



UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO

MAESTRÍA EN CONSTRUCCIONES
PROGRAMA ESPECIAL DE TITULACIÓN

ELABORACIÓN DE LADRILLOS CERÁMICOS UTILIZANDO LODOS
GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA
POTABLE DE TIXÁN EN LA CIUDAD DE CUENCA

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE
“MAGÍSTER EN CONSTRUCCIONES”

AUTOR: ING. ARQ. JORGE RAFAEL PERALTA PINTADO
C.I. 0102897303

DIRECTOR: DR. ARQ. JUAN FELIPE QUESADA MOLINA
C.I. 0102260148

CUENCA, ECUADOR

ABRIL 2018



RESUMEN

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo principal elaborar ladrillos cerámicos utilizando lodos generados en los procesos de tratamiento de agua para potabilización de la planta de Tixán en la ciudad de Cuenca que cumplan la normativa vigente en el país.

La tesis propuesta empieza mediante la investigación de la normativa vigente en el país así como del proceso de fabricación de ladrillos cerámicos, adicionalmente se realizará una recopilación de datos con la ayuda de la empresa ETAPA EP para caracterizar los lodos generados en la PTAP de Tixán y de esta manera conocer los límites de Atterberg, humedad, granulometría y composición mineralógica.

Con la caracterización de lodos y arcillas a ser utilizadas, se realizaron cinco mezclas empleando distintas dosificaciones con variación del porcentaje de lodos a sustituir desde el 0 al 40%. Se elaboraron un total de 100 unidades de arcilla de las cuales terminaron su etapa de cocción 60 unidades, quemadas a una temperatura de 1000 °C.

Se ensayaron 16 ladrillos a la resistencia a compresión y se determinó el grado de absorción de 20 ladrillos. Según el análisis de resultados las unidades finales de arcilla con dosificación 60:35:5 cumple con las normas establecidas para ladrillos cerámicos.

Se concluye que es viable elaborar ladrillos con adición de lodos aluminosos en la mezcla, pues representa un beneficio económico – ambiental, en términos de ahorro de tiempo y uso de recursos para la explotación de canteras así como el transporte y manejo de lodos a su disposición final.

Palabras claves: ladrillo cerámico, lodos aluminosos, construcción.



ABSTRACT

The main objective of this investigation project is to elaborate ceramic bricks using sludge generated in the water treatment processes for the purification of the Tixán plant in the city of Cuenca that complies with current regulations in the country.

The proposed thesis begins by investigating the current regulations in the country, as well as the process of manufacturing ceramic bricks. Additionally, a data collection carried out with the help of the company ETAPA EP to characterize the sludge generated in the PTAP of Tixán, and in this way know the limits of Atterberg, humidity, granulometry and mineralogical composition.

With the characterization of sludge and clays used, five mixtures made using different dosages with variation of the percentage of sludge substituted from zero to 40%. One hundred units of clay were elaborated, of which finished their cooking stage 60 units, burned at a temperature of 1000 °

Sixteen bricks tested for compressive strength and the degree of absorption of 20 bricks was determined. According to results, clay units with dosage 60:35:5 do meet the standards established for ceramic bricks.

It concludes that it is feasible to elaborate bricks with addition of aluminous sludge in the mixture, since it represents an economic - environmental benefit, in terms of time saving and use of resources for the exploitation of quarries as well as the transport and management of sludge at its final disposal.

Keywords: ceramic brick, aluminous mud, construction.

**ÍNDICE DE CONTENIDO**

RESUMEN.....	2
ABSTRACT.....	3
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	6
ÍNDICE DE CUADROS.....	9
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	10
CLÁUSULA DE LICENCIA Y AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	11
CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL	12
AGRADECIMIENTO.....	13
DEDICATORIA.....	14
1 LINEAMIENTOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
1.1 INTRODUCCIÓN.....	15
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	16
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.4 JUSTIFICACIÓN	17
1.5 HIPÓTESIS.....	17
1.6 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	18
2 MARCO TEÓRICO.....	21
2.1 MARCO CONCEPTUAL: MATERIALES CONSTITUTIVOS PARA FABRICAR LADRILLOS CERÁMICOS	21
2.2 ARCILLA	21
2.2.1 PROPIEDADES DE LA ARCILLA.....	21
2.2.2 CONTRACCIÓN DE LAS ARCILLAS	22
2.2.3 SECADO DE LAS ARCILLAS.....	22
2.2.4 ESTADOS DE LA ARCILLA DURANTE EL SECADO	23
2.2.5 ACCIÓN DEL CALOR SOBRE LAS ARCILLAS	23
2.2.6 EFECTOS DE LA CALIDAD DE LA MATERIA PRIMA EN LA CALIDAD FINAL DE LAS UNIDADES	24
2.2.7 ARCILLAS PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS.....	24
2.3 LADRILLO.....	25
2.3.1 TIPOS DE INDUSTRIAS LADRILLERAS	25
2.3.2 PASOS PARA LA PRODUCCIÓN DE LADRILLOS.....	26
2.3.3 TIPOS DE LADRILLOS	29
2.3.4 PROPIEDADES DE LOS LADRILLOS	29
2.4 LODOS PROVENIENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP).....	31
2.4.1 PLANTAS POTABILIZADORAS DE LA REGIÓN	31
2.4.2 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE TIXÁN.....	31
2.4.3 CARACTERÍSTICAS DE LA PTAP DE TIXÁN	32
2.4.4 ADICIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO	32
2.4.5 CARACTERÍSTICAS DEL TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES DE LAVADO DE UNIDADES.....	33



2.4.6	INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE LODO ALUMINOSO ...	34
2.4.7	CARACTERÍSTICAS DEL LODO	35
3	EXPERIMENTACIÓN	36
3.1	NORMATIVA	36
3.2	MATERIALES Y EQUIPOS.....	37
3.3	LABORATORIOS	37
3.4	CANTERAS Y MATERIA PRIMA	38
3.5	TOMA DE MUESTRAS.....	41
3.6	CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES CONSTITUTIVOS	42
3.7	DOSIFICACIÓN POR PORCENTAJES DE LODOS	44
4	DISEÑO EXPERIMENTAL	51
4.1	PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS.....	51
4.2	FABRICACIÓN DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES	52
4.3	SECADO DEL LADRILLO.....	53
4.4	PROCESO DE QUEMA DEL LADRILLO CERÁMICO (PANELÓN).....	54
4.5	ENSAYOS.....	57
4.5.1	GRADO DE ABSORCIÓN	57
4.5.2	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	58
5	RESULTADOS	59
5.1	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	59
5.1.1	PESO SECO	59
5.1.2	VARIACIÓN DIMENSIONAL	60
5.1.3	RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN	62
5.1.4	GRADO DE ABSORCIÓN DE AGUA	64
5.2	ANÁLISIS DE CALIDAD DE LOS LADRILLOS.....	66
5.3	CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO FINAL.....	69
5.4	CONCLUSIONES.....	70
5.5	RECOMENDACIONES.....	71
	CONCLUSIÓN DE LA INVESTIGACION.....	71
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	72
	ANEXOS	77



ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen1. Esquema metodológico de la investigación	20
Imagen 2. Arcilla Amarilla.....	21
Imagen 3. Arcilla.....	21
Imagen 4. Ladrillo Artesanal.....	25
Imagen 5. Fabricación Artesanal de ladrillos.....	26
Imagen 6. Fabricación Semi industrial de ladrillos.....	27
Imagen 7. Obtención de materia prima.....	27
Imagen 8. Selección y preparación la mezcla.....	27
Imagen 9. Moldeado.....	27
Imagen 10. Secado Artificial de ladrillo.....	27
Imagen 11. Máquina de compresión.....	30
Imagen 12. Capeo de caras con material inerte	30
Imagen 13. Sumersión de ladrillos en agua.....	30
Imagen 14. Pesaje de ladrillos después de sumersión.....	30
Imagen 15. Carta Geológica de Cuenca, Geología Parroquia Sinincay.....	39
Imagen 16. Cantera N°1	40
Imagen 17. Cantera N°2.....	40
Imagen 18. Arcilla amarilla Tipo I.....	41
Imagen 19. Arcilla negra Tipo II.....	41
Imagen 20. Lodo Tixán.....	41
Imagen 21. Lodo Tolva.....	41
Imagen 22. Lodo almacenado en Tolva.....	41
Imagen 23. Límites de Atterberg.....	42
Imagen 24. Granulometría y Humedad.....	42



