaciar el picnómetro en su totalidad en una probeta y adicionar agua destilada hasta alcanzar los 1000 ml. Luego de esto se agita la probeta durante un minuto haciéndola girar 180°.
- Luego de agitar, se pone la probeta en el mesón, y a partir de ese momento empieza a contarse el tiempo. Tomar lecturas (Ra) con el hidrómetro a 1, 2, 3, 4, 8, 15, 30, 60, 120, 250, 550, 1440, 1920, 2880, 4320 y 5760 minutos. Simultáneamente de tomar las lecturas Ra, se deben tomar las lecturas de temperatura.
- Realizar los cálculos necesarios para el análisis posterior.

La corrección por temperatura está basada en la siguiente Tabla 29, que está relacionada con la temperatura a la que se toma la lectura con el hidrómetro.

Tabla 29.
Corrección por temperatura Ct.

TEMPERATURA °C	CONCENTRACION (gal/L)
10	-2.0
11	-1.9
12	-1.8
13	-1.6
14	-1.4
15	-1.2
16	-1.0
17	-0.8
18	-0.5
19	-0.3
20	0.0
21	0.3
22	0.6
23	0.9
24	1.3
25	1.7
26	2.0
27	2.4
28	2.9
29	3.3
30	3.7

Fuente: (INVIAS, 2007)

La lectura corregida del hidrómetro (R_c) se calcula con la ecuación

$$R_c = R_a - C_d \pm C_t$$

El porcentaje más fino se calcula con la expresión

$$\% \text{ más fino} = \frac{R_c * a}{m_s} * 100$$

Donde a es el factor de corrección por gravedad específica. El valor de a se obtiene de la Tabla 30, con base en la gravedad específica.

Tabla 30.

Valores de α para diferentes G_s .

GRAVEDAD ESPECIFICA G_s	CONSTANTE α
2.95	0.94
2.85	0.96
2.75	0.98
2.65	1
2.55	1.02
2.45	1.05
2.35	1.08

Fuente: (INVIAS, 2007)

El valor del hidrómetro por menisco (R) se calcula con la siguiente fórmula:

$$R = R_a + C_m$$

La profundidad efectiva (L) para cada lectura real del hidrómetro viene dada por la tabla 30. El valor de la constante K se escoge de la Tabla 32 la cual está en función de la gravedad específica y la temperatura de cada lectura. Este dato es importante para determinar el diámetro de las partículas de suelo.

Para determinar el diámetro (en mm) de las partículas de la muestra de suelo escogida al momento de tomar las lecturas con el hidrómetro se usa la expresión que involucra los datos de K , L (mm) y T (min).

$$D = K \sqrt{\frac{L}{T}}$$

Tabla 31.
Valores de profundidad efectiva.

Hidrómetro 152 H			
Lecture real del Hidrómetro	Profundidad efectiva, L, mm	Lectura real del Hidrómetro	Profundidad efectiva, L, mm
0	163	31	112
1	161	32	111
2	160	33	109
3	158	34	107
4	156	35	106
5	155		
6	153	36	104
7	152	37	102
8	150	38	101
9	148	39	99
10	147	40	97
11	145	41	96
12	143	42	94
13	142	43	92
14	140	44	91
15	138	45	89
16	137	46	88
17	135	47	86
18	133	48	84
19	132	49	83
20	130	50	81
21	129	51	79
22	127	52	78
23	125	53	76
24	124	54	74
25	122	55	73
26	120	56	71
27	119	57	70
28	117	58	68
29	115	59	66
30	114	60	65

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 32.*Valores de K.*

Temperatura °C	Gs								
	2,45	2,5	2,55	2,6	2,65	2,7	2,75	2,8	2,85
16	0,0049	0,0048	0,0047	0,0046	0,0045	0,0045	0,0044	0,0044	0,0043
17	0,0048	0,0047	0,0046	0,0046	0,0045	0,0044	0,0044	0,0043	0,0042
18	0,0047	0,0047	0,0046	0,0045	0,0044	0,0044	0,0043	0,0042	0,0042
19	0,0047	0,0046	0,0045	0,0044	0,0044	0,0043	0,0043	0,0042	0,0041
20	0,0046	0,0045	0,0045	0,0044	0,0043	0,0043	0,0042	0,0041	0,0041
21	0,0046	0,0045	0,0044	0,0043	0,0043	0,0042	0,0042	0,0041	0,0040
22	0,0045	0,0044	0,0044	0,0043	0,0042	0,0042	0,0041	0,0040	0,0040
23	0,0045	0,0044	0,0043	0,0042	0,0042	0,0041	0,0041	0,0040	0,0039
24	0,0044	0,0043	0,0043	0,0042	0,0041	0,0041	0,0040	0,0040	0,0039
25	0,0044	0,0043	0,0042	0,0041	0,0041	0,0040	0,0040	0,0039	0,0039
26	0,0043	0,0042	0,0042	0,0041	0,0040	0,0040	0,0039	0,0039	0,0038
27	0,0043	0,0042	0,0041	0,0041	0,0040	0,0039	0,0039	0,0038	0,0038
28	0,0042	0,0041	0,0041	0,0040	0,0040	0,0039	0,0038	0,0038	0,0037
29	0,0042	0,0041	0,0040	0,0040	0,0039	0,0039	0,0038	0,0037	0,0037
30	0,0041	0,0041	0,0040	0,0039	0,0039	0,0038	0,0038	0,0037	0,0037

Fuente: Autor del proyecto

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del laboratorio para cada una de las muestras:

Muestra 1. La tabla de datos es la siguiente:

Corrección de cero y defloculante = $C_d = 4$; Corrección del menisco C_m (g/l) = 1,2

Masa seca = $W_s = 50$ g; $G_s = 2,65$; $\tau' = 3$

La siguiente Tabla 33 de datos fue obtenida del laboratorio para el análisis granulométrico de la muestra 1 con el método del hidrómetro.

Tabla 33.

Análisis granulométrico método – hidrómetro para la muestra 1.

Fecha Día	Hora de lectura	TIEMPO (min)	T (°C)	CORREC. POR TEMP C_T	LECTURA REAL HIDR. (Ra)	(Rc) LECT. CORREGIDA HIDRÓMET. $Rc=Ra-Cd+ C_T$	% MÁS FINO $\frac{Rc * a}{Ws} (100)$	HIDR. CORR. POR MENISCO R $= Ra + Cm$	L (mm)	L/t	K	D (mm)
Día 1	8:00 am	1	22	0,6	35	31,6	63,2	36,2	106	106	0,0042	0,0432416
		2	22	0,6	32	28,6	57,2	33,2	111	55,5	0,0042	0,0312892
		3	22	0,6	30	26,6	53,2	31,2	114	38	0,0042	0,0258905
		4	22	0,6	29	25,6	51,2	30,2	115	28,75	0,0042	0,0225199
		8	22	0,6	26	22,6	45,2	27,2	120	15	0,0042	0,01626653
	8:15 am	15	22	0,6	25	21,6	43,2	26,2	122	8,133333	0,0042	0,0119779
	8:30 am	30	22	0,6	23	19,6	39,2	24,2	125	4,166666	0,0042	0,0085732
	9:00 am	60	22	0,6	23	19,6	39,2	24,2	125	2,083333	0,0042	0,0060621
	10:00 am	120	23	0,9	19	15,9	31,8	20,2	132	1,1	0,0042	0,0044049
	12:10 pm	250	24	1,3	19	16,3	32,6	20,2	132	0,528	0,0041	0,0029792
5: 10 pm	550	23	0,9	18	14,9	29,8	19,2	133	0,241818	0,0042	0,0020653	
Día 2	8:00 am	1440	23	0,9	18	14,9	29,8	19,2	133	0,092361	0,0042	0,0012764
	4:00 pm	1920	23	0,9	16	12,9	25,8	17,2	137	0,071354	0,0042	0,0011219
Día 3	8:00 am	2880	23	0,9	12	8,9	17,8	13,2	143	0,049652	0,0042	0,0009358
Día 4	8:00 am	4320	22	0,6	9	5,6	11,2	10,2	148	0,034259	0,0042	0,0007773
Día 5	8:00 am	5760	22	0,6	9	5,6	11,2	10,2	148	0,025694	0,0042	0,0006732

Fuente: Autor del proyecto

La distribución granulométrica para la muestra 1 se describe en la siguiente Figura 25:

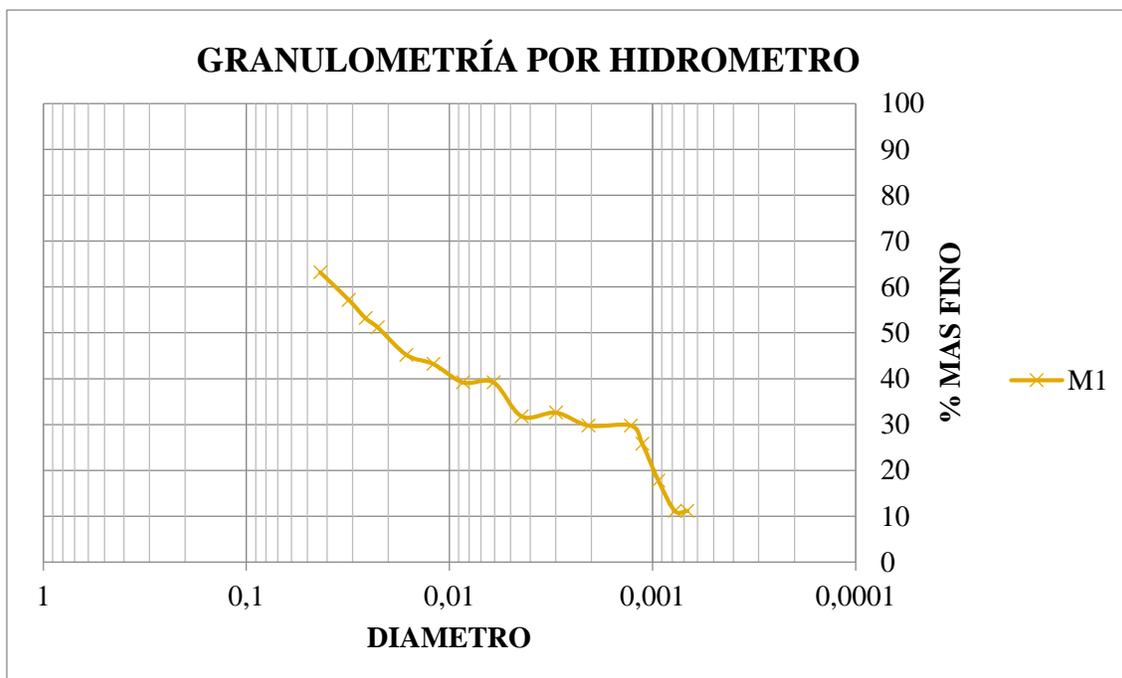


Figura 25. Curva granulométrica método – hidrómetro para la muestra 1.

Fuente: Autor del proyecto

Muestra 2. La tabla de datos es la siguiente:

Corrección de cero y defloculante = $C_d = 4$; Corrección del menisco C_m (g/l) = 1,2

Masa seca = $W_s = 50$ g; $G_s = 2,65$; $\tau' = 3$

La siguiente Tabla 34 de datos fue obtenida del laboratorio para el análisis granulométrico de la muestra 2 con el método del hidrómetro.

Tabla 34.

Análisis granulométrico método – hidrómetro para la muestra 2.

Fecha	Hora de lectura	TIEMPO (min)	T (°C)	CORREC. POR TEMP	LECTURA REAL HIDR. (Ra)	(Rc) LECT. CORREGIDA HIDRÓMET.	% MÁS FINO	HIDR. CORR. POR MENISCO	L (mm)	L/t	K	D (mm)
Día 1	8:00 am	1	22	0,6	35	31,6	63,2	36,2	106	106	0,0042	0,0432416465
		2	22	0,6	33	29,6	59,2	34,2	109	54,5	0,0042	0,0310061284
		3	22	0,6	31	27,6	55,2	32,2	112	37,33	0,0042	0,0256624238
		4	22	0,6	29	25,6	51,2	30,2	115	28,75	0,0042	0,02251999112
		8	22	0,6	28	24,6	49,2	29,2	117	14,625	0,0042	0,01606191147
	8:15 am	15	22	0,6	25	21,6	43,2	26,2	122	8,1333	0,0042	0,0119779798
	8:30 am	30	22	0,6	25	21,6	43,2	26,2	122	4,0666	0,0042	0,00846971
	9:00 am	60	22	0,6	23	19,6	39,2	24,2	125	2,08333	0,0042	0,006062177
	10:00 am	120	23	0,9	20	16,9	33,2	21,2	130	1,08333	0,0042	0,004371498
	12:10 pm	250	24	1,3	19	16,3	32,6	20,2	132	0,528	0,0041	0,002979207
5: 10 pm	550	23	0,9	18	14,9	29,8	19,2	133	0,241818	0,0042	0,00206535	
Día 2	8:00 am	1440	23	0,9	17	13,9	27,8	18,2	135	0,09375	0,0042	0,001285982
	4:00 pm	1920	23	0,9	15	11,9	23,8	16,2	138	0,071875	0,0042	0,001125999
Día 3	8:00 am	2880	23	0,9	11	7,9	15,8	12,2	145	0,050347	0,0042	0,000942403
Día 4	8:00 am	4320	22	0,6	9	5,6	11,2	10,2	148	0,034259	0,0042	0,000777388
Día 5	8:00 am	5760	22	0,6	8	4,6	9,2	9,2	150	0,0260416	0,0042	0,000677772

Fuente: Autor del proyecto

La distribución granulométrica para la muestra 2 se describe en la siguiente Figura 26:

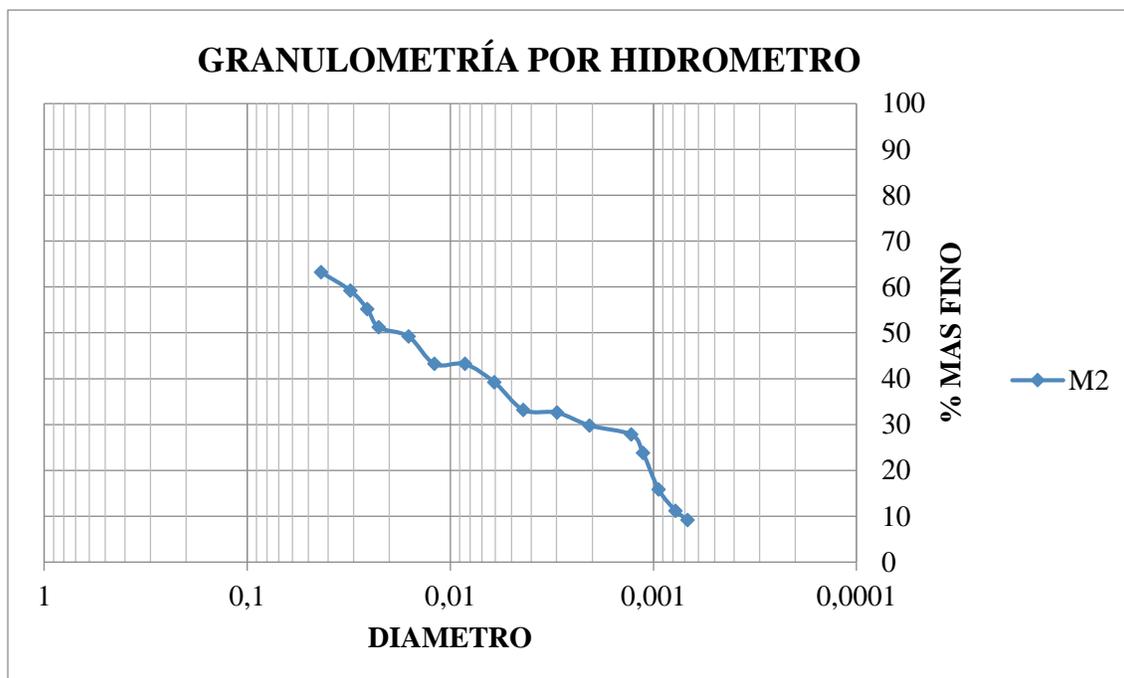


Figura 26. Curva granulométrica método – hidrómetro para la muestra 2.

Fuente: Autor del proyecto

Muestra 3. La tabla de datos es la siguiente:

Corrección de cero y defloculante = $C_d = 4$; Corrección del menisco C_m (g/l) = 1,2

Masa seca = $W_s = 50$ g; $G_s = 2,65$; $\tau' = 3$

La siguiente Tabla 35 de datos fue obtenida del laboratorio para el análisis granulométrico de la muestra 3 con el método del hidrómetro.