Imagen 25. Dosificación de lodos en cada mezcla.....	45
Imagen 26. Conservación de humedad de los lodos.....	45
Imagen 27. Dosificación 1.....	47
Imagen 28. Dosificación 2.....	47
Imagen 29. Dosificación 3.....	47
Imagen 30. Dosificación 4.....	47
Imagen 31. Dosificación 5.....	47
Imagen 32. Tendido de Material Arcilla Tipo I y Tipo II.....	51
Imagen 33. Tendido de Material Lodo de Tixán.....	51
Imagen 34. Mezcla de Material.....	52
Imagen 35. Molde de Madera.....	52
Imagen 36. Proceso para la elaboración de ladrillo.....	52
Imagen 37. Secado natural de ladrillo.....	53
Imagen 38. “Parado” de ladrillo.....	53
Imagen 39. Secado artificial de ladrillo.....	54
Imagen 40. Horno para secado artificial.....	54
Imagen 41. Mezcla 5 posterior a su secado artificial.....	54
Imagen 42. Horno para cocción de ladrillo.....	56
Imagen 43. Cocción de ladrillo.....	56
Imagen 44. Programación de calentamiento de horno.....	56
Imagen 45. Posterior a cocción de ladrillo.....	56
Imagen 46. Toma de peso de la muestra en seco.....	57
Imagen 47. Bandeja Galvanizada con agua a 1cm de altura.....	57
Imagen 48. Medición de la altura de humedad.....	57



Imagen 49. Cortadora.....	58
Imagen 50. Capeo con macilla automotriz.....	58
Imagen 51. Prensa ACCU-TEX Touch 350.....	58
Imagen 52. Valor máximo de la resistencia a la compresión obtenido en la Mezcla2	67
Imagen 53. Unidades de ladrillo ensayados a esfuerzo de compresión.....	68
Imagen 54. Producto final.....	69



ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Requisitos de Resistencia Mecánica y Absorción de la Humedad que deben cumplir los Ladrillos Cerámicos Macizos.....	36
Cuadro 2. Contenido de óxidos en las materias constitutivas.....	43
Cuadro 3. Datos para dosificación de las mezclas.....	46
Cuadro 4. Porcentaje de mezclas según tipo de material.....	46
Cuadro 5. Peso neto según el tipo de mezcla.....	48
Cuadro 6. Peso bruto según el tipo de mezcla.....	48
Cuadro 7. Programa de quema de los ladrillos.....	55
Cuadro 8. Peso seco de las unidades de arcilla.....	59
Cuadro 9. Valores de las dimensiones de las unidades de ladrillo.....	61
Cuadro 10. Resultados del ensayo de la Resistencia Mecánica a la Compresión.....	63
Cuadro 11. Resultados del ensayo del Grado de Absorción de agua.....	65



ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Contenido de óxidos en las materias constitutivas.....	44
Gráfico 2. Cantidad de los materiales constitutivos en cada mezcla.....	49
Gráfico 3. Porcentaje de Humedad presente en cada material constitutivo.....	50
Gráfico 4. Programa de calentamiento del horno para la cocción de ladrillos.....	55
Gráfico 5. Relación Peso Seco vs. Lodos de Tixán	60
Gráfico 6. Valores de Variación dimensional en porcentajes según el tipo de mezcla.....	62
Gráfico 7. Relación de Resistencia vs. Porcentaje de Lodos de Tixán	64
Gráfico 8. Relación grade de Absorción de Agua vs Porcentaje de Lodos de Tixán.....	66



CLÁUSULA DE LICENCIA Y AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Ing. Arq. Jorge Rafael Peralta Pintado, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Elaboración de Ladrillos Cerámicos utilizando Lodos generados en la planta de tratamiento de agua potable de Tixán en la ciudad de Cuenca", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

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

Cuenca 25 de abril de 2018

Ing. Arq. Jorge Rafael Peralta Pintado

0102897303



CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Ing. Arq. Jorge Rafael Peralta Pintado, autor del trabajo de titulación “Elaboración de Ladrillos Cerámicos utilizando Lodos generados en la planta de tratamiento de agua potable de Tixán en la ciudad de Cuenca”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 25 de abril de 2018



Ing. Arq. Jorge Rafael Peralta Pintado

0102897303



AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios, por la fortaleza y sabiduría otorgada.

A mis padres que me enseñaron a ser perseverante y mantenerme firme en el camino.

A mi esposa por su amor, apoyo incondicional y comprensión desde siempre.

Un agradecimiento al Arq. Felipe Quesada por su apoyo y guía en el desarrollo de esta investigación.

De manera especial un agradecimiento a la Ing. Catalina Peñaherrera por su invaluable colaboración para la producción de las unidades de arcilla.

A la empresa ETAPA EP y al Ing. Juan Diego Espinoza por su colaboración en la obtención de las muestras de lodos y datos técnicos de la Planta de Tratamiento de Tixán.



DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a dos personas que me han enseñado que la vida es menos complicada de lo que parece; personas diferentes pero que aprendieron tempranamente a superar las adversidades.

Gracias Hijos Queridos, **RAFA Y GABRIELITO**, por recordarme lo que había olvidado y darme la fuerza para enfrentar mis miedos y temores. Son mi ejemplo de fortaleza y perseverancia.



1 LINEAMIENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

Las edificaciones en nuestra región, usan el ladrillo cerámico como elemento constructivo, cumpliendo en ciertas ocasiones una función estructural, por lo que su proceso de elaboración a más de tener un exhaustivo control, debe ser estudiado a profundidad y proponer nuevas alternativas para su uso en la construcción.

En el sector ladrillero predomina un escaso control en el uso de materiales usados en su fabricación, siendo un problema importante ya que el uso de técnicas heredadas durante el paso del tiempo genera complicaciones en las propiedades mecánicas al no cumplir con la normativa establecida en el país. Así mismo la explotación de la arcilla genera inestabilidad en los suelos desfavoreciendo o limitando la edificación en estas áreas.

En los últimos años se ha estudiado la posibilidad de reemplazar parte de la arcilla que se emplea en la producción de ladrillos por otros materiales menos densos como el lodo de plantas potabilizadoras como alternativa para la construcción. La adición de estos lodos en las mezclas para la elaboración de unidades cerámicas, puede ayudar en la recuperación de recursos naturales y disminuir la contaminación ambiental.

En Ecuador, no se tienen datos sobre producción de lodos, sin embargo, se considera que puede ser significativa, en la ciudad de Cuenca la producción de lodos aluminosos provenientes de la remoción de sólidos suspendidos que se encuentran presentes en el agua cruda y de reactivos adicionados es diaria y anual, este material es vertido en el suelo y en otros casos son llevados al relleno sanitario.

Estudios realizados en Colombia, Brasil y México muestran que es viable incorporar lodos aluminosos en un porcentaje del 10%; siendo importante considerar el grado de humedad inicial en éstos, ya que la resistencia a la compresión de las unidades de arcilla, depende de la humedad presente en dichos lodos. (Torres, Hernández, & Paredes, 2012)

La alternativa estudiada ayuda a disminuir estos impactos mencionados, por lo que se hace necesaria la implementación de un nuevo elemento constructivo mediante mezclas de arcillas tradicionales del sector y lodos generados en los procesos de tratamiento de agua para potabilización.



1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad el sector ladrillero artesanal presenta problemas en su proceso de producción debido a la ancestral dosificación de materias primas involucradas para su fabricación (Álvarez, 2014), debido a un escaso o nulo control del material, generando una calidad de ladrillos que estéticamente satisface a la sociedad pero que en sus propiedades mecánicas no cumple con la normativa establecida para ladrillos en el país.

La incorrecta explotación de la arcilla, que constituye el mayor componente de la materia prima para la elaboración de ladrillos, ocasiona inestabilidad en los suelos explotados, que en ciertos casos desfavorece o limita la construcción de edificaciones en dichos espacios.

Adicionalmente, uno de los problemas más importantes en el tratamiento de agua potable es la generación de lodos, cuya disposición final es predominante en cuerpos de agua, afectando su calidad y usos potenciales. El uso productivo de lodos puede ayudar en la recuperación de los recursos naturales y disminuir la contaminación ambiental.

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar ladrillos cerámicos utilizando lodos generados en los procesos de tratamiento de agua para potabilización de la planta de Tixán en la ciudad de Cuenca, que cumplan la normativa vigente en el país.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar las normas, el procedimiento para la fabricación de ladrillos cerámicos y los métodos de ensayo para la caracterización de arcillas y lodos aluminosos, para diseñar las respectivas mezclas que se utilizarán para la producción de los ladrillos.
- Elaborar las piezas de arcilla de acuerdo a las distintas dosificaciones que reemplaza parcialmente las arcillas por lodo aluminoso, para determinar sus propiedades físico-mecánicas.
- Ensayar las unidades de arcilla, con lodos provenientes de la planta de tratamiento de agua potable de Tixán en la ciudad de Cuenca para medir su grado de absorción y resistencia mecánica a la compresión.



- Analizar los resultados obtenidos en los ensayos realizados en laboratorio para desarrollar la propuesta del ladrillo cerámico en estudio.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Según datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC, se ha elaborado un estudio en la ciudad de Cuenca y su entorno, donde se determina que el 69.26% de las viviendas en Cuenca son de ladrillo y el 46.11% son de estructura de hormigón armado. Estas estadísticas muestran la necesidad de conocer el gran porcentaje que abarca la tecnología tradicional (mampostería simple y mampostería confinada) para poder determinar si se deben tomar correctivos en los sistemas empleados, así como la calidad de los materiales de construcción predominantes como es el ladrillo cerámico.

En los últimos años se ha estudiado la posibilidad de reemplazar parte de la arcilla que se emplea en la producción de ladrillos por otros materiales menos densos como alternativa para la construcción. Uno de estos materiales es el lodo que se genera en plantas potabilizadoras de agua.

El proceso de potabilización de aguas superficiales, genera en el proceso de coagulación-floculación, un lodo del orden del 4% del volumen total de agua tratada. En Ecuador, no se tienen datos sobre producción de lodos, sin embargo, se considera que puede ser significativa.

Estos lodos representan un impacto significativo en sus cuerpos receptores, además de las limitaciones ambientales en materia de descarga de lodos y el alza de los costos por el transporte y manejo de los mismos a los puntos de depósitos o escombreras, han obligado a los organismos encargados a buscar alternativas técnica y económicamente viables para el aprovechamiento de los lodos de modo que representen un beneficio económico y ambiental.

La alternativa estudiada ayuda a disminuir estos impactos mencionados, por lo que se hace necesaria la implementación de un nuevo elemento constructivo mediante mezclas de arcillas tradicionales del sector y lodos generados en los procesos de tratamiento de agua para potabilización.

1.5 HIPÓTESIS

Los ladrillos cerámicos utilizando lodos generados en los procesos de tratamiento de agua para potabilización (PTA) en la planta de Tixán de la ciudad de Cuenca, cumplen con las normas vigentes en el Ecuador.



1.6 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

La tesis propuesta se enmarca dentro de un diseño de investigación experimental a través de una metodología cuantitativa.

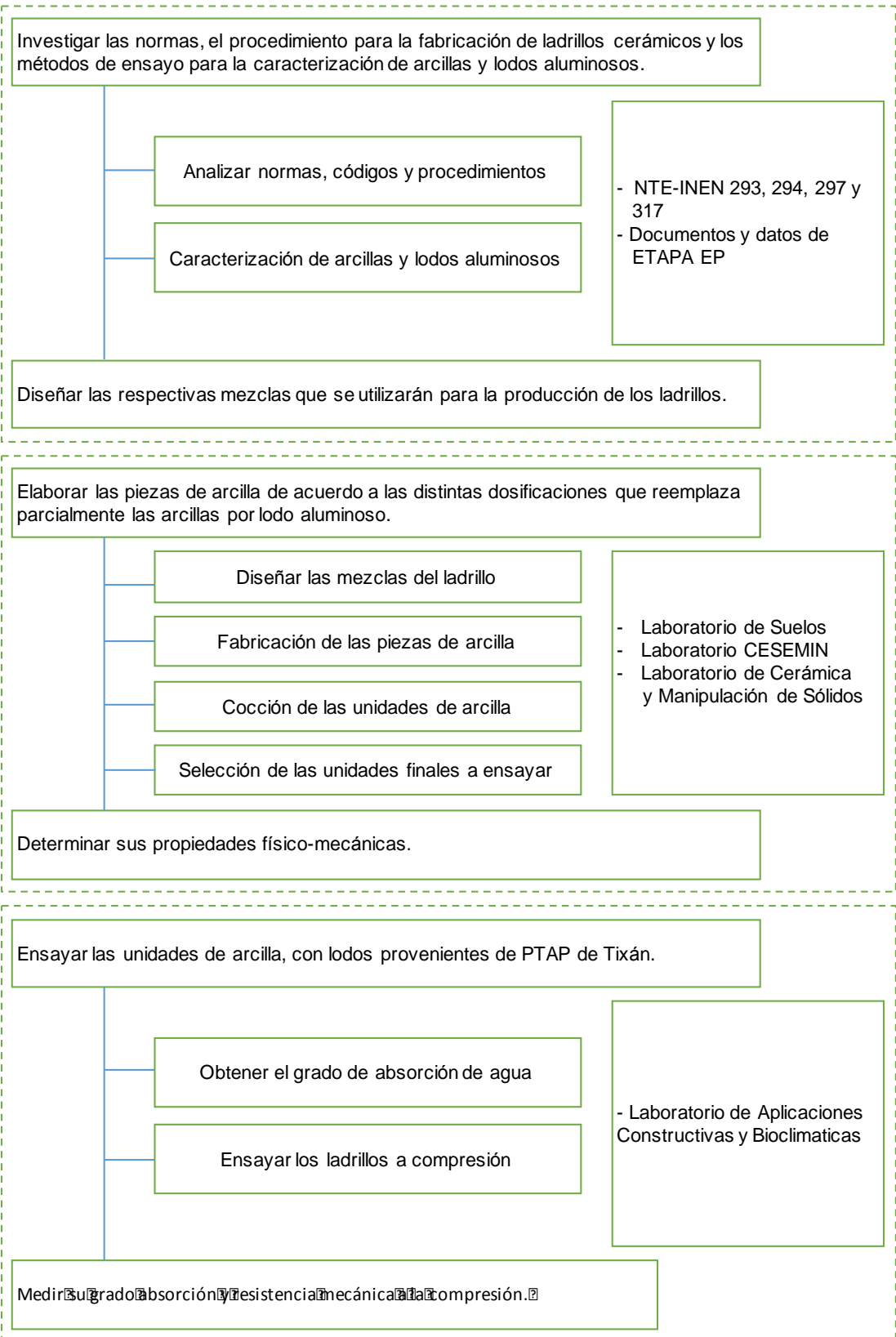
Empieza a través de la investigación de la diferente bibliografía referente al tema de ladrillos cerámicos y su proceso de fabricación, lodos generados en plantas de tratamiento de agua potable, la adición de lodos en la fabricación de ladrillos cerámicos y la normativa para ladrillos cerámicos vigente en el país, para el caso de estudio existe la norma NTE-INEN 292, 293, 294, 296, 297 y 317 respectivamente. Adicionalmente se realizará una recopilación de datos con la ayuda de la empresa ETAPA EP acerca de los lodos que genera la planta de tratamiento de Tixán así como el tratamiento y destino de los mismos.