Tabla 35.*Análisis granulométrico método – hidrómetro para la muestra 3.*

Fecha	Hora de lectura	TIEMPO (min)	T (°C)	CORREC. POR TEMP	LECTURA REAL HIDR. (Ra)	(Rc) LECT. CORREGIDA HIDRÓMET.	% MÁS FINO	HIDR. CORR. POR MENISCO	L (mm)	L/t	K	D (mm)
Día 1	8:00 am	1	22	0,6	42	38,6	77,2	43,2	94	94	0,0042	0,0407205108
		2	22	0,6	40	36,6	73,2	41,2	97	48,5	0,0042	0,02924961538
		3	22	0,6	39	35,6	71,2	40,2	99	33	0,0042	0,02412716312
		4	22	0,6	37	33,6	67,2	38,2	102	25,5	0,0042	0,02120896037
		8	22	0,6	34	30,6	61,2	35,2	107	13,375	0,0042	0,01536017578
	8:15 am	15	22	0,6	30	26,6	53,2	31,2	114	7,6	0,0042	0,01157860095
	8:30 am	30	22	0,6	27	23,6	47,2	28,2	119	3,96666	0,0042	0,008364926
	9:00 am	60	23	0,9	26	22,9	45,8	27,2	120	2	0,0042	0,005939696
	10:00 am	120	23	0,9	22	18,9	37,8	23,2	127	1,058333	0,0042	0,004320763
12:10 pm	250	23	0,9	20	16,9	33,8	21,2	130	0,52	0,0042	0,003028663	
5: 10 pm	550	22	0,6	20	16,6	33,2	21,2	130	0,236363	0,0042	0,002041924	
Día 2	8:00 am	1440	22	0,6	17	13,6	27,2	18,2	135	0,09375	0,0042	0,001285982
	4:00 pm	1920	23	0,9	16	12,9	25,8	17,2	137	0,0713541	0,0042	0,001121912
Día 3	8:00 am	2880	22	0,6	14	10,6	21,2	15,2	140	0,0486111	0,0042	0,000926012
Día 4	8:00 am	4320	22	0,6	11	7,6	15,2	12,2	145	0,0335648	0,0042	0,000769469
Día 5	8:00 am	5760	23	0,9	10	6,9	13,8	11,2	147	0,0255208	0,0042	0,00067096

Fuente: Autor del proyecto

La distribución granulométrica para la muestra 3 se describe en la siguiente Figura 27:

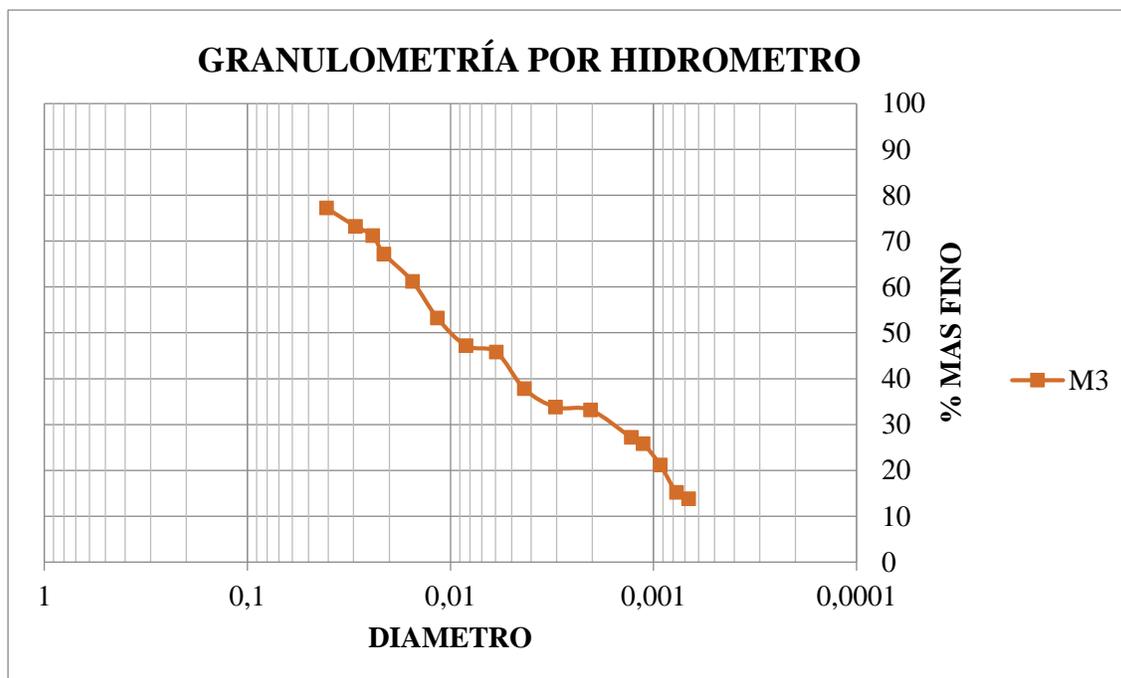


Figura 27. Curva granulométrica método – hidrómetro para la muestra 3.
Fuente: Auto del proyecto

Muestra 4. La tabla de datos es la siguiente:

Corrección de cero y defloculante = $C_d = 4$; Corrección del menisco C_m (g/l) = 1,2

Masa seca = $W_s = 50$ g; $G_s = 2,65$; $\tau' = 3$

La siguiente Tabla 36 de datos fue obtenida del laboratorio para el análisis granulométrico de la muestra 4 con el método del hidrómetro.

Tabla 36.*Análisis granulométrico método – hidrómetro para la muestra 4.*

Fecha	Hora de lectura	TIEMPO (min)	TEMPERAT. (°C)	CORREC. POR TEMP	LECTURA REAL HIDR. (Ra)	(Rc) LECT. CORREGIDA HIDRÓMET.	% MÁS FINO	HIDR. CORR. POR MENISCO	L (mm)	L/t	K	D (mm)
Día 1	8:00 am	1	22	0,6	39,5	36,1	72,2	40,7	98	98	0,0042	0,041577878
		2	22	0,6	38	34,6	69,2	39,2	101	50,5	0,0042	0,0298466078
		3	22	0,6	37	33,6	67,2	38,2	102	34	0,0042	0,024489979
		4	22	0,6	34	30,6	61,2	35,2	107	26,75	0,0042	0,02172256891
		8	22	0,6	33	29,6	59,2	34,2	109	13,625	0,0042	0,01550306421
	8:15 am	15	22	0,6	29,5	26,1	52,2	30,7	113	7,53333	0,0042	0,01152770576
	8:30 am	30	23	0,9	28	24,9	49,8	29,2	117	3,9	0,0042	0,008294335
	9:00 am	60	23	0,9	27	23,9	47,8	28,2	119	1,98333	0,0042	0,005914896
	10:00 am	120	24	1,3	26	23,3	46,6	27,2	120	1	0,0041	0,0041
	12:10 pm	250	24	1,3	23	20,3	40,6	24,2	125	0,5	0,0041	0,002899137
5: 10 pm	550	22	0,6	22	18,6	37,2	23,2	127	0,230909	0,0042	0,002018226	
Día 2	8:00 am	1440	22	0,6	17	13,6	27,2	18,2	135	0,09375	0,0042	0,001285982
	4:00 pm	1920	22	0,6	16	12,6	25,2	17,2	137	0,07135416	0,0042	0,001121912
Día 3	8:00 am	2880	22	0,6	16	12,6	25,2	17,2	137	0,0475694	0,0042	0,000916037
Día 4	8:00 am	4320	22	0,6	14	10,6	21,2	15,2	140	0,0324074	0,0042	0,000756086
Día 5	8:00 am	5760	22	0,6	13	9,6	19,2	14,2	142	0,02465277	0,0042	0,00065945

Fuente: Autor del proyecto

La distribución granulométrica para la muestra 4 se describe en la siguiente Figura 28:

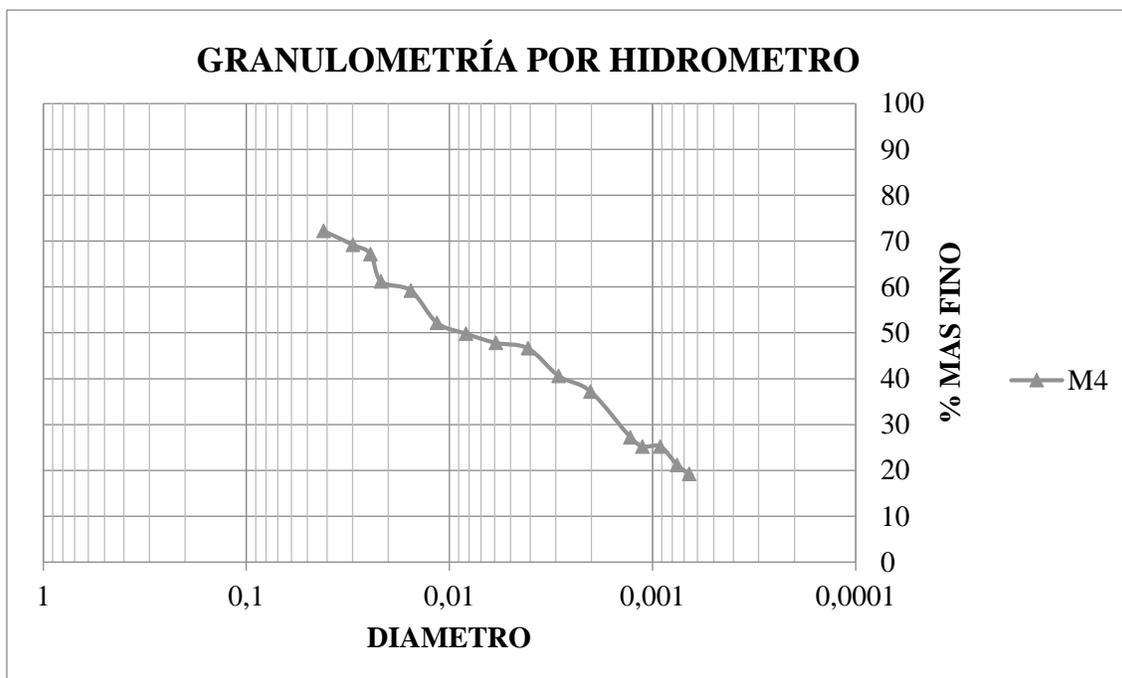


Figura 28. Curva granulométrica método – hidrómetro para la muestra 4.
Fuente: Autor del proyecto

Muestra 5. La tabla de datos es la siguiente:

Corrección de cero y defloculante = $C_d = 4$; Corrección del menisco C_m (g/l) = 1,2

Masa seca = $W_s = 50$ g; $G_s = 2,65$; $\tau' = 3$

La siguiente Tabla 37 de datos fue obtenida del laboratorio para el análisis granulométrico de la muestra 5 con el método del hidrómetro.

Tabla 37.*Análisis granulométrico método – hidrómetro para la muestra 5.*

Fecha	Hora de lectura	TIEMPO (min)	T (°C)	CORREC. POR TEMP	LECTURA REAL HIDR. (Ra)	(Rc) LECT. CORREGIDA HIDRÓMET.	% MÁS FINO	HIDR. CORR. POR MENISCO	L (mm)	L/t	K	D (mm)
Día 1	8:00 am	1	22	0,6	32	28,6	57,2	33,2	111	111	0,0042	0,04424974576
		2	22	0,6	32	28,6	57,2	33,2	111	55,5	0,0042	0,03128929529
		3	22	0,6	31	27,6	55,2	32,2	112	37,3333	0,0042	0,02566242389
		4	22	0,6	29,5	26,1	52,2	30,7	113	28,25	0,0042	0,02232330621
		8	22	0,6	29	25,6	51,2	30,2	115	14,375	0,0042	0,01592403843
	8:15 am	15	22	0,6	27	23,6	47,2	28,2	119	7,93333	0,0042	0,0118297929
	8:30 am	30	23	0,9	25	21,6	43,2	26,2	122	4,06666	0,0042	0,00846971
	9:00 am	60	24	1,3	22	19,3	38,6	23,2	127	2,11666	0,0041	0,005964995
	10:00 am	120	24	1,3	21	18,3	36,6	22,2	129	1,075	0,0041	0,00425097
	12:10 pm	250	25	1,7	18	15,7	31,4	19,2	133	0,532	0,0041	0,002990471
5: 10 pm	550	24	1,3	17	14,3	28,6	18,2	135	0,245454	0,0041	0,002031278	
Día 2	8:00 am	1440	23	0,9	15	11,9	23,8	16,2	138	0,0958333	0,0042	0,001300192
	4:00 pm	1920	23	0,9	14	10,9	21,8	15,2	140	0,0729166	0,0042	0,001134129
Día 3	8:00 am	2880	22	0,6	14	10,6	21,2	15,2	140	0,0486111	0,0042	0,000926012
Día 4	8:00 am	4320	22	0,6	12	8,6	17,2	13,2	143	0,03310185	0,0042	0,000764144
Día 5	8:00 am	5760	23	0,9	11	7,9	15,8	12,2	145	0,02517361	0,0042	0,00066638

Fuente: Autor del proyecto

La distribución granulométrica para la muestra 5 se describe en la siguiente Figura 29:

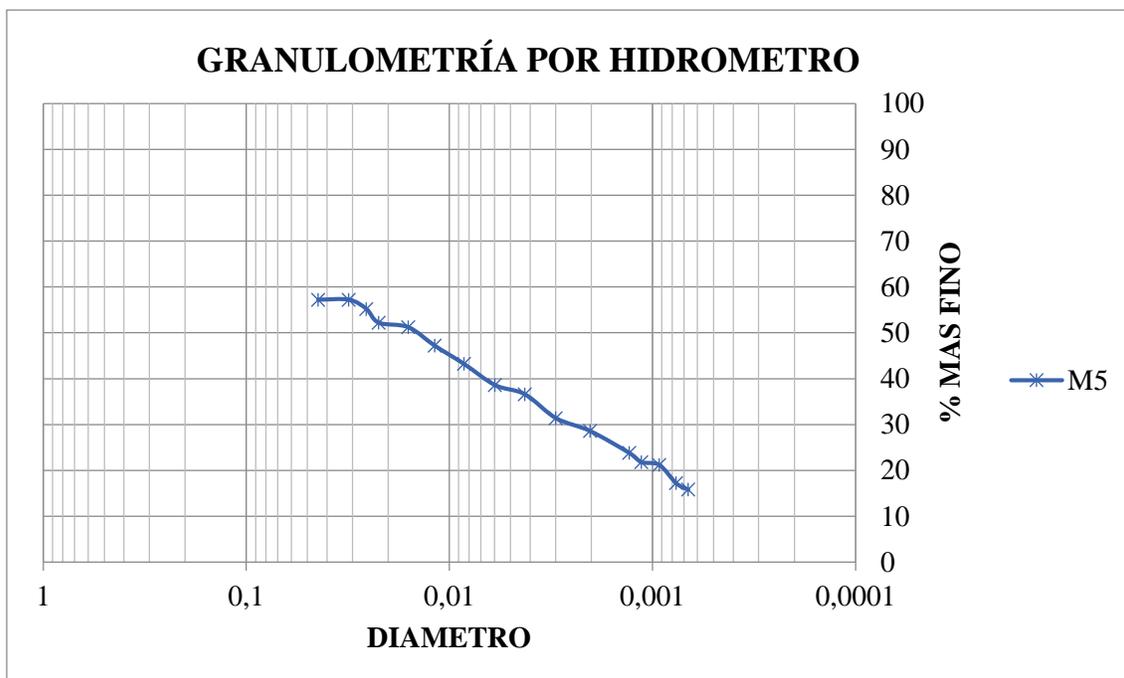


Figura 29. Curva granulométrica método – hidrómetro para la muestra 5.

Fuente: Autor del proyecto

Muestra 6. La tabla de datos es la siguiente:

Corrección de cero y defloculante = $C_d = 4$; Corrección del menisco C_m (g/l) = 1,2

Masa seca = $W_s = 50$ g; $G_s = 2,65$; $\tau' = 3$

La siguiente Tabla 38 de datos fue obtenida del laboratorio para el análisis granulométrico de la muestra 6 con el método del hidrómetro.

Tabla 38.*Análisis granulométrico método – hidrómetro para la muestra 6.*

Fecha	Hora de lectura	TIEMPO (min)	T (°C)	CORREC. POR TEMP	LECTURA REAL HIDR. (Ra)	(Rc) LECT. CORREGIDA HIDRÓMET.	% MÁS FINO	HIDR. CORR. POR MENISCO	L (mm)	L/t	K	D (mm)
Día 1	8:00 am	1	22	0,6	33	29,6	59,2	34,2	109	109	0,0042	0,04384928734
		2	22	0,6	32	28,6	57,2	33,2	111	55,5	0,0042	0,03128929529
		3	22	0,6	31	27,6	55,2	32,2	112	37,3333	0,0042	0,02566242389
		4	22	0,6	29	25,6	51,2	30,2	115	28,75	0,0042	0,02251999112
		8	22	0,6	27,5	24,1	48,2	28,7	118	14,75	0,0042	0,01613040607
	8:15 am	15	22	0,6	23	19,6	39,2	24,2	125	8,33333	0,0042	0,01212435565
	8:30 am	30	22	0,6	22	18,6	37,2	23,2	127	4,23333	0,0042	0,008641527
	9:00 am	60	22	0,6	20	16,6	33,2	21,2	130	2,16666	0,0042	0,006182232
	10:00 am	120	24	1,3	19	16,3	32,6	20,2	132	1,1	0,0041	0,004300116
	12:10 pm	250	25	1,7	15	12,7	25,4	16,2	138	0,552	0,0041	0,003046164
5: 10 pm	550	24	1,3	13,5	10,8	21,6	14,7	141	0,256363	0,0041	0,002075926	
Día 2	8:00 am	1440	22	0,6	13	9,6	19,2	14,2	142	0,098611	0,0042	0,001318901
	4:00 pm	1920	25	1,7	9	6,7	13,4	10,2	148	0,0770833	0,0041	0,001138319
Día 3	8:00 am	2880	22	0,6	7	3,6	7,2	8,2	152	0,052777	0,0042	0,000964883
Día 4	8:00 am	4320	22	0,6	6	2,6	5,2	7,2	153	0,0354166	0,0042	0,000790411
Día 5	8:00 am	5760	22	0,6	5	1,6	3,2	6,2	155	0,0269097	0,0042	0,000688975

Fuente: Autor del proyecto

La distribución granulométrica para la muestra 6 se describe en la siguiente Figura 30:

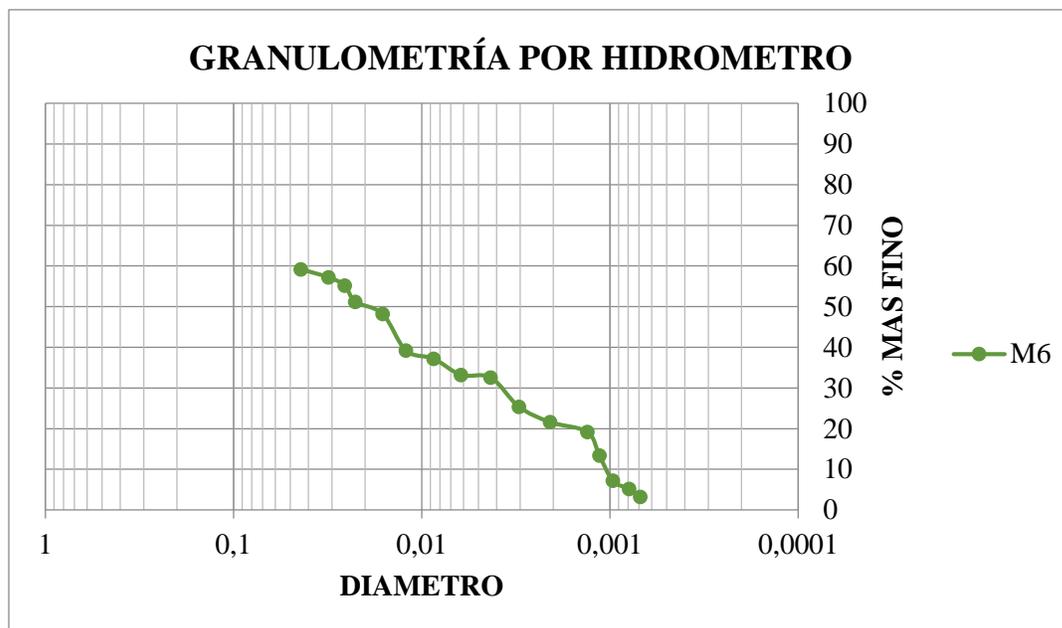


Figura 30. Curva granulométrica método – hidrómetro para la muestra 6.
Fuente: Autor del proyecto

Finalmente, la siguiente Figura 31 muestra la compilación de los resultados gráficos de todas las muestras seleccionadas:

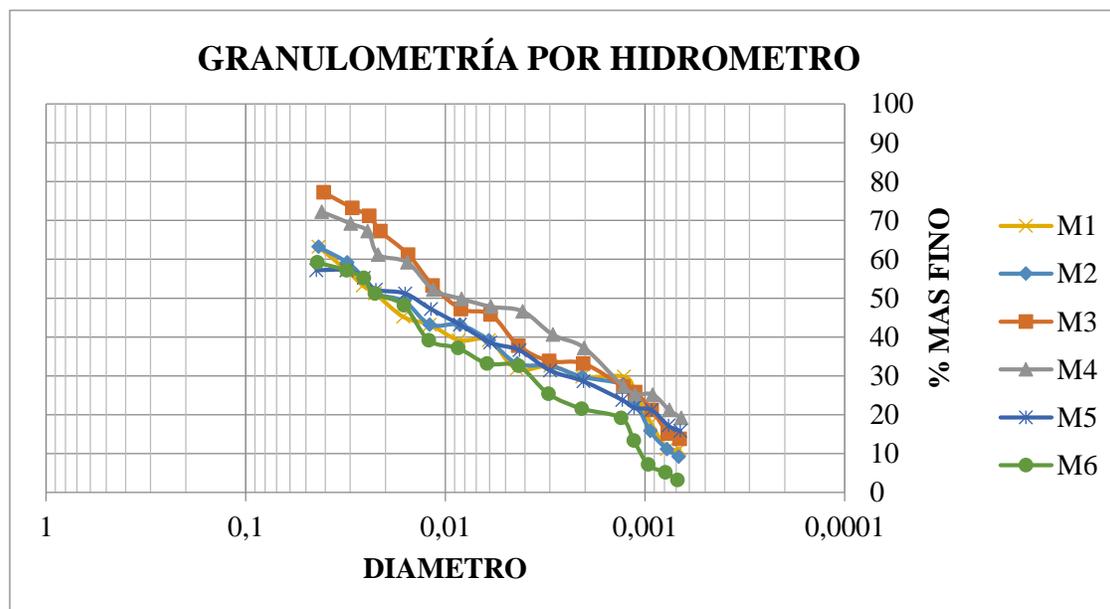


Figura 31. Curva granulométrica método – hidrómetro para todas las muestras.

Fuente: Autor del proyecto

A continuación, se definen los porcentajes de arenas, limos y arcillas en detalle, uniendo las figuras 17 y 312 de los análisis tamizado e hidrometría en un solo diagrama, teniendo en cuenta que las partículas con valores hasta 100 milímetros corresponden a gravas, entre 100 y 0,08 milímetros corresponden a arena, entre 0,08 y 0,005 milímetros corresponden a limo y las partículas con diámetro entre 0,005 hasta 0 milímetros corresponden a arcilla. De lo cual se obtuvieron los siguientes resultados:

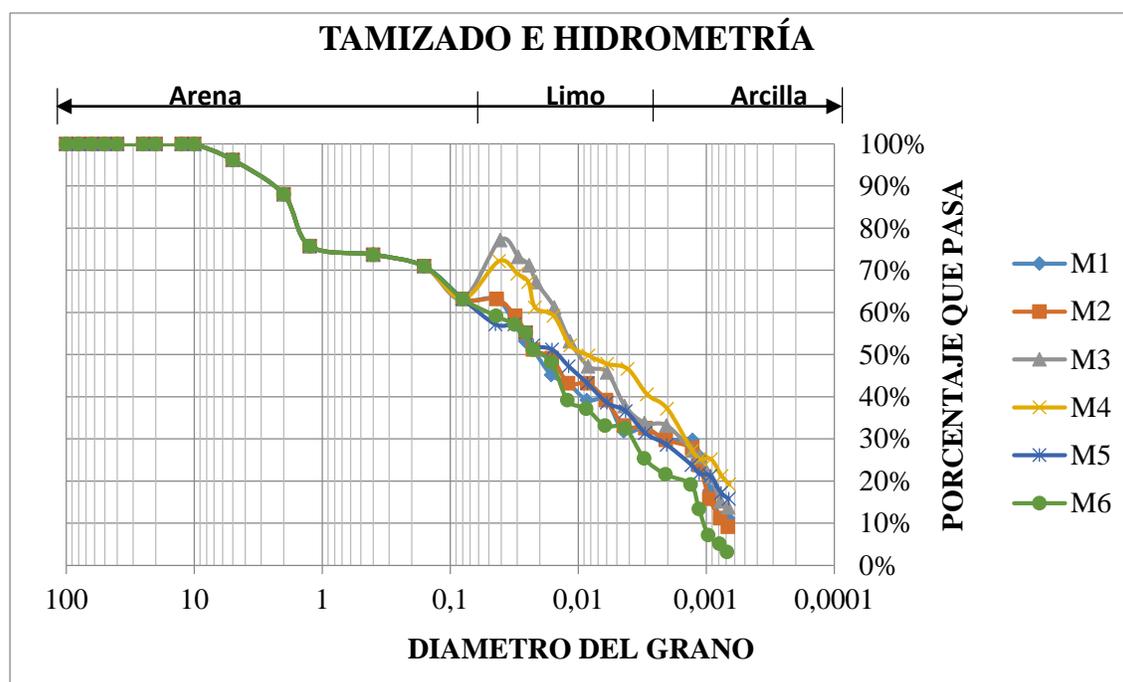


Figura 32. Clasificación del suelo a partir de las gráficas de tamizado e hidrometría.

Fuente: Autor del proyecto

Teniendo en cuenta la anterior Figura 32, procedemos a calcular los porcentajes de arenas, limos y arcillas que son de gran importancia para la caracterización de materias primas a base de cerámicos:

Tabla 39.*Datos Hidrometría por granulometría.*

MUESTRA	% DE ARENAS	% DE LIMOS	% DE ARCILLA
	Tamiz:100mm 0,08mm	Tamiz:0,08 mm – 0,005 mm	Tamiz:0,005mm – 0 mm
#1	36	32	32
#2	36,6	31,6	31,8
#3	36	26	38
#4	37	17	46
#5	37,5	25,8	36,7
#6	37	32	31

Fuente: Autor del proyecto

4.2.5. Índice de Plasticidad. Para determinar el índice de plasticidad del suelo es necesario determinar el límite líquido y el límite plástico de las muestras, y el índice de plasticidad será la diferencia entre estos dos valores. En caso de ser decimal, se aproxima al entero más cercano. En caso de ser cero (0) o menor, la muestra de suelo se asume como “NO PLÁSTICO”. El procedimiento es el siguiente:

Se selecciona una cantidad considerable del material para hacer el secado al ambiente o en un horno que no exceda los 60°C, una vez estando seca la muestra se pasa por el tamiz N° 40 y se escogen de 150gr a 200 gr del material filtrado.

Se adiciona agua al material seleccionado de modo que se obtenga una pasta homogénea, como se muestra en la Figura 33.



Figura 33. Pasta homogénea.

Fuente: Autor del proyecto

Tomar una porción de muestra preparada y depositarla en la cazuela de Casagrande, con la espátula extenderla rápida y cuidadosamente en el recipiente, como lo indica la Figura 34, hasta que forme una superficie aproximadamente horizontal de 1cm de altura en la parte de máxima profundidad.



Figura 34. Muestra en cazuela de Casagrande.

Fuente: Autor del proyecto

Con el ranurador se divide por la mitad la muestra esparcida en la cazuela, de forma constante y rápida (Ver Figura 35).



Figura 35. Corte a la muestra con el ranurador.
Fuente: Elaboración propia.

Girar la manivela del dispositivo hasta que las dos mitades separadas vuelvan a pegarse y registrar el número de golpes necesarios para que esto ocurra. El procedimiento debe hacerse tres veces como mínimo en los que la cantidad de golpes debe estar cerca de los 15, 25 y 35 golpes.

Tomar una porción de la muestra en el lugar que se han unido las dos partes del suelo, (esta muestra se toma con el ancho de la espátula que se observa en la Figura 36) para llevarlos al horno y hallar su humedad (Ver Figura 36).



Figura 36. Muestra tomada en el cierre de la ranura.
Fuente: Autor del proyecto

La humedad se calcula con la siguiente fórmula.

$$w(\%) = \left(\frac{\text{peso recip. más suelo hum.} - \text{peso recip. más suelo seco}}{\text{peso recip. más suelo seco} - \text{peso recip.}} \right) * 100$$



Figura 37. Muestra lista para llevar al horno.

Fuente: Autor del proyecto

Finalmente se grafica en una escala semilogarítmica con el contenido de humedad y el número de golpes necesarios en cada caso. Se traza una línea recta que intente unir los puntos y se determina el valor del límite líquido óptimo (LL), que corresponde a la intersección de 25 golpes con la línea trazada.

Para calcular el límite plástico (LP) se siguen los siguientes pasos.

Se toman 20 g de la mezcla preparada para el ensayo anterior, de los cuales se escogen 2 gramos y se moldean con la mano hasta hacer una esfera.

Se debe poner la esfera sobre un vidrio esmerilado y se aplasta hasta formar un cilindro de 3,2 mm de diámetro, como lo indica la fotografía 9. El tiempo para esta acción es de máximo 2 min.

Si la muestra llega a los 3,2 mm y no se ha agrietado, romper en varios pedazos para formar con ellos una nueva esfera y repetir el paso 2. La muestra debe agrietarse al llegar a los 3,2 mm obligatoriamente.

Cuando se cumplan los requerimientos del paso anterior, se depositan los rollos de la muestra en un recipiente y se llevan al horno para calcular posteriormente el LP con la siguiente expresión.

$$LP(\%) = \left(\frac{\text{peso recip. más suelo hum.} - \text{peso recip. más suelo seco}}{\text{peso recip. más suelo seco} - \text{peso recip.}} \right) * 100$$

El procedimiento se hace dos veces para mayor precisión.



Figura 38. Muestra aplastada.

Fuente: Autor del proyecto

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del laboratorio para cada una de las muestras:

Muestra 1. A continuación la Tabla 40 con los datos del límite líquido (LL).

Tabla 40.

Datos del límite líquido para la muestra 1.

PRUEBA No.	RECIP. + SUELO HÚMEDO	RECIP. + SUELO SECO	PESO RECIPIENTE	No. GOLPES	% HUMEDAD	AGUA (g)
1	38,84	34,49	20,95	30	32,127	4,35
2	34,07	30,38	20,39	25	31,665	3,29
3	31,85	28,37	18,50	15	35,258	3,48

Fuente: Autor del proyecto

De la tabla anterior, se obtiene la siguiente Figura 39:

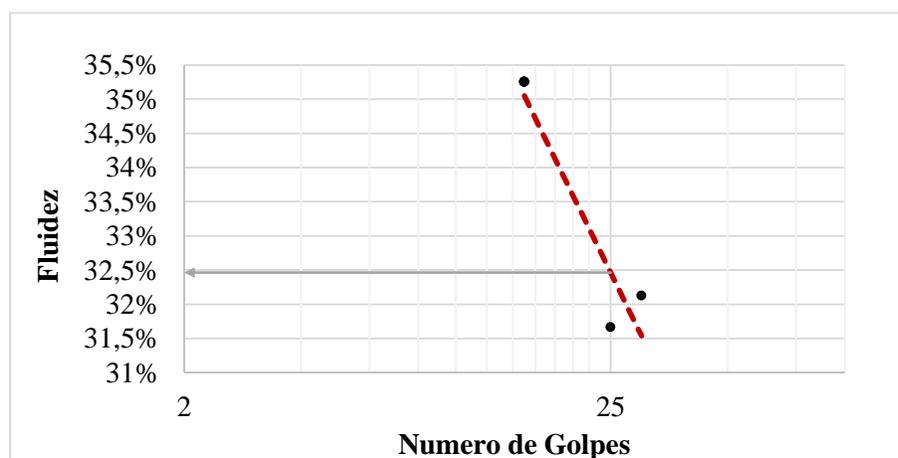


Figura 39. Curva de fluides para la muestra 1.

Fuente: Autor del proyecto

Teniendo en cuenta lo anterior, los datos para calcular el límite plástico son:

Tabla 41.*Datos limite plástico para la muestra 1.*

PRUEBA No.	RECIP. + SUELO HÚMEDO	RECIP. + SUELO SECO	PESO RECIPIENTE	% HUMEDAD	AGUA (g)
1	11,48	11,05	7,43	11,878	0,43
2	15,55	15,18	11,93	11,385	0,37

Fuente: Autor del proyecto

En la siguiente Tabla 42 se muestran los resultados de la muestra 1:

Tabla 42.*Resultados para la muestra 1.*

CALCULO	RESULTADO	UNIDADES
Límite líquido LL	32,462	%
Límite plástico LP	11,632	%
Índice plasticidad IP	20,831	%
Índice de Fluencia	-11,657	

Fuente: Autor del proyecto**Muestra 2.** A continuación la Tabla 43 con los datos del límite líquido (LL).**Tabla 43.***Datos del límite líquido para la muestra 2.*

PRUEBA No.	RECIP. + SUELO HÚMEDO	RECIP. + SUELO SECO	PESO RECIPIENTE	No. GOLPES	% HUMEDAD	AGUA (g)
1	28,347	26,04	19,85	25	37,27	2,307
2	30,040	27,80	18,15	28	23,212	2,240
3	31,050	28,10	18,44	24	30,538	2,950

Fuente: Autor del proyecto

De la tabla de datos se obtiene la siguiente Figura 40:



Figura 40. Curva de fluididez para la muestra 2.

Fuente: Autor del proyecto

Teniendo en cuenta lo anterior, los datos para calcular el límite plástico son:

Tabla 44.

Datos limite plástico para la muestra 2.

PRUEBA No.	RECIP. + SUELO HÚMEDO	RECIP. + SUELO SECO	PESO RECIPIENTE	% HUMEDAD	AGUA (g)
1	14,08	13,63	11,78	24,324	0,45
2	14,06	13,62	1167	22,564	0,44

Fuente: Autor del proyecto

En la siguiente Tabla 45 se muestran los resultados de la muestra 2:

Tabla 45.

Resultados para la muestra 2.

CALCULO	RESULTADO	UNIDADES
Límite líquido LL	31,886	%
Límite plástico LP	23,444	%
Índice plasticidad IP	8,442	%
Índice de Fluencia	-147,255	

Fuente: Autor del proyecto

Muestra 3. A continuación la Tabla 46 con los datos del límite líquido (LL).

Tabla 46.

Datos del límite líquido para la muestra 3.

PRUEBA No.	RECIP. + SUELO HÚMEDO	RECIP. + SUELO SECO	PESO RECIPIENTE	No. GOLPES	% HUMEDAD	AGUA (g)
1	29,30	26,72	8,43	33	30,605	2,58
2	31,08	28,36	10,18	28	26,719	2,72
3	33,01	2921	8,66	23	43,880	3,80

Fuente: Autor del proyecto

De la tabla de datos se obtiene la siguiente Figura 41:

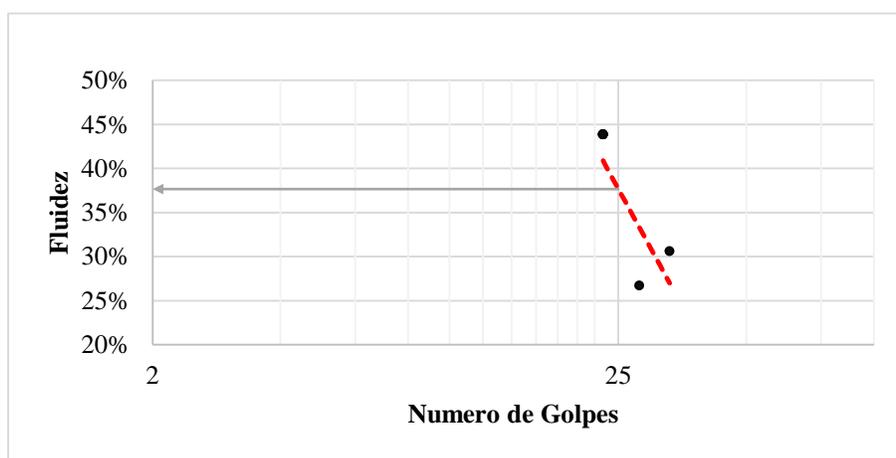


Figura 41. Curva de fluidez para la muestra 3.