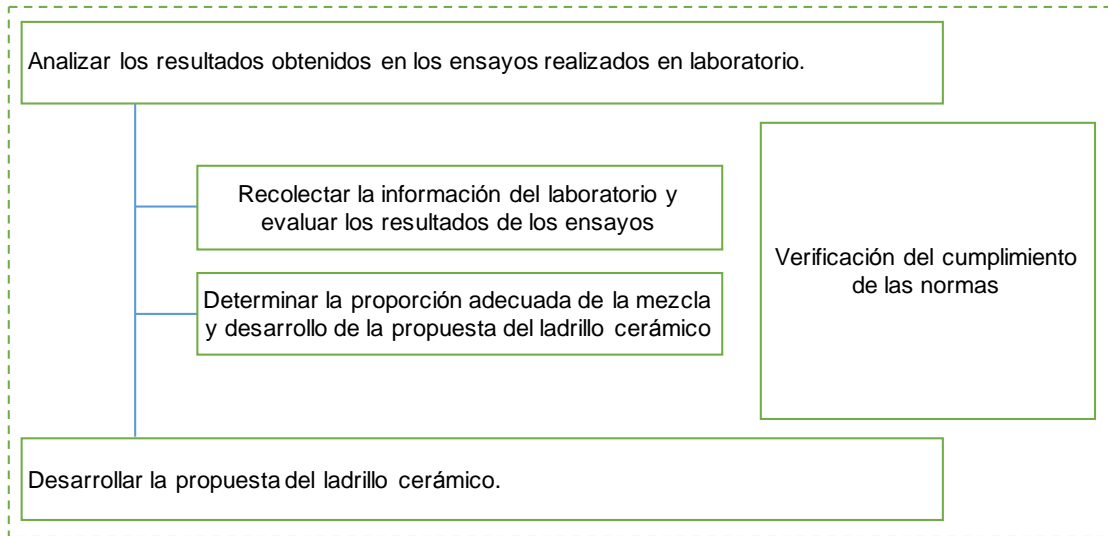
La siguiente etapa consiste en obtener las muestras de los materiales que se requiere para la fabricación de los ladrillos cerámicos y para el caso de estudio se incluye los lodos generados en la planta de tratamiento. Una vez obtenidos las muestras se procede a la caracterización de las arcillas y lodos mediante diferentes ensayos en laboratorio como son: límites de Atterberg (límite plástico y elástico), humedad, distribución granulométrica y análisis químico. Los laboratorios empleados para los distintos ensayos mencionados son: Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca y el Laboratorio de Análisis Técnico - Cerámico del Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos (CESEMIN).

Conocidas las características de los lodos y arcillas a ser utilizadas, se elaborará una serie de mezclas empleando distintas dosificaciones con variación del porcentaje de sustitución de lodos que van en el siguiente orden: 0, 5, 10, 20 y 40%. Se procede a la fabricación de las unidades de ladrillo de acuerdo a las diferentes dosificaciones determinadas y el número necesario de ladrillos para obtener datos confiables en la investigación. La temperatura del horno a la cual se realizará la cocción de las unidades de ladrillo será a 1000 grados centígrados para obtener mejores resultados en el experimento.

Una vez terminado el proceso de fabricación de los ladrillos, se obtendrá el grado de absorción de los ladrillos y se someterá cada uno de los elementos de arcilla a esfuerzos de compresión mediante la prensa del Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas de la Facultad de Arquitectura, de la Universidad de Cuenca, con el propósito de determinar la resistencia máxima a la compresión de dichos ladrillos de acuerdo a las normas NTE-INEN 294 y 297.

Luego se analizarán los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio y con estos datos se procederá a determinar la dosificación adecuada para desarrollar un ladrillo cerámico con propiedades físico-mecánicas, empleando lodos generados en la planta de tratamiento de agua potable de Tixán que cumpla las normas establecidas en el país.





JORGE PERALTA, 2017, *Esquema metodológico de la investigación*. [Imagen 1]



2 MARCO TEÓRICO

Es prioritario conocer las características y propiedades de los materiales constitutivos para la producción de ladrillos cerámicos, para el caso de estudio tenemos las arcillas y lodos aluminosos.

2.1 MARCO CONCEPTUAL: MATERIALES CONSTITUTIVOS PARA FABRICAR LADRILLOS CERÁMICOS

2.2 ARCILLA

Son aquellas sustancias compuestas por sílice, alúmina y agua, contienen fragmentos de rocas, óxidos hidratos de hierro, álcalis y materiales coloidales que por lo general se hacen plásticas cuando están húmedas y pétreas por la acción del calor. (Imagen 2–3)

La norma NTE INEN 685, define a la arcilla como: material cohesivo con plasticidad, sus partículas poseen diámetros menores que $75 \mu m$, encontrándose sobre la línea A en la carta de plasticidad del Sistema Unificado de Suelos.



TIERRA MURAL, 2015, *Arcilla Amarilla*. [Imagen 2]



PERALTA JORGE, 2017, *Arcilla*. [Imagen 3]

2.2.1 PROPIEDADES DE LA ARCILLA

- **Plasticidad:** a la adición de agua, la arcilla puede moldearse. El aumento en la plasticidad puede provocar una retención de agua que puede provocar una mayor contracción de secada y la formación de grietas. Esto se puede determinar con los índices de Atterberg (límite líquido, plástico y retracción).



- **Porosidad:** va depender del tipo de arcilla una vez adoptado el cuerpo cerámico después de la cocción. Una baja temperatura le da más porosidad a las arcillas por tener un índice elevado de absorción.
- **Merma:** con la evaporación del agua la pasta se encoge o merma durante el secado.
- **Vetrificación:** la arcilla se vuelve dura y resistente al calor, se puede realizar una buena combinación de fuerza de contracción y resistencia al choque, cuando la materia tiene una temperatura de madurez.
- **Refractariedad:** resistencia a los aumentos de temperatura sin presentar variaciones, cada arcilla tiene una temperatura específica de cocción.
- **Absorción:** capacidad de absorber materiales como aceites, gases, etc.
- **Color:** el color natural lo da el hierro, siendo un colorante común en las arcillas y rocas. La diferencia en el color depende del estado de oxidación del hierro, colores oscuros, verdosos, grises y negros en medios reductores; rojizos, amarillos o pardos en medios oxidantes. Las arcillas blancas son las más puras.

2.2.2 CONTRACCIÓN DE LAS ARCILLAS

La causa fundamental para la rotura de ladrillos es la contracción. Al 7% de contracción existe un riesgo de que las piezas se fisuren o deformen en el proceso de secado. No se puede precisar como regla general que porcentaje de retracción pueden sufrir las arcillas puesto que depende del tipo de suelo y sus características, siendo esta propiedad la que define el tamaño del producto.

La contracción que experimenta la arcilla en el secado y cocción, es conocida como contracción total y no debe ser mayor al 12%, para evitar futuras dificultades en la elaboración de ladrillos. Una pieza de arcilla se encoje durante dos etapas: en el secado ambiental y hasta 110°C y de 110°C hasta 1000°C durante el proceso de cocción.