Fuente: Autor del proyecto

Los datos para calcular el límite plástico son:

Tabla 47.

Datos limite plástico para la muestra 3.

PRUEBA No.	RECIP. + SUELO HÚMEDO	RECIP. + SUELO SECO	PESO RECIPIENTE	% HUMEDAD	AGUA (g)
1	8,85	8,54	7,81	42,466	0,31
2	10,69	10,28	8,33	21,026	0,41

Fuente: Autor del proyecto

En la siguiente Tabla 48 se muestran los resultados de la muestra 3:

Tabla 48.

Resultados para la muestra 3.

CALCULO	RESULTADO	UNIDADES
Límite líquido LL	37,673	%
Límite plástico LP	31,746	%
Índice plasticidad IP	5,927	%
Índice de Fluencia	-88,448	

Fuente: Autor del proyecto

Muestra 4. A continuación la Tabla 49 con los datos del límite líquido (LL).

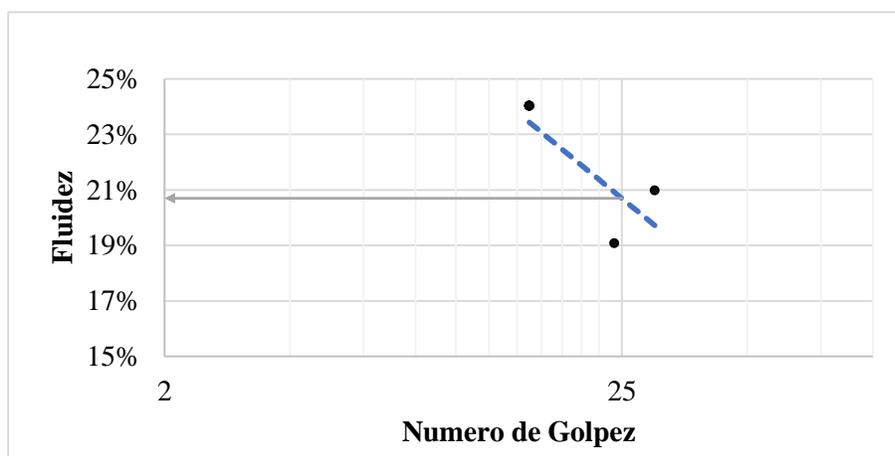
Tabla 49.

Datos del límite líquido para la muestra 4.

PRUEBA No.	RECIP. + SUELO HÚMEDO	RECIP. + SUELO SECO	PESO RECIPIENTE	No. GOLPES	% HUMEDAD	AGUA (g)
1	35,01	32,54	20,76	30	20,968	2,47
2	34,89	32,23	18,28	24	19,068	2,66
3	41,47	37,42	20,56	15	24,021	4,05

Fuente: Autor del proyecto

De la tabla de datos se obtiene la siguiente Figura 42:

**Figura 42.** Curva de fluidez para la muestra 4.

Fuente: Autor del proyecto

Los datos para calcular el límite plástico son:

Tabla 50.*Datos limite plástico para la muestra 4.*

PRUEBA No.	RECIP. + SUELO HÚMEDO	RECIP. + SUELO SECO	PESO RECIPIENTE	% HUMEDAD	AGUA (g)
1	15,27	14,76	10,68	12,50	0,51
2	12,62	12,13	10,15	24,747	0,49

Fuente: Autor del proyecto

En la siguiente Tabla 51 se muestran los resultados de la muestra 4:

Tabla 51. Resultados para la muestra 4.

CALCULO	RESULTADO	UNIDADES
Límite líquido LL	20,693	%
Límite plástico LP	18,624	%
Índice plasticidad IP	2,07	%
Índice de Fluencia	-12,325	

Fuente: Autor del proyecto

Muestra 5. A continuación la Tabla 52 con los datos del límite líquido (LL).

Tabla 52.*Datos del límite líquido para la muestra 5.*

PRUEBA No.	RECIP. + SUELO HÚMEDO	RECIP. + SUELO SECO	PESO RECIPIENTE	No. GOLPES	% HUMEDAD	AGUA (g)
1	35,92	32,52	18,44	25	24,148	3,40
2	37,23	33,77	18,95	28	23,347	3,46
3	39,47	35,91	21,85	15	25,320	3,56

Fuente: Autor del proyecto

De la tabla de datos se obtiene la siguiente Figura 43:

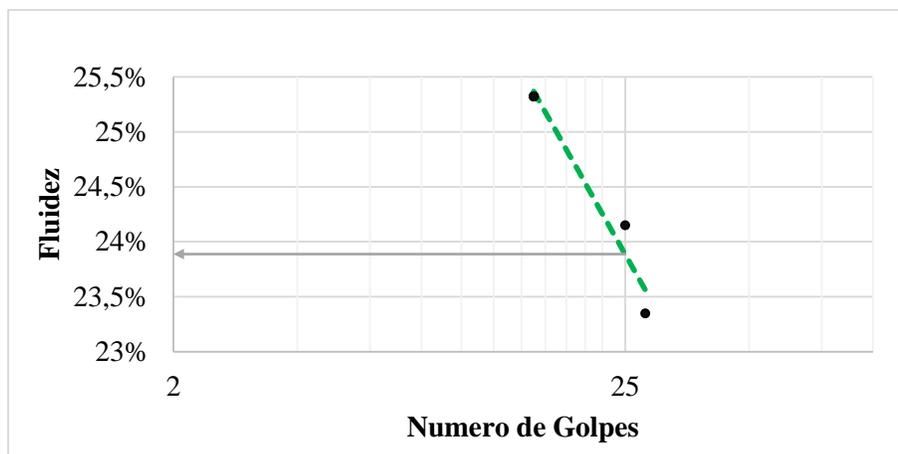


Figura 43. Curva de fluidez para la muestra 5.

Fuente: Autor del proyecto

Los datos para calcular el límite plástico son:

Tabla 53.

Datos del límite plástico para la muestra 5.

PRUEBA No.	RECIP. + SUELO HÚMEDO	RECIP. + SUELO SECO	PESO RECIPIENTE	% HUMEDAD	AGUA (g)
1	9,82	9,25	6,89	24,153	0,57
2	9,68	9,19	6,97	22,072	0,49

Fuente: Autor del proyecto

En la siguiente Tabla 54 se muestran los resultados de la muestra 5:

Tabla 54.

Resultados de la muestra 5.

CALCULO	RESULTADO	UNIDADES
Límite líquido LL	23,888	%
Límite plástico LP	23,112	%
Índice plasticidad IP	0,775	%
Índice de Fluencia	-6,669	

Fuente: Autor del proyecto

Muestra 6. A continuación la Tabla 55 con los datos del límite líquido (LL).

Tabla 55.

Datos del límite líquido para la muestra 6.

PRUEBA No.	RECIP. + SUELO HÚMEDO	RECIP. + SUELO SECO	PESO RECIPIENTE	No. GOLPES	% HUMEDAD	AGUA (g)
1	30,21	27,18	17,99	23	32,971	3,03
2	34,00	30,56	18,73	26	29,079	3,44
3	35,01	30,91	18,40	24	32,774	4,10

Fuente: Autor del proyecto

De la tabla de datos se obtiene la siguiente Figura 44:

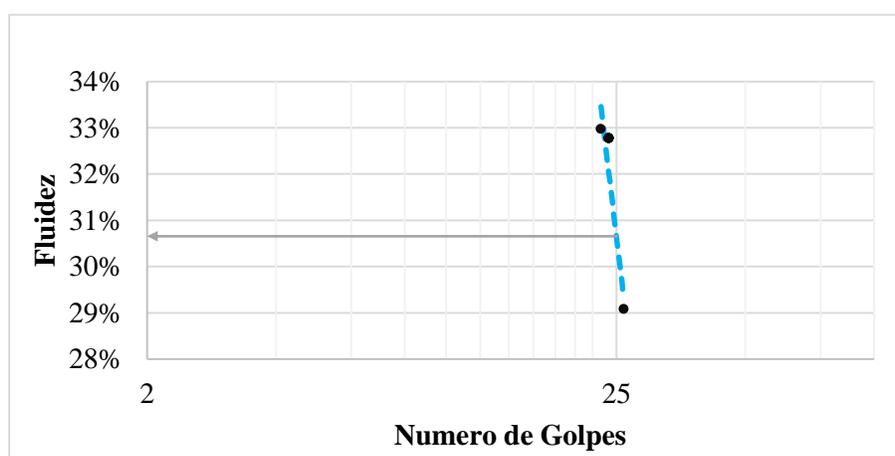


Figura 44. Curva de fluidez para la muestra 6.

Fuente: Autor del proyecto

Los datos para calcular el límite plástico son:

Tabla 56.

Datos del límite plástico para la muestra 6.

PRUEBA No.	RECIP. + SUELO HÚMEDO	RECIP. + SUELO SECO	PESO RECIPIENTE	% HUMEDAD	AGUA (g)
1	10,62	10,10	8,36	29,885	0,52
2	10,49	10,08	8,44	25,000	0,41

Fuente: Autor del proyecto

En la siguiente Tabla 57 se muestran los resultados de la muestra 5:

Tabla 57.

Resultados de la muestra 6.

CALCULO	RESULTADO	UNIDADES
Límite líquido LL	30,656	%
Límite plástico LP	27,443	%
Índice plasticidad IP	3,213	%
Índice de Fluencia	-77,380	

Fuente: Autor del proyecto

A continuación, en la Figura 45 se muestra la representación gráfica del Índice de Plasticidad (LP) y Limite Liquido (LL), teniendo en cuenta los índices de Atterberg. Este diagrama es utilizado para determinar el porcentaje de agua que debe ser aplicada a la pasta cerámica para su conformación.

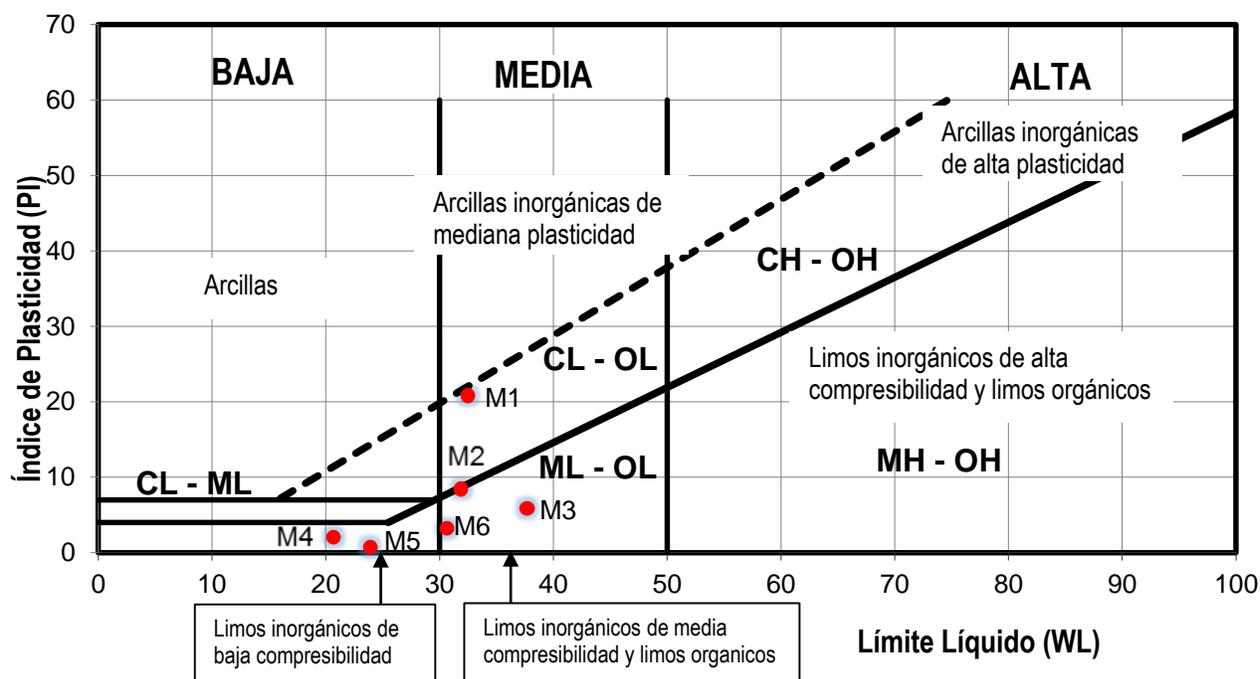


Figura 45. Plasticidad en el diagrama de casa Grande para todas las muestras.

Fuente: Autor del proyecto

De lo anterior podemos decir lo siguiente:

La muestra #1 (M1) se encuentra en la zona CL - OL

La muestra #2 (M2) se encuentra en los límites de las zonas CL - OL y ML - OL

Las muestras #3 (M3) y #6 (M6) se encuentran en las zonas ML – OL

Las muestras #4 (M4) y #5 (M5) se encuentran en las zonas CL – ML

Siendo:

CL=Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.

OL=Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.

ML=Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosas, o limos arcillosos con ligera plasticidad.

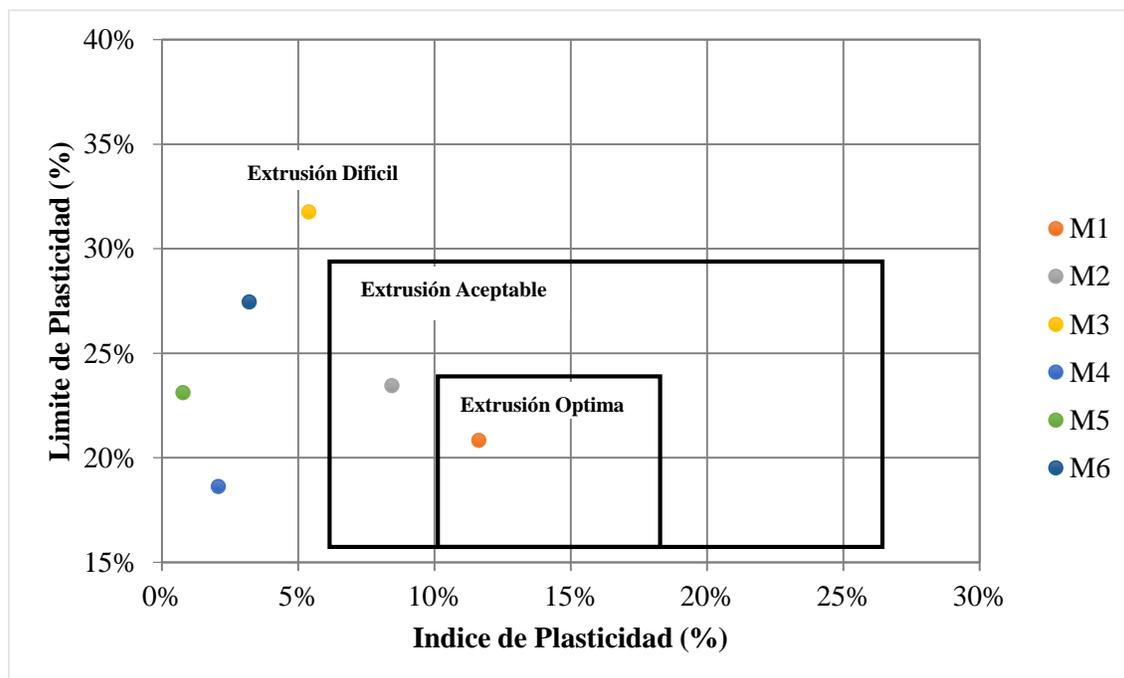


Figura 46. Diagrama de predicción de la extrusión y/o moldeo a través de los Límites de Atterberg.

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 58.

Resultados generales de las pruebas.

Tamiz (mm)	Granulometr	Granulometr	Granulometr	Granulometr	Granulometr	Granulometr
	ía 1	ía 2	ía 3	ía 4	ía 5	ía 6
	Pasa (%):					
100	100	100	100	100	100	100
80	100	100	100	100	100	100
63	100	100	100	100	100	100
50	100	100	100	100	100	100
40	100	100	100	100	100	100
25	100	100	100	100	100	100
20	100	100	100	100	100	100
12,5	100	100	100	100	100	100
10	100	100	100	100	100	100
5	96,22	81,73	98,66	98,19	98,56	97,96
2	88,05	78,48	92	85,8	86,83	85,31
1,25	75,79	70,54	76,18	76,35	76,42	79,66
0,4	75,75	80,92	69,04	76,35	73,12	76,29
0,160	70,97	83,17	78,88	69,49	68,96	66,77
0,080	63,26	67,19	67,38	63,85	66,13	64,03

ANALISIS GRANULOMETRICO

LL (%)	32,462	31,886	37,673	20,693	23,888	30,656
LP (%)	11,632	23,444	31,746	18,624	23,112	27,443
IP (%)	20,83	8,44	5,93	2,07	0,78	3,21
Humedad natural (%)	22,79	23,41	27,00	21,29	26,20	24,32
Densidad seca (gr/cm ³)	1,81	1,84	1,80	1,81	1,79	1,80
H/LL	0,70	0,73	0,72	1,03	1,10	0,79
H/LP	1,96	1,00	0,85	1,14	1,13	0,89
Colapsabilidad	No colápsale 1,41	No colápsale 1,42	No colápsale 1,31	No colápsale 1,69	No colápsale 1,60	No colápsale 1,45
Índice de consistencia Ic (C.R.)=	0,464	1,004	1,801	-0,289	-2,979	1,972
Índice de liquidez I _L =	0,536	-0,004	-0,801	1,289	3,979	-0,972
Índice de compresión Cc=	0,202	0,197	0,249	0,096	0,125	0,186
Contracción lineal CL (%)=	9,779	3,963	2,783	0,971	0,364	1,508

Fuente: Autor del proyecto

4.2.6. Resistencia a la compresión. Este análisis consiste en someter una muestra de material que no tenga irregularidades en lo que tiene que ver con poros, grietas, fisuras, etc. mediante una carga aplicada a compresión uniformemente sobre la superficie de una de las caras del bloque (tal y como se usan en el muro o en el enladrillado hasta alcanzar su falla (Ver Apéndice 4).

En este ensayo se toman los datos de la resistencia última de cada bloque y dividiéndola entre el área de la superficie en compresión se obtiene el valor del esfuerzo último, siendo el punto donde el bloque deja de soportar más carga y se presenta la falla, resulta de la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Donde:

σ = Esfuerzo último

F = Carga

A = Área trnasversal

Con los siguientes datos morfológicos obtenidos de los bloques se realizará el ensayo a compresión con 5 especímenes previamente preparados.

Tabla 59.*Compresión Bloques H-10, Ocaña.*

N	MASA SECADA EN EL HORNO	ANCHO (mm)	ALTO (mm)	LARGO (mm)	ESFUERZO ULTIMO (KgF/cm ²)	TABIQUE (mm)		ESPESOR DE LOS LADOS (mm)			
						VERTICAL	HORIZONTAL	1	2	3	4
1	4919	99,20	192,28	302,81	16,12	8,38	11,73	13,96	13,91	14,05	16,73
2	4915	98,77	194,62	301,73	16	8,23	9,48	12,53	13,50	13,53	14,11
3	4904	99,07	192,62	301,47	13,46	8,55	8,97	12,96	13,52	13,25	15,66
4	4830	96,42	193,27	297,99	10,43	8,77	10,84	12,51	13,55	13,31	13,18
5	4875	95,76	194,26	297,90	13,11	8,00	9,39	14,05	13,05	13,18	13,18

Fuente: Autor del proyecto

El valor promedio de la carga aplicada a los bloques H-10 de Ocaña que fueron sometidos al ensayo es de:

$$14,423 \frac{\text{KgF}}{\text{cm}^2}$$

Estos datos fueron trabajados con el software Statgraphics el cual según su análisis arroja la siguiente Figura 47, en la cual se puede observar como ninguno de los bloques alcanza el Límite Superior (LS) que es el valor mínimo requerido al cual debe estar un elemento de mampostería con perforación horizontal según la norma NTC 4205.

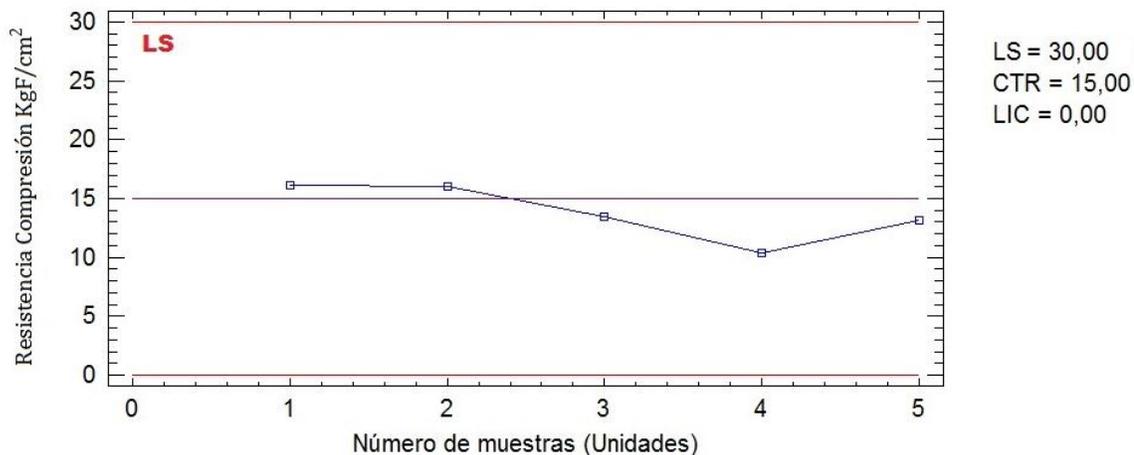


Figura 47. Resistencia mecánica a la compresión vs número de muestras (Bloques H-10 Ocaña).
Fuente: Autor del proyecto

En la siguiente Figura 48, se muestra la representación gráfica de la fuerza respecto al tiempo de la prueba:

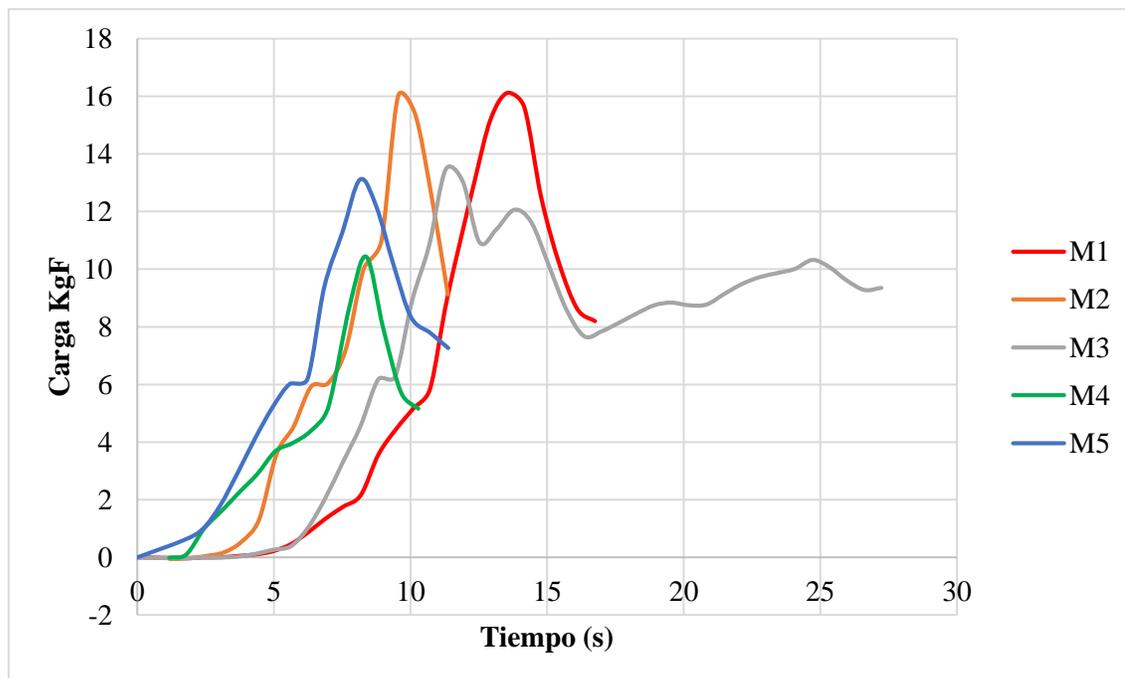


Figura 48. Grafica de Carga vs Tiempo.
Fuente: Autor del proyecto

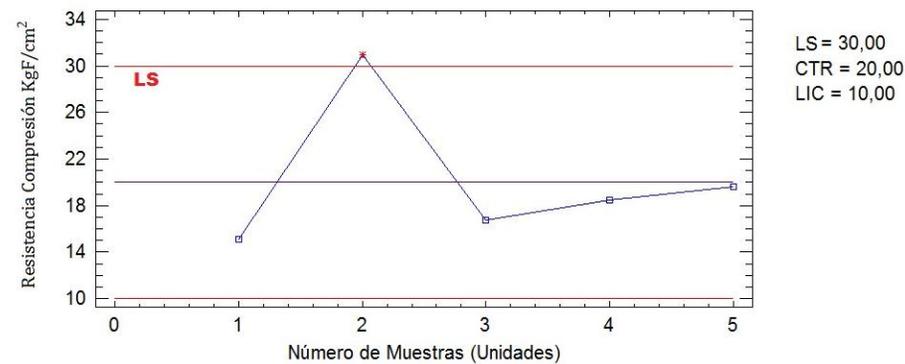
Tabla 60.*Compresión Bloques H-10, Cúcuta.*

N	MASA SECADA EN EL HORNO	ANCHO (mm)	ALTO (mm)	LARGO (mm)	ESFUERZO ULTIMO (KgF/cm ²)	TABIQUE (mm)		ESPESOR DE LOS LADOS (mm)			
						VERTICAL	HORIZONTAL	1	2	3	4
1	4521	100,87	201,3	304,17	15,08	7,46	8,50	10,87	9,90	11,44	10,63
2	4476	100,86	201,74	301,87	30,96	7,95	9,40	10,58	9,76	10,08	9,72
3	4449	100,54	201,92	302,91	16,74	7,93	7,58	10,07	9,54	10,21	9,15
4	4483	100,76	202,01	303,45	18,49	8,83	8,81	9,26	10,19	10,28	9,66
5	4473	100,48	201,26	301,76	19,58	7,88	8,45	9,98	9,87	10,19	9,47

Fuente: Autor del proyecto

El valor promedio de la carga aplicada a los bloques H-10 de Cúcuta que fueron sometidos al ensayo es de:

$$20,17 \frac{\text{KgF}}{\text{cm}^2}$$

**Figura 49.** Resistencia mecánica a la compresión vs número de muestras (Bloques H-10 Cúcuta).**Fuente:** Autor del proyecto

La norma NTC 4205 establece que la resistencia a la compresión mínima para el promedio de las 5 muestras debe ser al límite superior indicado en la gráfica Limite Superior (LS) con valor de $30 \frac{\text{KgF}}{\text{cm}^2}$ para mampostería de perforación horizontal.

En la figura 50, se observa claramente que solo un bloque cumple con lo indicado en la norma, es válido concluir que estos bloques son poco resistentes y es precisamente por no contar con el valor mínimo requerido. Además, describe el resultado arrojado por la maquina universal, en donde se observa la carga en función del tiempo para cada uno de los bloques de Cúcuta.

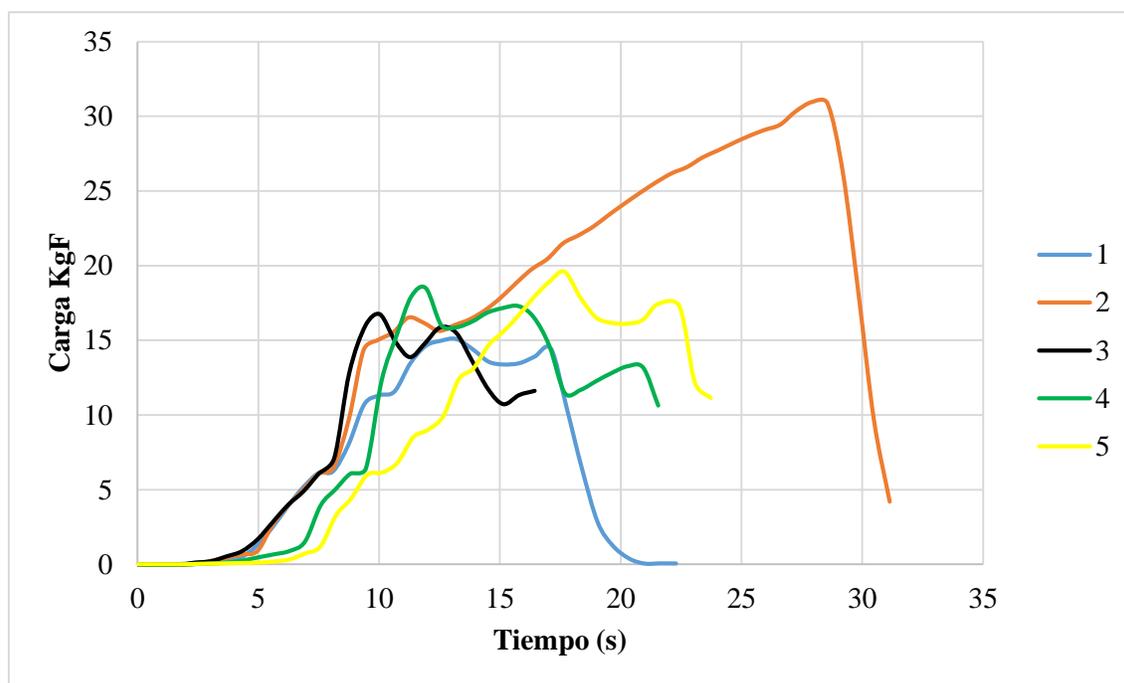


Figura 50. Gráfica de Carga vs Tiempo.

Fuente: Autor del proyecto

4.2.7. Resistencia mecánica a la flexión (Módulo de rotura). Este análisis permite conocer si los productos fabricados cumplen con los estándares mínimos establecidos en las normas nacionales e internacionales vigentes para productos de mampostería para la construcción y es usado como control de calidad en las piezas fabricadas. Se llevó a cabo teniendo en cuenta lo establecido por la norma NTC 4017 (Ver Apéndice 5).

Los especímenes a ensayar deben ser 5 completos, secos y sin defectos apreciables.

Colocar el bloque sobre los apoyos, estos son barras solidas de acero.

Hacer descender la pieza superior hasta que entre en contacto con la superficie del centro del bloque que es donde estará concentrada la fuerza

La carga se aplica a la parte superior del bloque como se indica en la figura 51 mediante una placa de apoyo también de acero.

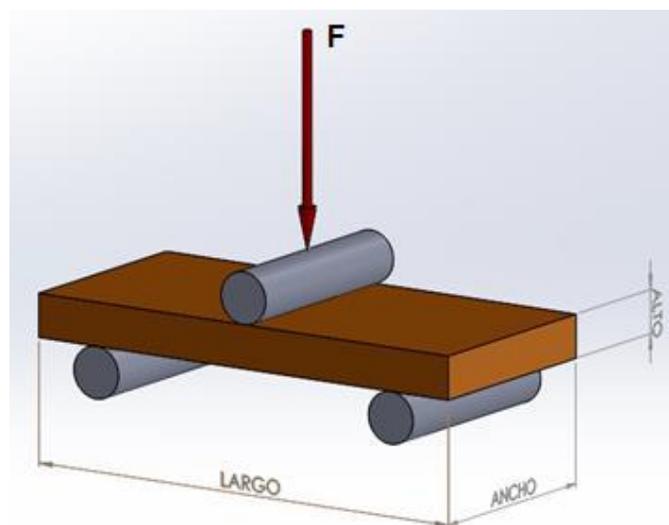


Figura 51. Representación de la carga aplicada a flexión.

Fuente: Autor del proyecto

$$MR = \frac{3w\left(\frac{L}{2} - 2\right)}{bd^2}$$

Donde:

MR= módulo de rotura de la muestra en el plano de falla, en Pa.

W= carga máxima indicada por la máquina de prueba, en N

L= distancia entre los soportes (medida de centro a centro) en mm.

b = ancho neto (distancia de cara a cara) de la muestra en el plano de falla, en mm.

d = profundidad, (distancia desde la cara superior hasta el plano de apoyo) de la muestra en el plano de falla, en mm.

X = distancia promedio del plano de falla al centro de la pieza, medida en la dirección de la línea central de la superficie sometida a tensión, en mm.

En la siguiente Tabla 61 se muestran los resultados obtenidos de la maquina universal para los bloques H-10 de Cúcuta:

Tabla 61.

Datos morfológicos para ensayo resistencia a Flexión Bloques H-10 Cúcuta.

N	MASA SECA EN EL HORNO	ÁREA TRANS V. EFECTIVA	ANC HO (mm)	CARGA MÁXIMA	AL TO (mm)	LARGO (mm)	TABIQUE (mm)		ESPESOR DE LOS LADOS (mm)			
							VERTICAL	HORIZONTAL	1	2	3	4
1	4500	8887	100,71	6,560425	200,93	304,56	8,27	8,27	10,36	10,93	9,85	10,01
2	4515	8881	101,13	6,9920319	200,82	305,82	8,18	8,77	9,28	10,01	10,35	9,80
3	4483	8953	100,48	8,9243028	201,71	301,22	8,37	9,13	10,02	10,00	10,34	9,45
4	4502	9039	100,73	4,9335989	201,57	304,13	8,59	9,45	10,61	10,01	10,76	10,99
5	4551	8927	100,15	8,9907039	201,40	302,17	8,42	8,97	10,14	10,20	10,10	10,07

Fuente: Autor del proyecto

Teniendo en cuenta los datos de la Tabla 61, se obtuvo la siguiente Figura 52 para observar el comportamiento de las cargas sobre los bloques en relación al tiempo.

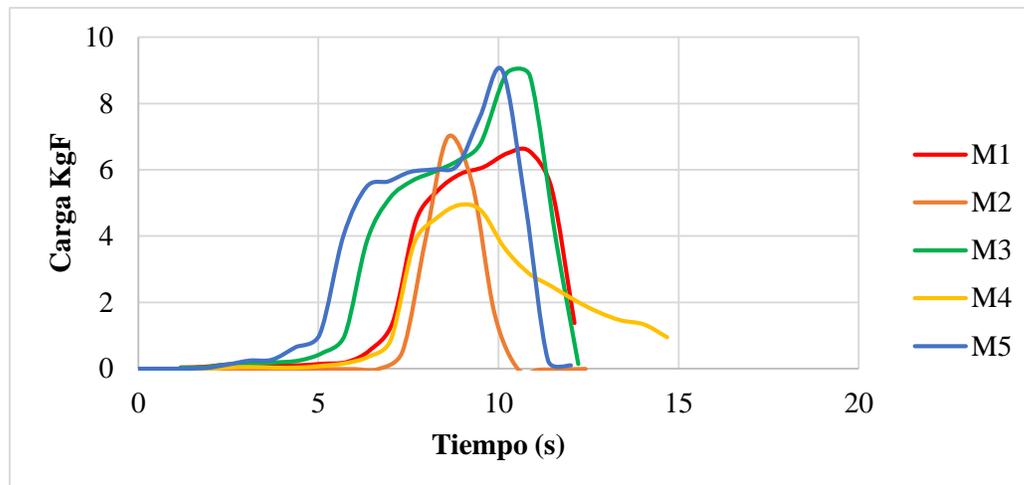


Figura 52. Grafica de Carga vs Tiempo.