2.2.3 SECADO DE LAS ARCILLAS

En este proceso se presentan dificultades, por la infinita variedad de arcillas, siendo este proceso diferente en cada una. Entre los factores que dificultan este proceso son: grado de finura, capacidad de absorción, necesidad de plasticidad, forma de las piezas, choque horizontal y perpendicular del aire.



- **Secado Natural:** esto se lo realiza al aire libre, sin ningún agente que pueda brindar cierto grado de calor, en este punto dependerá exclusivamente del clima.
- **Secado Artificial:** tiene como finalidad sustraer la humedad sin modificar sus propiedades, se lo realiza en hornos.

2.2.4 ESTADOS DE LA ARCILLA DURANTE EL SECADO

Existen tres estados que son graduales, partiendo desde su maleabilidad hasta su firmeza: plástico, corificada y seco.

- **Estado plástico:** su característica principal ser moldeada y mantener su forma sin deformarse. Son muy manejables, presentando dos fases: *cohesión*, donde la masa no se pega en las manos al trabajarla; *semiplasticidad* en el cual la arcilla se comporta más firme y se puede dar forma; y la *plasticidad firme* donde se puede adelgazar con los dedos una capa de arcilla al mismo tiempo se puede producir agrietamiento en los bordes.
- **Estado corificada:** por naturaleza presentan una dureza elevada y no puede ser moldeada por medios plásticos, ponen resistencia a la hoja de un cuchillo y lo único que se puede obtener son virutas de arcilla.
- **Estado seco:** en este caso la masa se desmorona al tocarla con la uña, esto puede ser contradictorio puesto que la arcilla no es más seca que el aire por el que está rodeada, a pesar de estar secándose por un lapso de tiempo. Es decir la desecación de la pasta solo se consigue con la cocción.

2.2.5 ACCIÓN DEL CALOR SOBRE LAS ARCILLAS

La propiedad de dar masas plásticas, se da con la eliminación parcial de agua a los 100°C.

La liberación de agua llamada combinación, se da entre los 300°C y 400°C, en este punto pierde la propiedad de dar masas plásticas.

La eliminación total de agua en la arcilla se da entre los 600°C y 700°C.

Propiedades como dureza y contracción se da entre los 800°C y 900°C; la sílice y alúmina forman silicato anhídrido. Se completa esta combinación a los 900°C y 1000°C.



2.2.6 EFECTOS DE LA CALIDAD DE LA MATERIA PRIMA EN LA CALIDAD FINAL DE LAS UNIDADES

Las características y propiedades de las unidades de arcilla son afectadas por la composición química y el proceso de moldeo más cocción.

Las arcillas cocidas, dan una coloración marfil, pardo, rojo o negro. Determinadas por cuatro factores: cantidad de hierro, presencia de titanio o CaO, el ambiente que rodea a la arcilla durante la cocción y enfriamiento y la temperatura alcanzada en la cocción.

La presencia de carbono puede producir unidades ennegrecidas por dentro si no se ha dado un adecuado control en el proceso de cocción; las pirritas de hierro en exceso puede ocasionar coloraciones indeseables, además de alterar la textura por la presencia de cuarteaduras en el producto final, el cuarzo disminuye la retracción y contribuyen a la refractariedad. Si se tiene un exceso de cal mayor al 10% se deformara el producto; la presencia de carbono provoca unidades hinchadas en el proceso de cocción.

La principal característica es que las unidades no deben presentar eflorescencia, es decir debe contener por debajo del 0.2% álcalis y ácidos. Los componentes que producen efectos en la resistencia a la compresión, es el sulfato de calcio y una cocción débil, provocando una unidad quebradiza con escasa resistencia; así mismo el óxido de magnesio produce deterioro por expansión de superficie si se encuentra en cantidades mayores al 1% y el sulfuro de hierro destruye la homogeneidad al oxidarse, provocando una deficiente resistencia y posterior rotura de la unidad.

2.2.7 ARCILLAS PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS

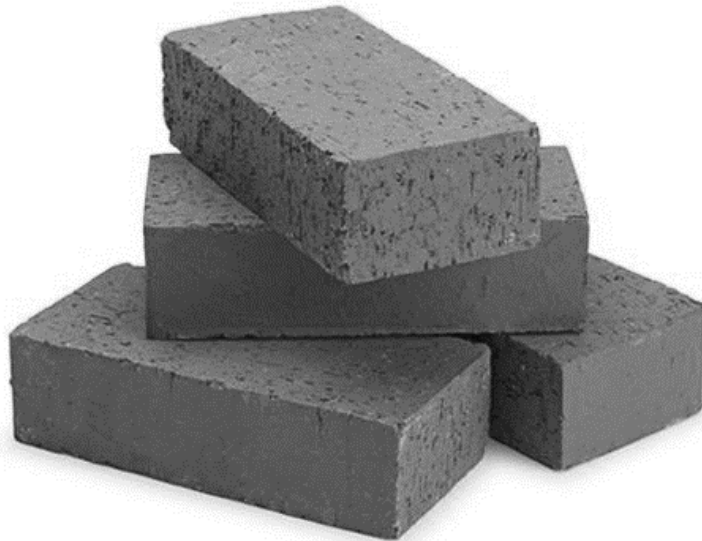
Gallegos (2005) expresa, que las condiciones y factores que influyeron en la formación de las arcillas, presentarán diferentes características que determinarán las propiedades de la mezcla en la cual forme parte, en este caso para la elaboración de ladrillos. Las arcillas superficiales satisfacen las condiciones para su fabricación, este tipo de arcillas son posibles de explotar ya que corresponden a una formación sedimentaria y por tal motivo son las más empleadas. Contradictorio a esto, al estar expuestas a la contaminación en el ambiente, producen unidades vulnerables a eflorescencias.



2.3 LADRILLO

El ladrillo es una pieza cerámica, su forma por lo general es rectangular obtenida por moldeo, secado y cocción; está conformado por tierras arcillosas. Este elemento es usado en la industria de la construcción por ser de forma regular y fácil manejo. (Imagen 4)

La Norma Técnica Ecuatoriana NTE-INEN 293, detalla que el ladrillo es un prisma regular, conformado por arcilla moldeada y cocida.



POPAYAN, (2017)., *Ladrillo Artesanal*. [Imagen 4]

2.3.1 TIPOS DE INDUSTRIAS LADRILLERAS

2.3.1.1 ARTESANALES

Elaboran sus productos de forma manual, partiendo desde la extracción del material hasta el proceso de quema, para la preparación del material se usan animales o las personas pueden realizar el proceso de batido con sus pies hasta obtener la masa adecuada para colocar en moldes de madera, en la quema se usan hornos tradicionales a leña y/o serrín. (Imagen 5)

2.3.1.2 SEMI-MECANIZADAS

Es la combinación de procesos artesanales con industriales, fabrican el ladrillo tochano pero en algunas fases pueden usar el trabajo del hombre, la quema se realiza de igual manera en hornos tradicionales.



2.3.1.3 MECANIZADAS

Se adopta la tecnología para agilizar el trabajo en la fabricación continua de tejas y ladrillos, entre los más comunes el tochano (ladrillo perforado), usan un horno industrial a gas o diésel, que distribuye el calor de manera precisa para cada unidad, dando como resultados productos con mejor resistencia. (Imagen 6)

En la ciudad de Cuenca, según Sanmartín y Tuba (2014), Sigcho es el primer sector en Sinincay en donde se originó la actividad de ladrillo y teja; además donde se crearon los primeros ladrillos semi-industrializados, siendo Isaac Patiño quien empezó mezclando dos tipos de tierra, el primero propio de la zona y el otro material de color amarillo proveniente de El Descanso.

En la presente investigación se emplea ladrillos cerámicos macizos, fabricados con la mezcla de arcillas y lodos generados en la Planta de Tratamiento de Tixán.

Según, Pacheco (2015) la Ciudad de Cuenca cuenta con: Ladrilleras Artesanales 499, Semi industriales 40, ladrilleras Industriales 5, hornos 53 y secaderos 4.