Fuente: Autor del proyecto

De igual forma se realizó el mismo procedimiento para los ensayos de resistencia a la flexión, pero esta vez a los bloques H-10 de Ocaña:

Tabla 62.

Datos morfológicos para ensayo resistencia a Flexión Bloques H-10 Ocaña.

N	MASA SECA EN EL HORNO	ÁREA TRANS V. EFECTIVA	ANCHO (mm)	CARGA MÁXIMA	ALTO (mm)	LARGO (mm)	TABIQUE (mm)		ESPESOR DE LOS LADOS (mm)			
							VERTICAL	HORIZONTAL	1	2	3	4
1	4500	8887	100,71	6,560425	200,93	304,56	8,27	8,27	10,36	10,93	9,85	10,01
2	4515	8881	101,13	6,9920319	200,82	305,82	8,18	8,77	9,28	10,01	10,35	9,80
3	4483	8953	100,48	8,9243028	201,71	301,22	8,37	9,13	10,02	10,00	10,34	9,45
4	4502	9039	100,73	4,9335989	201,57	304,13	8,59	9,45	10,61	10,01	10,76	10,99
5	4551	8927	100,15	8,9907039	201,40	302,17	8,42	8,97	10,14	10,20	10,10	10,07

Fuente: Autor del proyecto

Teniendo en cuenta los datos de la Tabla 62, se obtuvo la siguiente Figura 53 para observar el comportamiento de las cargas sobre los bloques en relación al tiempo.

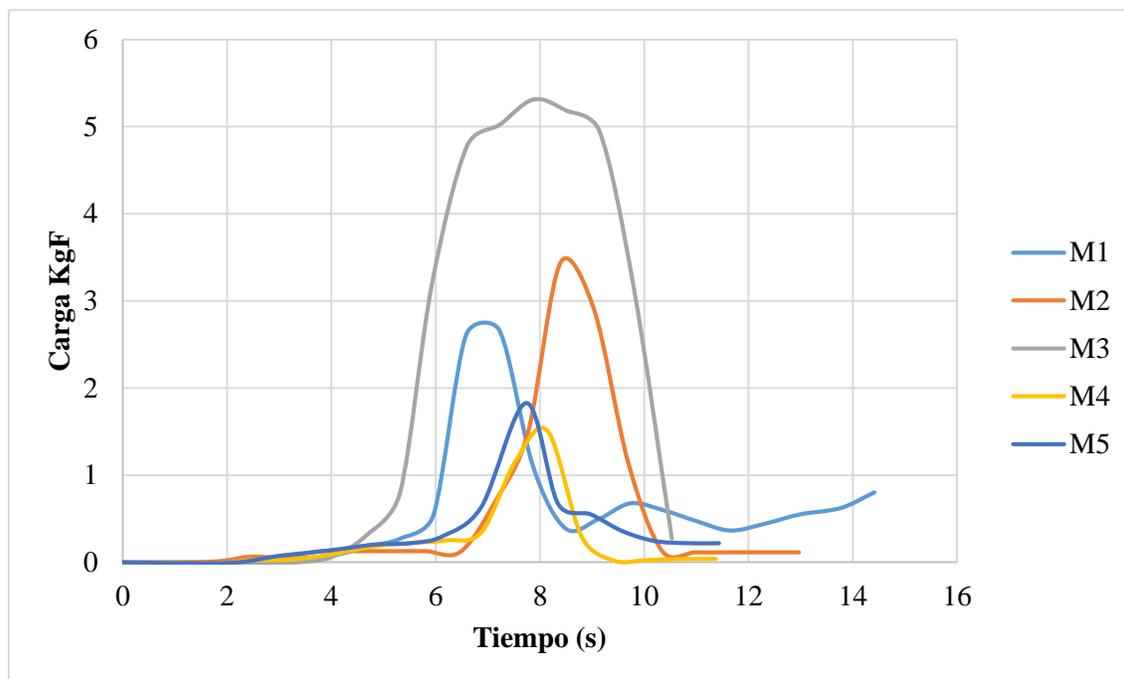


Figura 53. Grafica de Carga vs Tiempo.

Fuente: Autor del proyecto

Teniendo en cuenta las Figuras 52 y 53, se puede concluir que los bloques poseen alta resistencia a la flexión, pero como la norma no establece valores permisibles para considerar este parámetro podemos argumentar que al igual que la prueba de compresión, solo un bloque de la empresa de Cúcuta cumple con las condiciones especificadas por la norma NTC 4205.

Teniendo en cuenta lo anterior, la composición de la materia prima dentro del proceso de la fabricación de bloques cerámicos es de suma importancia. Por lo cual el proceso de la cocción del bloque se hace más complicado por lo que su composición química no es constante, debido a que

los espacios intersticiales entre las partículas son mayores por lo que posee grandes porcentajes de arena, por ende, los bloques tienen mayor absorción de agua.

Lo anterior se demuestra en los ensayos de las especificaciones de la norma (Payares Perez, 2014).

4.2.8. Caracterización química y mineralógica. Esta caracterización se realizó mediante fluorescencia de rayos X (FRX) y difracción de rayos X (DRX). Los análisis se llevaron a cabo en los laboratorios GmasLab Consultores de Bogotá (Swuisscontact, 2011) (Rozo Rincón, Sánchez Molina, & Gelves Díaz, 2015) (Selmani et al., 2015) (Swuisscontact, 2011) (Rozo Rincón et al., 2015).

Para la realización de estos análisis se usaron 20 gramos de las mezclas seleccionadas.

Fluorescencia de Rayos X (FRX). Es un ensayo no destructivo, en el que se analiza un espectro de rayos X emitido por la muestra, conocido como la fluorescencia (Roquet María, 2012) (Rozo Rincón et al., 2015) (Perales López & Barrera Vargas, 2013) (Ramírez, Andrade, José, Juárez, & Carmen, 2002).

La fluorescencia de rayos X, también llamada espectrografía de rayos X, es un método físico para el análisis de los materiales arcillosos, su objetivo final es el determinar cualitativa y cuantitativa de la composición química de una muestra. La importancia del conocimiento de la composición química y materiales arcillosos radica en principio como método complementario en identificación de minerales arcillosos.

Procedimiento de preparación de las muestras. La preparación de las muestras para análisis consistió en la trituración según la norma ASTM C323-56, realizando el tamizado del material por malla 400, hasta obtener un tamaño de partícula de 38 μm , (si el tamaño de partícula de la muestra es mayor a 63 micras); Seis gramos de la muestra original fueron llevadas a una prensa hidráulica a 15 toneladas durante 1 minuto, con lo que se obtiene una pastilla de 30 mm de diámetro para analizar en el equipo de fluorescencia marca Bruker S4 Explorer con Detector Pro4 y Tubo de rayos X Rh a un voltaje de 40KV y 25mA.

Luego se sometió al proceso de calcinación, el cual consiste en llevar la muestra a 1000°C, y mantenerla a esa temperatura durante 1 hora, para evaluar el porcentaje en peso perdido durante el tratamiento luego de pesar la muestra antes y después, a 105°C. Estas pérdidas por calcinación (L.O.I. por sus siglas en inglés *Loss Of Ignition*) representan la cantidad de componentes volátiles (H_2O , CO_2 , F, Cl y S) y materia orgánica no detectados con el equipo de fluorescencia. Los resultados de este análisis se pueden observar en la siguiente tabla 64.

Tabla 63.

Resultado del análisis de Fluorescencia de Rayos X (FRX).

NOMBRE	ELEMENTO	MATERIA PRIMA
Oxido de Aluminio	Al_2O_3	20,670
Oxido de Calcio	CaO	1,945
Óxido de Hierro	Fe_2O_3	6,567
Oxido de Potasio	K_2O	2,89
Oxido de Magnesio	MgO	1,52
Oxido de Sodio	Na_2O	0,626
Oxido de Silicio	SiO_2	54,743
Trióxido de azufre	SO_3	0,07
Carbonato de calcio	CaCO_3	7,89
Perdidas por fuegoss	LOI	4.01

Fuente: Autor del proyecto

Los análisis de fluorescencia fueron realizados en Cemex, con los cuales podemos interpretar las siguientes características por cada elemento químico:

- Sílice (SiO_2) de 54,743 % para las dos mezclas respectivamente, lo que causa un rápido proceso de secado, en cocción un descenso en la contracción; la alúmina también se encuentra en altos porcentajes para las dos mezclas. Teniendo en cuenta que características químicas recomendadas para la construcción son de 50 a 60 %.
- Alúmina (Al_2O_3) de 20,670 % para las dos mezclas respectivamente, confiriéndole una resistencia a altas temperaturas y una disminución de roturas en cocción. Teniendo en cuenta que características químicas recomendadas para la construcción es 20 a 30%.
- Arcillas montmorilloníticas debido a que su composición química es: SiO_2 : 48 - 56%, Al_2O_3 : 11 - 22%, MgO : 0.3 - 0.8%.
- Óxido de hierro (Fe_2O_3) de 6,567 % para las dos mezclas respectivamente, son normales por ser menores al 10%. Este óxido, le conferirá un color rojo después de la quema (Vieira, Sánchez, & Monteiro, 2008), Debido a su porcentaje posiblemente no aparezca el efecto de corazón negro.
- Los bajos contenidos de óxidos alcalinos (sodio y potasio) y de óxidos alcalinotérreos (magnesio y calcio), hace posible que la arcilla genere la fase vítrea a temperaturas relativamente altas (Mayor a 900°C), confiriéndole propiedades de semirefractariedad.

La presencia de un alto contenido de óxido de potasio (K_2O) de 2,89 %, por encima de los demás óxidos alcalinos y alcalinotérreos, lo clasifica como un material illítico, las demás elementos se encuentran en bajas proporciones que no afectaran la estructura del producto final (Amado et al., 2011)(Leonardo Cely Illera, 2012).

El análisis químico de FRX realizado a la materia prima utilizada para la mezcla de la pasta se indica en las tablas 62. Teniendo en cuenta la bibliografía, las arcillas aptas para la fabricación de ladrillo cerámico deben contener SiO_2 entre el 64,1-83,1%, Al_2O_3 entre el 21,6-27,1% y Fe_2O_3 entre 3,0-6,1 según [3]. Para los resultados obtenidos estos valores se encuentran entre 54,73-56,52% de SiO_2 , Al_2O_3 entre el 20,56-20,67% y Fe_2O_3 entre 6,56-6,61%, por lo que los valores se encuentran muy similares.

Por otra parte, el contenido de Oxido de potasio (K_2O) de la muestra alcanza un valor de 2,89%, hecho que sugiere la existencia de micáceos en proporciones relativamente elevadas, aunque la existencia de otros minerales en capas no puede ser descartada.

Difracción de Rayos X (DRX). La difracción de rayos en una muestra permite abordar la identificación de fases cristalinas tanto arcillosas como no arcillosas.

Debido a que todos los sólidos cristalinos poseen un difractograma característico, su interpretación tanto en su aspecto cualitativo como cuantitativo, puede arrojar conclusiones acerca de su polimorfismo, transiciones de fase, soluciones sólidas, medida del tamaño de partícula y determinación de diagramas de fase (Roquet María, 2012)(Środon, 2006)(Rozo Rincón, Sánchez Molina, & Gelves Díaz, 2014)(Duitama et al., 2004)(Zeballos-velásquez, Melero, Trujillo, Mejía, & Ceroni, 2014).

La técnica de DRX realiza las caracterizaciones estructurales e identificaciones de fases cristalinas (Illera, Illera, & Contreras, 2015)(Peña Rodríguez & Ortega Triana, 2014), también

identifica esencialmente a los minerales cristalinos presentes en una muestra, dado que los minerales arcillosos corresponden a este tipo.

En su mayoría las mezclas de arcillas presentan una composición por ejemplo: 50% de caolinita + 30% de cuarzo + 20% de feldespato potásico (Rendon Ríos, 2009).

Procedimiento de preparación de las muestras. La preparación de las muestras para llevar a cabo el proceso de DRX consiste de un montaje en polvo para cuantificación de la mineralogía principal.

Previo a la preparación del montaje en polvo, se cuarteó la muestra y por último se pulverizó hasta obtener un tamaño de partícula menor a 63 micras.

Para la selección de la porción utilizada en el DRX, se cuarteó la muestra hasta obtener un peso de aproximadamente 2 gramos.

Montaje de agregados orientados. Esta preparación permite que las partículas con tamaño arcilla (diámetro entre 0,98 y 3,9 μm) se orienten, haciendo posible a la vez que los rayos X se difracten a lo largo del eje z de los minerales.

Este fenómeno da información sobre la distancia entre las capas que componen los minerales de la arcilla.

Luego de la preparación del montaje de agregados orientados, los patrones obtenidos en la difracción del montaje en polvo son estudiados con el fin de identificar si la muestra presenta

óxidos y/o materia orgánica, debido a que estos compuestos afectan la identificación de los minerales de la arcilla.

Las muestras analizadas para este análisis no contienen óxidos ni materia orgánica, por lo que procedimientos adicionales para retirar estos compuestos no fueron requeridos.

La preparación de agregados orientados consistió en tres tratamientos: (1) deshidratación sobre platina de vidrio, (2) solvatación con etilenglicol y (3) calcinación.

Antes de los tratamientos, las muestras fueron trituradas utilizando un mortero de ágata hasta que las partículas alcanzaron diámetros de aproximadamente 5 milímetros.

Los equipos utilizados para la realización de este análisis fueron:

Un Difractómetro Bruker axs D4 Endeavor - Serie I con detector LYNXEYE, Tubo de rayos-X Cu 1.9Kw (K alpha $\lambda = 1,5406$) con Filtro de Níquel a 40KV 40mA.

Admite muestras en polvo: 2θ : 5-70° (montaje polvo), 5-35° (agregados orientados) con un tamaño de paso: 0,014. La velocidad de barrido: 0,4 segundos por paso para los montajes de agregados orientados (Bragg, 1913).

Disgregación y deshidratación sobre platina de vidrio. Con el fin de determinar qué tratamiento debe aplicarse para separar los minerales arcillosos, las rocas pueden ser clasificadas dentro de uno de los siguientes cuatro grupos: rocas clásticas, calizas, rocas que contienen sulfatos y material no consolidado; las muestras tratadas en este análisis corresponden a sedimentos no consolidados.

El tratamiento para la separación de minerales arcillosos de este tipo de material consiste en: Separar 10 gramos, mezclarlos con 200 mililitros de agua destilada y agitar. Luego, irradiar la muestra con ultrasonido cerca de 1 minuto y dejarla reposar durante 1 minuto y decantar la fracción fina a un envase para centrifugar.

Por último, los primeros centímetros de suspensión fueron tomados con una pipeta y depositados sobre una platina de vidrio. Esta preparación se dejó secar a temperatura ambiente para luego ser examinada con el difractómetro que presenta el patrón de difracción denominado “orientado”.

Solvatación con etilenglicol. Posterior a la deshidratación sobre platina de vidrio, el agregado se satura con etilenglicol en desecadores durante 8 horas a 60°C. Este solvente se introduce en las capas de los minerales de la arcilla incrementando, para algunos tipos de arcillas es el espacio entre capas. El agregado es difractado de nuevo para obtener el patrón denominado “glicolado”.

Calcinación. Luego de la solvatación con etilenglicol, el agregado se calcina a 550°C durante 4 horas con el fin de colapsar las capas expandibles. Este procedimiento permite el reconocimiento de algunas fases arcillosas luego de difractado el agregado calcinado con el que se obtiene el patrón denominado “calcinado”.

Análisis de minerales de la arcilla. Con este montaje se identificaron las fases presentes en los especímenes seleccionados de las muestras antes de cocción, se realizaron mediante la comparación de los perfiles observados con los perfiles de difracción reportados en la base de datos PDF-2 del International

Centre for Diffraction Data (ICDD), además del análisis cuantitativo sin determinación de amorfo, de lo que se obtuvieron los siguientes resultados para las mezclas m7 y m8 (tabla 42):

A continuación, se presenta el reporte por parte del laboratorio Gmas Consultores, con la metodología y resultados del análisis mineralógico y elemental por difracción de rayos X (DRX) y fluorescencia de rayos X (FRX) para las muestras suministradas por el autor de la tesis.

Se presentan los difractogramas obtenidos al analizar los montajes de agregados orientados. En estos, se observa la abscisa “Counts” que corresponde a las intensidades de cada pico difractado, y la ordenada que muestra el ángulo 2 theta (2θ) de acuerdo a la ley de Bragg (Bragg, 1913):

$$n\lambda = 2d \sin$$

Donde:

n es un entero positivo.

λ es la longitud de onda de la onda incidente (LW) d es la distancia interplanar

θ es el ángulo de difracción

Bragg demostró que existe una relación entre la distancia interplanar “ d ” en la estructura cristalina de un mineral, o minerales, y el seno del ángulo “ θ ”. La intensidad del o altura del pico en el eje y depende de la estructura cristalina y la cantidad de cada mineral presente en la muestra.

Análisis de minerales de la arcilla. Con este montaje se identifican los minerales de la arcilla presentes en la muestra, así como la presencia de interestratificados. Sin embargo, en los

patrones de difracción orientado, glicolado y calcinado pueden presentarse también minerales que no pertenecen al grupo de la arcilla.

En la siguiente Figura 54, se muestra el difractograma de los minerales con partículas tamaño arcilla. Patrones Orientado, Glicolado y Calcinado. Arcilla expansiva: montmorillonita, nontronita o beidellita.