Diario El Tiempo, 2016, *Fabricación Artesanal de ladrillos.* [Imagen 5]

Diario La Tarde, 2013, *Fabricación Semi Industrial de ladrillos.* [Imagen 6]

2.3.2 PASOS PARA LA PRODUCCIÓN DE LADRILLOS

- **Obtención de la materia prima:** las personas que trabajan en la fabricación de ladrillos, cuentan con sus reservas propias, se realiza empleando herramientas manuales como picos, palas, carretillas. (Imagen 7).
- **Selección y preparación de la mezcla:** esta etapa es importante, de éste proceso depende que el producto sea bien logrado en su aspecto, resistencia, etc. (Imagen 8)

Las arcillas deben reducirse a pequeñas partículas, en procesos de trituración, homogenización y reposo en acopio, con el fin de obtener una



adecuada consistencia y uniformidad en sus características mecánicas y físicas, también se retiran manualmente piedras o cualquier material extraño; al mismo se incorpora agua en un 25% de su totalidad.

- **Moldeado:** este proceso se puede realizar a mano o empleando máquinas, en la producción artesanal se prepara el piso con arena o aserrín para que absorba los excedentes de agua y proteger el producto; colocados los moldes de madera en el piso se vierte la arcilla batida, retirando el excedente y nivelando manualmente con agua, en forma contigua se retira el molde para repetir el proceso. (Imagen 9) En la fabricación semi-mecanizada y mecanizada, la producción es mecánica.
- **Perfilado o raspado:** en el transcurso de 15 días, dependiendo de las condiciones climáticas, la arcilla moldeada ha perdido una cantidad considerable de humedad, el proceso de raspado de filos y caras del ladrillo puede realizarse con machete o pedazos de madera.



PERALTA JORGE, 2017, *Obtención de materia prima.* [Imagen 7]



PERALTA JORGE, 2017, *Selección y preparación la mezcla.* [Imagen 8]



PERALTA JORGE, 2017, *Moldeado.* [Imagen 9]



PERALTA JORGE, 2017, *Secado Artificial de ladrillo.* [Imagen 10]



- **Secado:** consiste en el desprendimiento de agua unida físicamente a la pasta, para evitar su ruptura al momento de la quema. Siendo variable el tiempo permaneciendo hasta 3 meses en el secadero con condiciones climáticas desfavorables y de 10 a 15 días con un clima idóneo, a este proceso se lo conoce como pre-secado.

En el caso de secado artificial, se da por acondicionamiento del aire, los más conocidos son los de cámara y los de túnel, las unidades son sometidas a un proceso de secado regulado al contenido de agua. Según Robusté (1969), el secado de los ladrillos es una de las partes más delicadas de la fabricación, puesto que un secado muy rápido puede relajarlos y un secado incompleto puede impedir el buen cocimiento. (Imagen 10)

- **Cocción:** consiste en someter a las piezas previamente secadas a altas temperaturas, para que adquieran propiedades mecánicas, físicas y su apariencia final.

En el sector artesanal existen hornos circulares, cuadrados, rectangulares y ovoideos, empleando el mismo ladrillo para tapar el borde superior del horno con un revoque de barro para optimizar el calor. El tiempo oscila entre 18 y 24 horas dependiendo de las condiciones climáticas. Las fases de cocción son:

- **Pre calentamiento:** donde se elimina gradualmente el agua de la arcilla, esta fase se considera terminada cuando toda la masa alcanza los 100°C.
- **Enfriamiento:** en esta fase se garantiza la dureza, tenacidad y coloración de las piezas.

Villarreal (2004), enumera cuatro etapas en el proceso:

1. Pre calentamiento a 200°C y eliminación de agua unida físicamente a la arcilla.
2. Calentamiento hasta 700°C, con eliminación de agua unida químicamente a la arcilla.
3. Entre los 900°C y 1000°C para maduración del producto.
4. Temple de la pieza, enfriamiento lento hasta alcanzar 500°C.

La etapa más compleja del proceso de fabricación del ladrillo es la cocción, se emplean varios tipos de hornos dependiendo de la fábrica o la tecnología empleada, aquí las piezas adquieren la resistencia necesaria para ser empleado como material de construcción.



2.3.3 TIPOS DE LADRILLOS

Tipo I: poseen resistencia y durabilidad bajas, siendo aptos para construcciones bajo condiciones de exigencias mínimas, evitando el contacto con la lluvia o el suelo.

Tipo II: resistencia y durabilidad medias, para uso general en construcciones bajo exigencias moderadas, así mismo evitando el contacto directo con lluvia, agua o suelo.

Tipo III: resistencia y durabilidad altas, para uso riguroso en construcciones, aptas para edificaciones a baja intemperie.

Tipo IV: resistencia y durabilidad muy alta, para uso particularmente riguroso en construcciones, pudiendo estar en contacto con lluvias intensas, suelo y agua.

Tipo V: resistencia y durabilidad elevada, específicamente para condiciones de servicio rigurosas, pueden estar en condiciones como lluvia intensa, suelo y agua.

2.3.4 PROPIEDADES DE LOS LADRILLOS

Las propiedades pueden poseer requisitos adicionales y características en base a su diseño y calidad, pero lo más importante es que deben mantener los requisitos de absorción de agua y resistencia a la compresión para uso interior, exterior o estructural. Entre las propiedades se pueden mencionar las mecánicas: resistencia a la compresión, tracción, variabilidad dimensional, alabeo, succión, porcentaje de vacíos y las físicas: eflorescencia, absorción y coeficiente de saturación.

- **Resistencia a la compresión:** es la principal propiedad y la que determina su resistencia, es decir los valores altos señalan una buena calidad en los ladrillos, para todos los fines estructurales y de exposición, mientras tanto valores bajos muestran poca resistencia y durabilidad.

El instrumental empleado para este procedimiento puede ser una máquina de compresión provista de plato con rótula de segmento esférico, siempre y cuando las superficies de contacto de sus apoyos sean iguales o mayores que las muestras de prueba. (Imagen 11)

Para realizar este ensayo es necesario que cinco muestras sean cortadas a la mitad, sus caras deben ser planas y paralelas, evitando deterioro en las aristas; en caso de presentar irregularidades en su forma o en las caras, deben éstas ser niveladas con una capa que contenga azufre en 40 o 60% con arcilla, ceniza volcánica o también se puede emplear otro material inerte. Si presenta agujeros se puede rellenar con pasta de cemento, que se dejará fraguar 24 horas, posterior a este lapso de tiempo se procederá a



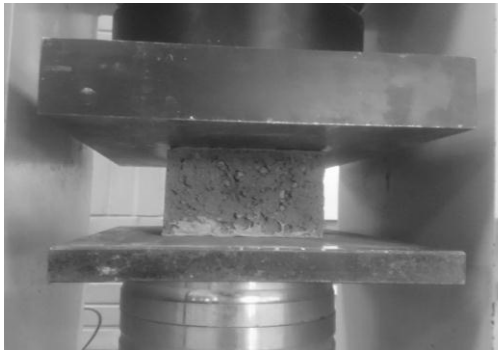
hacer el capeo. Se dejará enfriar las capas durante un tiempo de dos horas. (Imagen 12)

Las muestras van a ser ensayadas colocando las unidades en el centro con respecto a la rótula, de tal manera que la carga aplicada vaya en la dirección de su menor dimensión, la mitad de la carga máxima posible se aplicará a cualquier velocidad y la carga restante se aplicará gradualmente, en un tiempo no menor a un minuto ni superior a dos.

- **Absorción de humedad:** la absorción máxima es considerada como una medida de su impermeabilidad.

En este proceso se determina las masas de una pieza de ladrillo antes y después de sumergirla en agua, la cual permite conocer el valor de la absorción de la humedad.

Las unidades de ladrillo serán pesadas en seco, para poder sumergirlas en agua destilada a una temperatura de 15°C a 30°C por 24 horas, retirar el exceso de agua levemente con una toalla húmeda antes de volver a pesarlas en 5 minutos máximo de sacada del agua. (Imagen 13-14)



PERALTA JORGE, 2017, *Maquina de compresión.* [Imagen 11]



PERALTA JORGE, 2017, *Capeo con macilla automotriz.* [Imagen 12]



PERALTA JORGE, 2017, *Sumersión de ladrillos en agua.* [Imagen 13]



PERALTA JORGE, 2017, *Pesaje de ladrillos después de sumersión.* [Imagen 14]



2.4 LODOS PROVENIENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP)

En Ecuador así como en otros países, la potabilización del agua ha originado un problema de manejo y disposición de lodos generados durante su tratamiento, debido a que dichos lodos retienen un alto contenido de agua, además de presentar una baja capacidad de deshidratación, en particular aquellos que son producidos por el uso de sulfato de aluminio como coagulante. Como requisito ambiental se exige que los lodos sean colocados en el relleno sanitario de la ciudad, para no afectar terrenos que no tienen ningún tratamiento, provocando un severo daño al ambiente. El volumen generado de lodos representa entre el 0.3 y 1% del agua tratada. (Sandoval et al., 1998)

2.4.1 PLANTAS POTABILIZADORAS DE LA REGIÓN

La ciudad de Cuenca y varios sectores periurbanos cuentan principalmente de tres plantas urbanas consideradas las más importantes. La planta de El Cebollar con una capacidad instalada de 1000 l/s, planta de Tixán con una capacidad instalada de 860 l/s, mientras que la planta de Sustag tiene una capacidad instalada de 460 l/s. Además se cuenta de 17 plantas rurales, entre las cuales podemos nombrar las siguientes: San Pedro (40 l/s), Culebrillas (150 l/s), Cumbe (14 l/s), Irquis (35 l/s), Quingeo- Pillachiquir (7 l/s), Sinincay (30 l/s), Zhizho (3 l/s), Tutupali Grande (7 l/s), Tutupali Chico (3 l/s), Farez (3 l/s), Santa Ana (5 l/s), Sayausí (15 l/s), Maluay (2 l/s), Checa (22 l/s), Santa Teresita de Chiquintad (7 l/s), Atuc-Loma (5 l/s) y Putucay (15 l/s).

La cobertura de abastecimiento de agua potable en el área urbana de la ciudad de Cuenca es el 96% y en el área rural es del 88%.

2.4.2 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE TIXÁN

Se encuentra ubicada en el sector de Tixán, perteneciente a la parroquia de Chiquintad, cuyas coordenadas son: X = 723118; Y = 9686744 WGS84, a una cota de 2692 m.s.n.m.

Se localiza a un 1 km. aproximadamente del sector de Ochoa León, se accede desde la Vía a Chiquintad, por un camino de lastre que se dirige hacia la comunidad de Tixán.



2.4.3 CARACTERÍSTICAS DE LA PTAP DE TIXÁN

La Planta de Tratamiento de Tixán trata alrededor de 600 l/s con capacidad máxima de 840 l/s, actualmente se amplía a una capacidad de 1400 l/s. La planta abastece cerca del 44% de la población de la zona, en los siguientes sectores: Hermano Miguel, Bellavista, Parque Industrial, Huayna Cápac, Challuabamba, El Valle, Totoracocha y Nulti.

El abastecimiento de agua cruda de la planta es el Río Machángara, cuya cuenca de aporte tiene una extensión de 208 km² aproximadamente, misma que se regula en la zona alta, por las presas de El Labrado y Chanlud. La captación de agua cruda empieza en la descarga proveniente de la Central Hidroeléctrica de Saymirín.

El Río Machángara muestra fluctuaciones considerables de caudal y calidad a lo largo del año, alteradas por las condiciones climáticas correspondientes a las estaciones de invierno y verano, a pesar de las regulaciones implantadas. Estas alteraciones en sus parámetros físicos son rápidas y normalmente de corta duración.

El primer módulo de la PTAP, es de tipo Convencional, es decir, conformada por los procesos de coagulación, floculación, decantación, filtración rápida y desinfección.

Durante la Primera Fase de los Planes Maestros (1992), la PTAP de Tixán se concibió, en dos módulos idénticos. (“MEMORIA TECNICA PLANTA DE TIXAN.pdf,” 2015)

El módulo I entró en funcionamiento en 1996, mientras que el módulo II empezó su construcción en marzo del 2017, con una capacidad de 1100 l/s. Con ésta ampliación, la planta en mención abastecerá alrededor de 550.000 habitantes de la ciudad de Cuenca. (Cuenca.gov.ec., 2017)

2.4.4 ADICIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO

Dispone de tres tanques en paralelo para la preparación de la solución de sulfato de aluminio, cada tanque tiene una capacidad de 20m³.

La solución se prepara con 13 sacos de sulfato de aluminio vaciados en cada tanque, lo que equivale a una concentración de sulfato de aluminio de 3.25% aproximadamente.

La planta emplea el sulfato de aluminio granulado tipo B, el cual tiene una concentración de alúmina soluble (Al₂O₃) del 15.3%.



2.4.5 CARACTERÍSTICAS DEL TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES DE LAVADO DE UNIDADES

El tratamiento de los efluentes de lavado de unidades cuenta con las siguientes unidades:

2.4.5.1 DECANTADORES

Son dos depósitos que operan en paralelo, reciben los afluentes provenientes de las descargas de los sedimentadores y lavado de filtros. El volumen total de ambos depósitos es de 2.83 m³.

Consiste en separar las fracciones sólidas y agua capilar del lodo, mediante diferencia de densidades de manera natural por acción de la gravedad.

2.4.5.2 ESPESADORES

Son dos unidades configuradas para operar en paralelo. El objetivo de estas dos unidades es alcanzar la máxima concentración posible de sólidos, antes de la etapa final de deshidratación.

El lodo espeso se extrae del fondo de estas unidades, mediante bombas hacia la fase final de deshidratación mecánica.

2.4.5.3 DESHIDRATACIÓN DE LODOS

El proceso de deshidratación de lodos está conformado por las etapas que se indican a continuación:

- **Filtros Banda**

Esta etapa tiene una función importante y consiste en la reducción del volumen de agua capilar y de adhesión, con el objetivo de tornar económico su transporte hasta su disposición final.

Este sistema tiene dos filtros banda de 1.50 m de ancho. Se adiciona previamente un polímero al lodo y se transporta posteriormente entre dos bandas sin fin, provocando la compresión progresiva del lodo. Los lodos deshidratados alcanzan una concentración del 15 al 20%.

- **Almacenamiento Temporal de Lodos Deshidratados**



Los lodos deshidratados son recogidos y trasladados, hasta una tolva, en el cual se almacenará para ser descargados en volquetas para su disposición final.

- **Disposición Final de Lodos Deshidratados**

Debido a la caracterización de los lodos aluminosos y el método empleado para su deshidratación, éstos presentan concentraciones de aluminio, cargas orgánicas y microbiológicas elevadas; por lo que serán transportados al relleno sanitario de Pichacay.

2.4.6 INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE LODO ALUMINOSO

NTE-INEN 297 (1977) establece que la resistencia mínima a la compresión de ladrillos cerámicos será 80 kg/cm^2 y un grado de absorción de 25% para ladrillo panelón hecho a mano. Mientras que ICONTEC (2003) establece para ladrillos cerámicos de uso estructural y no estructural una resistencia mínima de 150 y 100 Kg/cm^2 respectivamente. Mientras las normas brasileña ABNT (1992) y española AECOM (2005) exigen una resistencia a la compresión menos de 100 Kg/cm^2 y el 25% como valor máximo para el grado de absorción.