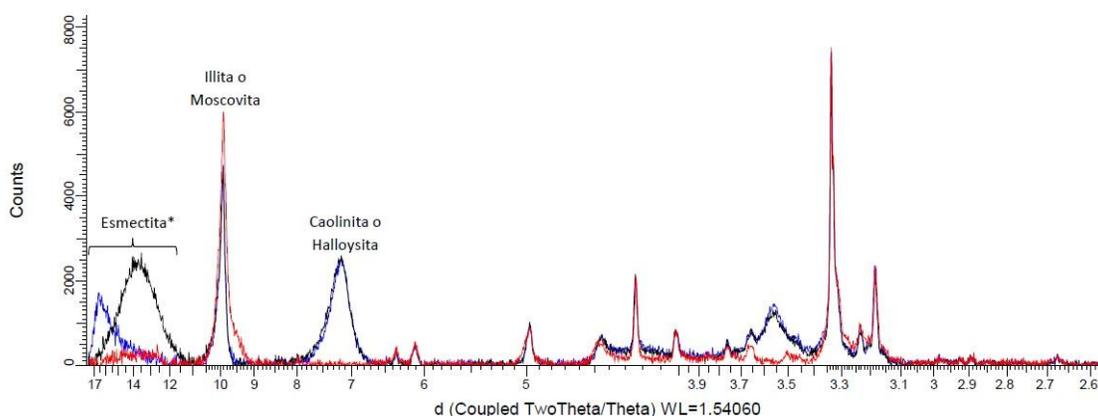


Figura 54. Resultado del análisis de Difracción de Rayos X (DRX).

Nota: Minerales con partículas tamaño arcilla. Patrones Orientado, Glicolado y Calcinado. **Fuente:** Autor del proyecto

En general a las arcillas que se utilizan en construcción se las denomina arcillas cerámicas o arcillas comunes; las cuales están compuestas por dos o más minerales de la arcilla, generalmente illita, caolinita y esmectita, con importantes cantidades de otros minerales que no son filosilicatos (carbonatos, cuarzo, etc.) y generalmente se utilizan para la fabricación de materiales de construcción y agregados (Macías López, 2006).

Las muestras presentan una composición diversa, de las cuales se aprecian ciertas tendencias. Algunas arcillas encuentran su principal campo de aplicación en el sector de los

absorbentes debido a que pueden retener agua u otras moléculas en el espacio interlaminar (esmectitas) o en los canales estructurales (sepiolita y paligorskita).

La hidratación y deshidratación del espacio interlaminar son propiedades características de las esmectitas, y cuya importancia es crucial en los diferentes usos industriales. Por lo anterior, se consideran que las esmectitas en forma de montmorillonita absorben gran cantidad de agua entre sus espacios interlaminares que son su principal característica (Amorocho Parra, 2004).

En cuanto a los minerales arcillosos, se observa que la mayoría de las muestras está constituida por la illita en una importante proporción (generalmente es el segundo mineral en importancia luego del cuarzo).

Los análisis obtenidos por DRX para una de las muestras seleccionadas demuestran que la composición mineralógica estaba constituida por Esmectita (38,1–40,9%), Montmorillonita (1,5–2,6%), moscovita (18,4–19,4%) y caolinita (16,1–21,4%). Estos resultados, en conjunto con los análisis experimentales, permiten concluir que la empresa utiliza sedimentos naturales que pueden ser considerados como arcillas de buena a mediana calidad plástica para preparar sus productos de mampostería para la construcción.

El contenido de Óxido de Hierro Fe_2O_3 parece indicar la presencia de óxidos de hierro y el bajo contenido de óxidos alcalinos como el sodio y el potasio que dan la posibilidad a la arcilla de generar la fase de vidrio a temperaturas relativamente altas, teniendo en cuenta el difractograma.

4.3. Realizar un estudio financiero que muestre la factibilidad de la implementación de un proceso de producción óptimo en la fabricación de bloques en la Ladrillera Ocaña.

En esta fase final del proyecto se compararon los resultados obtenidos anteriormente para establecer las mejoras pertinentes al proceso productivo actual, como también estimar la ventana del proceso productivo para obtener bloque con la calidad establecida por las normas colombianas actuales vigentes, a través de las siguientes actividades:

4.3.1. Comparar los resultados obtenidos. Se tuvieron en cuenta los análisis físico cerámicos realizados en los laboratorios, con lo cual se compararon los resultados con los obtenidos en los ensayos destructivos, de lo que se obtuvo la siguiente información:

Cabe resaltar que no se mejoró el producto debido al tamaño de las partículas de arenas, por lo que se sugiere que la empresa realice un rediseño del triturador o la inversión en la compra de un equipo más potente el cual logre tamaños de partículas de arenas inferiores a 1 milímetro.

4.3.2. Evaluación de los resultados obtenidos. Teniendo en cuenta el análisis de la línea de producción y los resultados de los análisis tecnológicos, se determinó que el proceso presenta inconsistencias en cuanto al tamaño de las partículas que se conforman en el triturado y laminado, por lo que no se obtienen las dimensiones adecuadas menores 2milímetros (Ver figura), por lo que se propuso cambiar el tipo de trituración o rediseñar el existente a base de martillos, el cual puede ser también a base de bolas con lo cual se obtendrán las características idóneas en cuanto al tamaño de las partículas de arena y de esta manera lograr que las partículas

se conformen mejor en el laminado, mezclado y extruido, donde además en cocción las partículas conseguirán más rápidamente el punto de fusión.

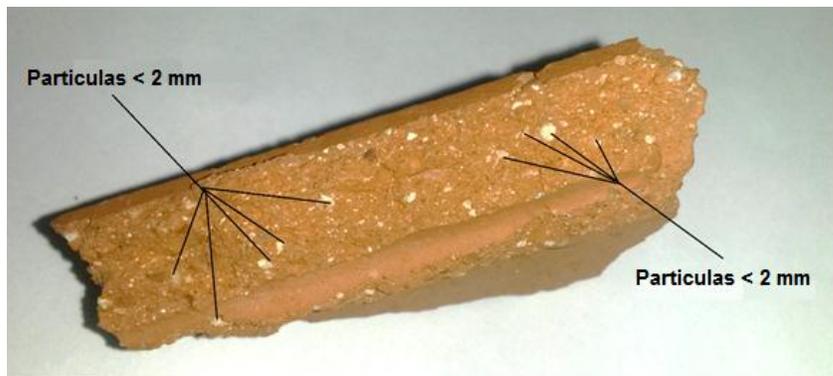


Figura 55. Sección de bloque terminado con partículas de arena mayores a 2 mm.

Fuente: Autor del proyecto

4.3.3. Estimar la factibilidad económica. Teniendo en cuenta las etapas del proceso productivo ya establecido por la empresa y la información recopilada con los diferentes ensayos tecnológicos, se identificó que la etapa que está afectando el proceso es la Molienda, debido a que los equipos no brindan el tamaño ideal por lo que en el producto final aparecen partículas de arenas con tamaños que superan los 2 milímetros de diámetro, por lo cual en el momento de cocción las partículas no logran fusionarse y generan gran absorción de agua como se pudo evidenciar en los análisis realizados.

Es importante mencionar las diferencias entre molienda y trituración, por ejemplo, la trituración es para triturar piedras en más pequeño tamaño, generalmente se utiliza en el primer paso para el procesamiento de materias primas; mientras que la molienda es para moler las piedras en un tamaño más pequeño en partículas menores de 1,5 milímetros. Molino de martillos y laminado.

Otra diferencia radica en que los equipos de molienda tienen las ventajas de la gran proporción de trituración, alta eficiencia, bajo consumo de energía, partículas de tamaño uniforme.

Se realizó la cotización de diferentes equipos en empresas de la china de lo que se obtuvo la siguiente información:

Tabla 64.

Equipos sugeridos para la optimización del proceso.

EQUIPO	TON/HORA	POTENCIA (Kw)	TAMAÑO ENTRADA (mm)	TAMAÑO SALIDA (mm)
	3 – 8	37	<25	1,6-0,038
	2 – 5	30	≤25	0.075-0.6
	3 – 8	11	<100	0-3mm

Fuente: Autor del proyecto

Se realizó la consulta en diferentes empresas vendedoras de estos equipos con franquicia en China y Japón, los precios de estos equipos fluctúan entre 28,000 y 35,000 dólares, lo que

representa una inversión aproximada de 100 millones de pesos. Es importante resaltar que la inversión por rediseño de los equipos sería mucho más factible en cuanto a inversión, pero no se garantiza la estandarización del proceso debido a que se debe realizar el seguimiento y medición de las partículas de arcilla en forma de arenas, con la finalidad de controlar el tamaño de las partículas. La inversión por rediseño consultando con el área de mantenimiento de la empresa sería de aproximadamente 20 millones, lo que representa gastos de mano de obra y compra de materiales, además de que se produce una parada en el proceso productivo.

A continuación, se realizó el estudio económico teniendo en cuenta el mejoramiento del triturado ya sea por cambio o rediseño del equipo, de lo que se obtuvo la siguiente tabla de resultados:

Tabla 65.

Flujo de caja estimado de la empresa.

ITEM	VALOR
Ingresos	\$ 386.786.400
Servicios Públicos	-\$ 23.750.000
Nomina	-\$ 35.000.000
Mtto y equipos	-\$ 19.500.000
Carbón	-\$ 15.000.000
Imprevistos y otros	-\$ 14.436.000
Ganancias	\$ 279.100.400

Fuente: Autor del proyecto

Teniendo en cuenta lo anterior, se determinó que para la empresa es más factible realizar la compra de un equipo con las características adecuadas como también la durabilidad y confiabilidad del proceso, caso contrario ocurre con el rediseño de los equipos para alcanzar el tamaño de la partícula de arena que aproximadamente equivale a una inversión de 20 millones

con una parada de planta que representa pérdidas de ganancia como también el incumplimiento en la entrega de los pedidos. Por lo tanto, se planteó el siguiente flujo de la Figura 56:

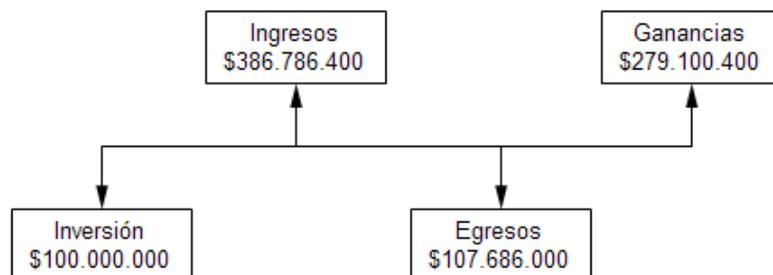


Figura 56. Flujo de caja.

Fuente: Autor del proyecto

Cálculo del valor futuro:

$$V_F = V_P(1 + i)^n$$

Donde:

V_F = Valor Futuro

V_P = Valor Presente

i = Intereses

n = Número de años

Teniendo en cuenta un interés anual del 20%, resulta que:

$$V_F = 100.000.000 * (1 + 0.2)^3$$

$$V_F = 172.800.000$$

De lo que resulta:

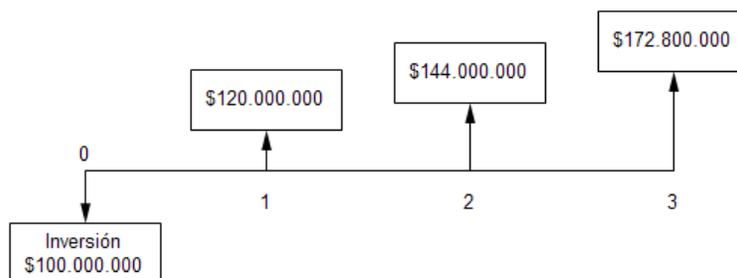


Figura 57. Flujo de la inversión para 3 años.

Fuente: Autor del proyecto

La tasa de recuperación de la inversión, fue calculada en Excel de lo que se obtuvo el siguiente valor:

$$\text{TIR} = 60\%$$

Con el valor de la tasa de recuperación de la inversión, se procedió a calcular la tasa de recuperación contable, la cual indica cuanto estamos recuperando anualmente con la inversión y su fórmula está dada por:

$$\text{TRC} = \frac{\text{TIR}}{1 - \left(\frac{1}{1 + \text{TIR}}\right)^n}$$

De lo que resulta:

$$\text{TRC} = \frac{0.60}{1 - \left(\frac{1}{1 + 0.60}\right)^3} = 0.7938 \approx 79.38\%$$

El periodo de recuperación de la inversión, fue calculado teniendo en cuenta la siguiente expresión:

$$\text{PRI} = \frac{1}{\text{TRC}}$$

De lo que resulta:

$$\text{PRI} = \frac{1}{0.7938} = 1.2597 \text{ Años}$$

Lo que quiere decir que, en un año, tres meses y tres días se recupera la inversión realizada por la compra de la máquina trituradora.

Para garantizar que el proyecto es factible, se calculó la relación costo-beneficio, teniendo en cuenta que:

$$R = \frac{B}{C}$$

Dónde:

B = El Valor presente neto del proyecto con un interés del 8,5 % anual

C = Costo de la inversión

Teniendo en cuenta que:

$R = 1 \therefore$ El proyecto es indiferente

$R > 1 \therefore$ El proyecto es atractivo

$R < 1 \therefore$ El proyecto no es atractivo

De lo que resulta:

$$R = \frac{368.207.159}{100.000.000} = 3.68$$

Por lo tanto, el proyecto resulta ser atractivo.

Conclusiones

La norma NTC 4205 establece que, en los resultados de los ensayos de absorción y resistencia, se admite que una de las cinco muestras ensayadas supere o no logre el límite individual en un 10%, siempre y cuando se cumpla para el valor promedio señalado. Para el caso de las muestras evaluadas ninguna cumple con la especificación.

Las muestras tuvieron un comportamiento similar observando sus curvas en las gráficas de hidrometría y tamizado, pero individualizando los ensayos la que se comportó de manera más regular fue la muestra 1, con un 36% de Arena un 32% de Limo y un 32% de Arcilla. No obstante, la composición de estas arcillas no se aleja mucho del rango óptimo, además dicha composición puede alcanzarse fácilmente con la mezcla de tales arcillas. Por su parte, la mezcla M1, por su composición química, podría utilizarse sin mezclarla con otras. El contenido de alúmina en las mezclas repercute directamente en la resistencia mecánica del producto de mampostería, como también se evidencia la presencia en las mezclas de contenido de óxido de hierro necesario para la impermeabilidad, durabilidad, resistencia y dureza.

Evidentemente el problema en el proceso de fabricación de bloques se encuentra en el tamaño de las partículas de arena, las cuales son de hasta 2,0 milímetros, por lo que el proceso de trituración y laminado no es efectivo obteniendo mala pulverización, lo que hace que el producto final posea características de alta absorción de agua que debilita la resistencia a la compresión como se evidencio en los ensayos tecnológicos.

Según el análisis de los datos obtenidos en los ensayos de compresión, absorción de agua y la posición del bloque en el horno de cocción, se pudo evidenciar la variación entre sus propiedades con respecto a la ubicación geométrica espacial en las recámaras del horno, teniendo en cuenta que en la parte superior de la recámara se concentra la mayor temperatura, generando mejores propiedades. En la zona alta y media, los bloques desarrollan mejores propiedades que en la zona baja, debido a que bloques que se encuentran en la parte inferior soportan el peso de los demás; señalando esto como una de las posibles causas de pérdidas por defecto.

Los resultados de los ensayos de granulometría indican que la mayoría de las muestras de la empresa poseen un índice promedio de 45% de arena fina teniendo en cuenta la gráfica granulométrica; resultado de gran importancia para la fabricación de las pastas cerámicas, debido a que permite clasificar las muestras como materiales de baja compactación, baja plasticidad, que no deben usarse individualmente para la producción por que tendrán baja resistencia en seco y en cocido, como también alta absorción de agua. Asimismo, la arena es necesaria para la extrusión, debido a que ayuda a disminuir el tiempo de secado y evita la formación de grietas en las piezas

En general las muestras evaluadas presentan altos contenidos de arena, mayores al 25%. Se consideran bajos contenidos de arena aquellos menores del 10%, contenidos medios entre el 10 y 25% y altos por encima del 25%. Los porcentajes de arena idóneos para la fabricación de productos cerámicos extruidos oscilan entre el 16% y un máximo de 35%. Teniendo en cuenta lo anterior, las mezclas no necesitan la adición extra de arena para poderse extruir de manera adecuada.

Ciertamente es indiscutible que las dimensiones de los terrones varían según sea el día que se tome la muestra pues la calibración de los molinos laminadores se hace semanalmente lo que demuestra una falla en sistema pues requiere de un mantenimiento a muy corto plazo haciendo que los tamaños de las partículas no sean los adecuados y afectando la condición del proceso productivo.

Cuando hablamos de la morfología de los bloques H-10 podemos decir que los productos de la ciudad de Ocaña Norte de Santander y Cúcuta Norte de Santander tienen un rango de variabilidad baja en cuanto a medidas, aclarando que la manufactura del bloque Cucuteño es de mayor calidad; ninguno de los especímenes cumple con el espesor de paredes pues excede el valor de la norma NTC 4205 mientras que los tabiques y nervios de estos bloques si se encuentran en el rango que está contemplado en dicha norma.

Según lo establecido en la tabla de propiedades físicas de las unidades de mampostería no estructural y haciendo la comparación con los datos tomados a las muestras ensayadas, los bloques Ocañeros y Cucuteños cumplen con los parámetros de la norma NTC 4205, haciendo la anotación que los H-10 de la ladrillera Hora Limitada absorben un promedio de 3.7% a 4.5 % más que los Bloques de la Ciudad de Cúcuta.

El ensayo a compresión dada en $\frac{\text{KgF}}{\text{cm}^2}$ para unidades de mampostería no estructural, a las muestras de ambas ladrilleras según los resultados de ensayos obtenidos en el laboratorio nos dan a entender que los bloques no son resistentes y esto tiene que ver con la calidad de la pasta cerámica con la que fue hecho el producto sometido al ensayo, sin embargo una vez más aunque

el bloque de Cúcuta no cumplió con el estándar establecido en la norma, es de mayor resistencia que el Bloque de la ladrillera Ocañera.

Las normas establecen parámetros que permiten aprobar el uso de un material para la fabricación de los Bloques, pero eso no significa que los materiales de dichas características tengan un comportamiento idéntico a materiales que hayan sido ensayados con anterioridad, pues es necesario realizar análisis de forma constante y de esa forma garantizar la mezcla para la elaboración de un producto de alta calidad.

Al graficar datos en el diagrama de predicción y/o moldeo de los Límites de Attenberg se observa que solo una muestra (M1) está en el rango de extrusión óptima y una segunda (M2) en extrusión aceptable, las otras cuatro muestras (M3) (M4) (M5) (M6) están en la zona de extrusión difícil lo que lleva a pensar en que hay una falla en el proceso de mezclado de la arcilla ya que la absorción agua es demasiada.

Con la difracción de rayos X se pudo observar de manera precisa los minerales sin importar lo pequeño o fino que sea el grano, para determinar la composición de la mezcla a utilizar y el porcentaje exacto con el cual hace presencia cada uno de estos compuestos químicos, de esta forma es posible determinar que elemento está faltando o por el contrario cual está de forma exagerada para así poder tomar las correcciones necesarias y asegurar la calidad en la mezcla.

Gracias a la utilización del análisis de fluorescencia de rayos X se pudo determinar las composiciones químicas más importantes que existen en la arcilla y una vez obtenido este resultado da la opción de utilizar la mezcla adecuada en la fabricación de los bloques siendo la

materia prima un producto con los suficientes estudios físico-químicos que garantizaran la calidad del producto terminado.

Recomendaciones

Se recomienda invertir en la actualización de equipos, para que de esa manera la empresa crezca en el área de productividad y en la mejora de la calidad, pues es evidente que hay fallas que tienen que ver directamente con equipos viejos o en mal estado.

Se recomienda seguir realizando los ensayos pertinentes de manera periódica, de esta forma se determinará las características del suelo que se está trabajando y se garantizará la mezcla óptima con porcentajes ideales para la creación de piezas con una manufactura de excelente calidad.

Se sugiere estar en constante evaluación del proceso, esto asegurará que las mejoras visibles en el producto sean una variable fácil de definir, permitiendo implementar planes de apoyo y de esta forma fortalecer el área que está reaccionando de forma positiva a algún cambio implementado en el desarrollo de la actividad de producción.

Referencias

- Afanador, 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, (2013), 101–119.
- Amado, J. D. S., Villafrades, P. Y. M., & Tuta, E. M. C. (2011). Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de Barichara, Santander. *DYNA (Colombia)*, 78(167), 50–58. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-83155172913&partnerID=tZOtx3y1>
- Amorocho Parra, R. (2004). *Analisis de la interacción química entre los fluidos de formacion, fluidos de perforacion y composicion mineral de rocas arcillosas en la estabilidad del pozo*. Universidad Industrial de Santander. Retrieved from <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/1097/2/114313.pdf>
- ASTM. (2005). Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. *ASTM International*, 4(March 2010), 1–14. <https://doi.org/10.1520/D4318-10>.
- Bañon, L. (2012). Clasificación De Suelos. In *Generalidades* (pp. 1–9). Retrieved from https://sirio.ua.es/proyectos/manual_carreteras/02010103.pdf
- Barba, A., Beltrán, V., Feliu, C., Gracia, J., Gines, F., Sánchez, E., & Sanz, V. (1997). *Materias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas*. Instituto de Tecnología Cerámica. Castellón, España.
- Barranzuela, J. (2014). *Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la región piura*. Universidad de Piura.

- Bragg, W. H. (1913). The Reflection of X-rays by Crystals. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 89(610), 246–248.
<https://doi.org/10.1098/rspa.1913.0082>
- Cely Illera, L. (2012). *Comportamiento Térmico y Mecánico de una arcilla de la región de Norte de Santander*. Universidad Francisco de Paula Santander.
- Cely Illera, L., & Bolívar León, R. (2015). Materia prima para la industria cerámica de Norte de Santander . II . Evaluación del comportamiento térmico y su incidencia en las propiedades tecnológicas. *Respuestas*, 20(1), 84–94.
- Díaz, L. A., & Torrecillas, R. (2002). Arcillas cerámicas: Una revisión de sus distintos tipos, significados y aplicaciones. *Boletín de La Sociedad Española de Cerámica Y Vidrio*, 41(5), 459–470.
- Duitama, L., Espitia, C., Mojica, J., Quintero, J., & Romero, F. (2004). Composición mineralógica y química de las arcillas empleadas para cerámica roja en las zonas de Medellín. *Revista Académica Colombiana de Ciencia*, 34(109), 555–564.
- Florez Arenas, A. (2015). Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de ladrillos en la ladrillera Mariscal Robledo S.A. *Facultad de Tecnologías: Química Industrial, Universidad Tecnológica de Pereira*, 1–19.
- García-León, R. A. (2017). *Determinación de la mezcla óptima de arcilla para el mejoramiento de la calidad del bloque h-10 en la industria cerámica*. Universidad de Pamplona.
- García-León, R. A., Acosta, M. A., & Flórez, E. (2015). Análisis del comportamiento de los frenos de disco de los vehículos a partir de la aceleración del proceso de corrosión. *Tecnura*, 19(45), 53–63. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.3.a04>
- García-León, R. A., & Bolívar, R. (2017). Caracterización Hidrométrica de las Arcillas Utilizadas en la Fabricación de Productos Cerámicos en Ocaña , Norte de Santander. *INGE CUC*,

13(1), 1–9. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.13.1.2017.05>

- García-León, R. A., Bolívar, R., & Flórez, E. (2016). Validación de las propiedades físico-mecánicas de bloques H-10 fabricados en Ocaña Norte de Santander y la región. *Ingenio UFPSO*, 10(2011–642X), 17–26.
- García-León, R. A., & Flórez, E. (2016). Determinación de la ventana del proceso productivo en la fabricación de bloques H-10 en Ocaña Norte de Santander y la región. *Ingenio UFPSO*, 9(2011–642X), 35–43.
- García, E., & Suárez, M. (2004). *Las Arcillas: Propiedades Y Usos*.
- Gelves, J. F., & Sánchez, J. (2009). Comportamiento de las arcillas del Área Metropolitana de Cúcuta sometidas a proceso de moldeo por extrusión. *Respuestas*, 14(2), 32–38.
- Gerencia Hora Ltda. (2015). *Empresa Hora Ltda - Ladrillera Ocaña*. Ocaña, Norte de Santander.
- Google Maps. (2016). Maps of World. Retrieved from <https://www.google.com.co/maps/@8.2366978,-73.3015168,14z>
- ICONTEC. (1979). Norma Técnica Colombiana NTC 1522 Suelos. Ensayo para determinar la granulometría por tamizado, 1–8.
- ICONTEC. (2000). Unidades De Mampostería De Arcilla Cocida, Ladrillos Y Bloques Cerámicos, 1–7.
- ICONTEC. (2005). NTC-4017. Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla. *Norma Técnica Colombiana*, 1–30.
- Illera, L. C., Illera, C. C., & Contreras, K. A. (2015). Raw material for the ceramic industry in Norte de Santander. III. Assessment of the technological properties when the residue test of deep abrasion is added. *Boletín de La Sociedad Española de Cerámica Y Vidrio*, 54(2), 77–83. <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2015.03.005>
- INVIAS. (2007). *Análisis granulométrico de los suelos por tamizado*.

- Jacome, S. A. (2015). *Evaluación termodinámica del proceso de cocción y análisis de gases en hornos a cielo abierto y Hoffman en Ocaña. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.*
- Ladrilleraaguacaliente. (2015). Proceso de elaboración de bloques. Retrieved from <http://www.ladrilleraaguacaliente.com/index.php/contactenos/itemlist/user/950-ladrillera-industrial-agua-caliente.html>
- Linares, J., Huertas, F., & Capel, J. (1983). La Arcilla Como Material Ceramico. Caracteristicas Y Comportamiento, 479–490.
- Macías López, M. A. (2006). *Estudio de las transformaciones en estado sólido de las arcillas de San José de Cúcuta utilizadas en la fabricación de baldosas mediante caracterización mineralógica por difracción de rayos x de muestras policristalinas.* Universidad Industrial de Santander.
- Martínez, A., & Aguilar, T. (2012). Impacto socioeconómico de la Minería en Colombia. *Sector de Minería a Gran Escala*, 50.
- Monteiro, S. N., & Vieira, C. M. F. (2004). Influence of firing temperature on the ceramic properties of clays from Campos dos Goytacazes, Brazil. *Applied Clay Science*, 27(3–4), 229–234. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2004.03.002>
- Montoya, G. P., & Montoya, R. (2014). Caracterización del sector cerámico tradicional del valle de aburrá y los riesgos profesionales latentes en su proceso productivo., 34–42.
- Muñoz, R. A., Muñoz, J. A., Mancilla, P., & Rodríguez, J. E. (2007). Caracterización fisicoquímica de arcillas del municipio de Guapi- costa pacífica caucana (Colombiana). *Química*, 31, 537–544.
- Payares Perez, C. A. (2014). *Estudio de la relación entre las propiedades físicas finales de los bloques cerámicos para mampostería y los perfiles de temperatura presentados en el*

horno durante su cocción en la ladrillera Ocaña. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

- Peña Rodríguez, G., & Ortega Triana, L. R. (2014). Caracterización morfológica y estructural de polvos de cenizas volantes. *i+D*, 14(2), 14–19.
- Perales López, N. J. ;, & Barrera Vargas, M. (2013). Análisis estructural por DRX de una arcilla natural Colombiana modificada por pilarización. *Revista de Investigaciones - Universidad Del Quindío*, 24(1), 100–106.
- Ramírez, R., Andrade, G., José, J., Juárez, S., & Carmen, M. (2002). Caracterización de arcillas del Estado de Guanajuato y su potencial aplicación en cerámica. *Acta Universitaria ISSN:*, 12(1), 23–30. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41612102>
- Rendon Ríos, C. M. (2009). *Uso de materias primas colombianas para el desarrollo de baldosa cerámicas con alto grado de gresificación*. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.
- Riojas Castillo, O., & Rodríguez Montaña, N. E. (2004). Características de hornos para productos cerámicos del Parque Minero Industrial El Mochuelo, localidad 19 de Bogotá, D.C. *Con-Ciencias*.
- Roquet María, B. (2012). Métodos analíticos en geoquímica (DRX-FRX) y Pegmatitas, 1–12.
- Rozo, S., Sánchez, J., & Alvarez, D. (2014). Propiedades físico mecánicas de bloques H10 fabricados en el área metropolitana de Cúcuta. *Ciencia E Ingeniería Neogranadina*, 24(1), 67–78.
- Rozo Rincón, S. M., Sánchez Molina, J., & Gelves Díaz, J. F. (2014). Evaluación de minerales aluminio silicatos de Norte de Santander para fabricar piezas cerámicas de gran formato. *Facultad de Ingeniería*, 24(38), 53–61. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-

11292015000100005&lng=en&nrm=iso&tlng=es

- Sánchez, J., Orozco, J. A., & Peñaloza, L. (2014). Evaluación de mezclas de arcillas para la fabricación de ladrillos refractarios que sirvan para la reconversión tecnológica de los hornos utilizados en Norte de Santander. *Revista de Investigaciones - Universidad Del Quindío*, 26(1), 57–64.
- Selmani, S., Essaidi, N., Gouny, F., Bouaziz, S., Joussein, E., Driss, A., ... Rossignol, S. (2015). Physical-chemical characterization of Tunisian clays for the synthesis of geopolymers materials. *Journal of African Earth Sciences*, 103, 113–120.
<https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2014.12.009>
- Środon, J. (2006). Identification and Quantitative Analysis of Clay Minerals. *Developments in Clay Science*, 1(C), 765–787. [https://doi.org/10.1016/S1572-4352\(05\)01028-7](https://doi.org/10.1016/S1572-4352(05)01028-7)
- Swisscontact. (2011). *Mejoramiento de la materia prima para la producción de ladrillos de calidad*. Bolivia.
- Toirac, J. (2008). El Suelo Cemento como material de construcción (Ground-Cement as a construction material). *Ciencia Y Sociedad*, XXXIII(4), 520–571. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/870/87012672003.pdf>
- Valero, D. (2005). Estudio de factibilidad técnico económico financiero para la instalación de una fabrica de bolsas plasticas, 1–92.
- Vieira, C. M. F., Sánchez, R., & Monteiro, S. N. (2008). Characteristics of clays and properties of building ceramics in the state of Rio de Janeiro, Brazil. *Construction and Building Materials*, 22(5), 781–787. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.01.006>
- Zeballos-velásquez, E. L., Melero, P. C., Trujillo, A. L., Mejía, M. E., & Ceroni, M. (2014). Estudio estructural de arcillas de Chulucanas por difracción de rayos-X y método de Rietveld. *Revista Materia*, 19 N 2(1517–7076), 159–170.

Apéndices

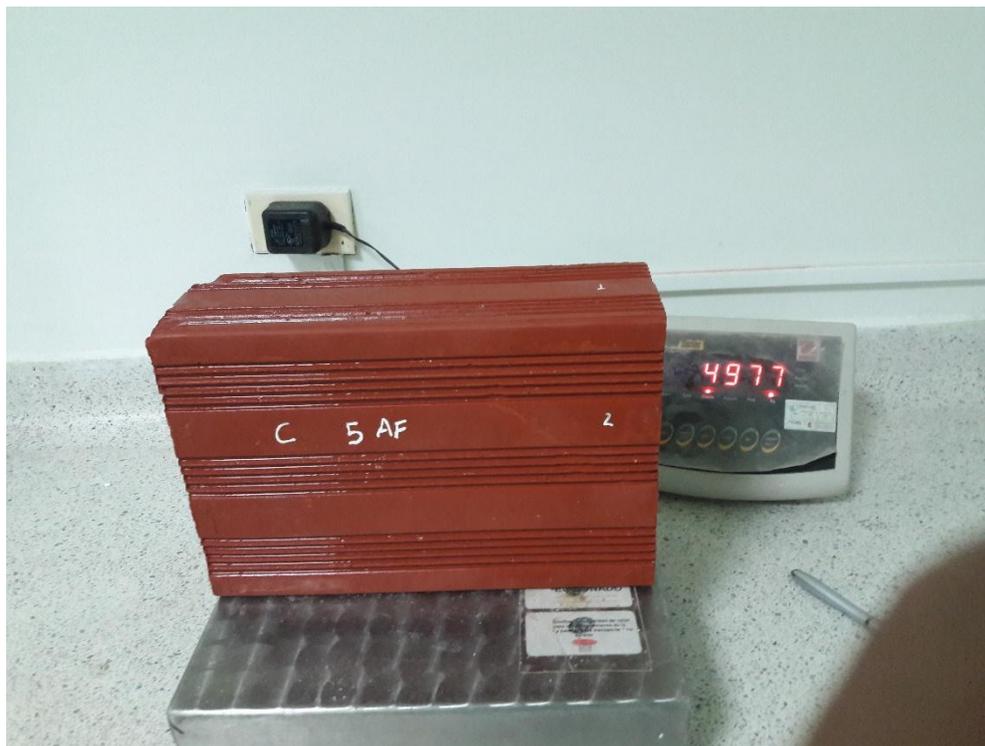
Apéndice 1. Secado al horno de Bloques H-10.



Fuente: Autor del proyecto

Apéndice 2. Prueba de Absorción inicial

Fuente: Autor del proyecto

Apéndice 3. Prueba de Absorción final.

Fuente: Autor del proyecto

Apéndice 4. Prueba de Compresión.

Fuente: Autor del proyecto

Apéndice 5. Prueba de Flexión.

Fuente: Autor del proyecto

Apéndice 6. Muestras de LL e IP antes de entrar al horno.

Fuente: Autor del proyecto

Apéndice 7. Muestras de IP y LL en el horno.



Fuente: Autor del proyecto

Apéndice 8. Clasificación USCS de los suelos.

DIVISIONES PRINCIPALES			Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS
SUELOS DE GRANO GRUESO Más de la mitad del material retenido en el tamiz número 200	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Gravas limpias (sin o con pocos finos)	GW	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.
			GP	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.
		Gravas con finos (apreciable cantidad de finos)	GM	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.
			GC	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Arenas limpias (pocos o sin finos)	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.
			SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.
		Arenas con finos (apreciable cantidad de finos)	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
			SC	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.
SUELOS DE GRANO FINO Más de la mitad del material pasa por el tamiz número 200	Limos y arcillas: Límite líquido menor de 50	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosas, o limos arcillosos con ligera plasticidad.	
		CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.	
		OL	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.	
	Limos y arcillas: Límite líquido mayor de 50	MH	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.	
		CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.	
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.	
Suelos muy orgánicos			PT	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.

Fuente: (Bañon, 2012)

Apéndice 9. Clasificación según AASHTO para las muestras.

CLASIFICACIÓN GENERAL	MATERIALES GRANULARES (35% o menos pasa por el tamiz N° 200)						MATERIALES LIMOSO ARCILLOSO (más del 35% pasa el tamiz N° 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Grupo:	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Porcentaje que pasa:											
N° 10 (2mm)	50 máx.	-	-	-				-			
N° 40 (0,425mm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	-				-			
N° 200 (0,075mm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.				36 mín.			
Características de la fracción que pasa por el tamiz N° 40											
Límite líquido	-	-	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín. (2)	
Índice de plasticidad	6 máx.	NP (1)	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	
Constituyentes principales	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa			Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Características como subgrado	Excelente a bueno										Pobre a malo

Fuente: (Bañon, 2012)