Según Torres, Hernández y Paredes (2012) la dosificación de sulfato de aluminio varía de acuerdo a la estaciones del año, la cual se incrementa en época invernal, creando una mayor concentración de hidróxidos de aluminio que incrementan su contenido de alúmina en el lodo, que de acuerdo a las investigaciones de Chen-Feng-Chao (1994), Stamenkovic et al. (1977) y Salvini et al. (2001) conllevaría a elementos finales más resistentes.

Además que el contenido de alúmina del 20 al 30% le da plasticidad a la arcilla, pero en grandes cantidades podría provocar contracciones elevadas en el secado de las unidades cerámicas.(CONSTRUAPRENDE, 2012)

El grado de absorción tiene un efecto estadísticamente significativo según el porcentaje de arcilla reemplazada por lodo aluminoso, de igual manera pero con una tendencia decreciente la resistencia a la compresión. De tal manera que el incremento en la incorporación de lodo genera una tendencia decreciente en la resistencia mecánica y una tendencia creciente en la capacidad de absorber agua, así que el porcentaje de lodo adecuado para reemplazarse en las mezclas para la elaboración de ladrillos sería un 10%.(Torres et al., 2012)

Chen-Feng y Yung-Chao (1994) determinaron que retienen humedad a pesar de que los lodos tienen una alta compresibilidad por lo que se sugiere incrementar el período de secado antes de la cocción, o reducir la humedad inicial del lodo antes del proceso de reemplazo del mismo.



Andreolli (2004) consiguió a través de una incorporación del 4.17% de lodos en las mezclas, resistencias a la compresión entre 80 y 100 kg/cm². Mientras que Nuvalori (2002) obtuvo una resistencia mecánica a la compresión de 250 kg/cm² adicionando 10% de lodo y mediante una adición de lodo del 30 y 40% logró 150 kg/cm². Por otra parte Guimaraes y Morita (2003) indican que se podría incorporar el 45% de lodo en las mezclas con una humedad presente en el lodo del 40%, y el 10% de lodo para una humedad del 75%.

Zhao (2002) propone que se puede obtener una estructura más estable y rígida incorporando acondicionadores físicos. Debido a que se tiene como ejemplo a Espetjel et al (2002) quien encontró el 29% de absorción de humedad con el 50% de lodos aluminosos.

2.4.7 CARACTERÍSTICAS DEL LODO

Los lodos generados en la PTAP están compuestos especialmente por óxidos e hidróxidos procedentes de coagulantes y otros reactivos que se adicionan al agua tratada.

Las características del lodo depende del origen del agua cruda, caudal tratado, cantidad de reactivos adicionados y los sistemas empleados en el tratamiento del agua; pueden cambiar diaria, estacional o anualmente, motivo que exige un mayor control en la caracterización de los lodos generados luego del proceso de tratamiento.

Las pruebas realizadas en esta investigación se basaron en lodos recolectados en época de invierno y almacenados por cuatro meses en el interior de la tolva.



3 EXPERIMENTACIÓN

3.1 NORMATIVA

Se siguió el procedimiento descrito en la Norma Técnica Ecuatoriana del Instituto Ecuatoriano de Normalización (NTE-INEN), para los temas o capítulos que pertenecen a ladrillos y particularmente a ladrillos cerámicos.

Las normas adoptadas para la presente investigación son las siguientes: NTE-INEN 293, fecha de confirmación 2014-06-04; NTE-INEN 294, fecha de aprobación 1977-05-19; NTC-ICONTEC 451; NTE-INEN 296, fecha de primera revisión 2015-09-03; NTE-INEN 297, fecha de confirmación 2014-06-03; NTE-INEN 317, fecha primera revisión 2014-10-29.

Los ladrillos fabricados para esta investigación son ladrillos cerámicos macizos (panelón) tipo C, elaborados a mano, con una materia prima conformada por dos tipos de arcilla (Tipo I y II) y lodo aluminoso, materiales con suficiente plasticidad según indica la norma NTE-INEN 293. La cocción se realizó a 1000 °C, superior a la temperatura mínima de 800 °C que exige la norma.

Se fabricaron ladrillos de color rojizo, anaranjado, que al golpear con un material duro, emite un sonido metálico según exige NTE-INEN 293. Las dimensiones de los ladrillos se realizaron en un molde de 29x14.5x8.7cm con dimensión modular de 1.5Mx2.5Mx5M según NTE-INEN 317 Capítulo 3.

Se ensayó las piezas de arcilla, para determinar sus propiedades físico-mecánicas, conforme estipulan las normas NTE-INEN-294 e ICONTEC 451.

Las unidades de ladrillo deben cumplir una resistencia mínima a la compresión de 80 kgf/cm² (8Mpa) y un grado de absorción máximo del 25% según exige NTE-INEN 297. (Cuadro 1)

Cuadro 1. Requisitos de Resistencia Mecánica y Absorción de la Humedad que deben cumplir los Ladrillos Cerámicos Macizos.

Tipo de Ladrillo	Resistencia Mínima a la Compresión (kgf/cm ²)		Absorción Máxima de Humedad (%)
	Promedio de 5 unidades	Individual	Promedio de 5 unidades
Macizo Tipo A	250	200	18
Macizo Tipo B	160	140	18
Macizo Tipo C	80	60	25

Fuente: INEN; Elaboración: Propia



3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

Se presentan a continuación los materiales y equipos utilizados para realizar los distintos ensayos de caracterización de arcillas y lodos. De igual manera se especifican los equipos usados en las etapas de secado artificial y cocción de las unidades de arcilla, así como los aparatos para determinar las propiedades mecánicas de los ladrillos cerámicos.

- **Límite Líquido:** se requiere la cuchara de casa grande, tamiz #4, horno y balanza.
- **Límite Plástico:** se requiere del tamiz #40, balanza electrónica Ohaus para 600gr y una estufa marca Electric Life.
- **Granulometría:** se requiere de un horno, juego de tamices, balanza electrónica tipo Ohaus para 2400gr, tamizadora marca Maquisuelos.
- **Secado Artificial:** se requiere una estufa de secado y esterilización por aire forzado, marca Selecta.
- **Cocción de Ladrillos:** se requiere un Horno Mufla marca Nabertherm, con temperatura máxima de 1200°C.
- **Ensayo de la Resistencia a la Compresión:** se emplea una máquina para ensayos de compresión y flexión, ACCU-TEK Touch 350, con capacidad de 1.555 KN.
- **Ensayo de Absorción de Agua:** se requiere una balanza electrónica tipo Ohaus para 24000gr, una bandeja y un tanque galvanizado para inmersión del ladrillo.

3.3 LABORATORIOS

- **Ensayos de Límites de Atterberg, humedad y distribución granulométrica:** se realizó en el Laboratorio de Suelos de Geoproject, propiedad de la Ing. Cristina Vintimilla Ávila.
- **Ensayos del Análisis Químico de los Materiales Constitutivos y Secado Artificial de Ladrillos:** se realizó en el Laboratorio de Análisis Técnico - Cerámico del Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos (CESEMIN), con la dirección del Ing. Damián Flores.



- **Cocción de Ladrillos:** se realizó en el Laboratorio de Cerámica y Manipulación de Sólidos, de la Facultad de Ciencias Químicas, de la Universidad de Cuenca. Manejo y control del horno para la quema de ladrillos a cargo de la Ing. Catalina Peñaherrera.
- **Ensayos del Grado de Absorción de Agua y Resistencia a la Compresión:** se realizó en el Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas de la Facultad de Arquitectura, de la Universidad de Cuenca a cargo del Arq. Edison Castillo C.

3.4 CANTERAS Y MATERIA PRIMA

En el Azuay se utilizan arcillas rojas, negras y amarillas, que dependiendo de las características geológicas de la zona donde se encuentran las canteras, varían la composición de los materiales.

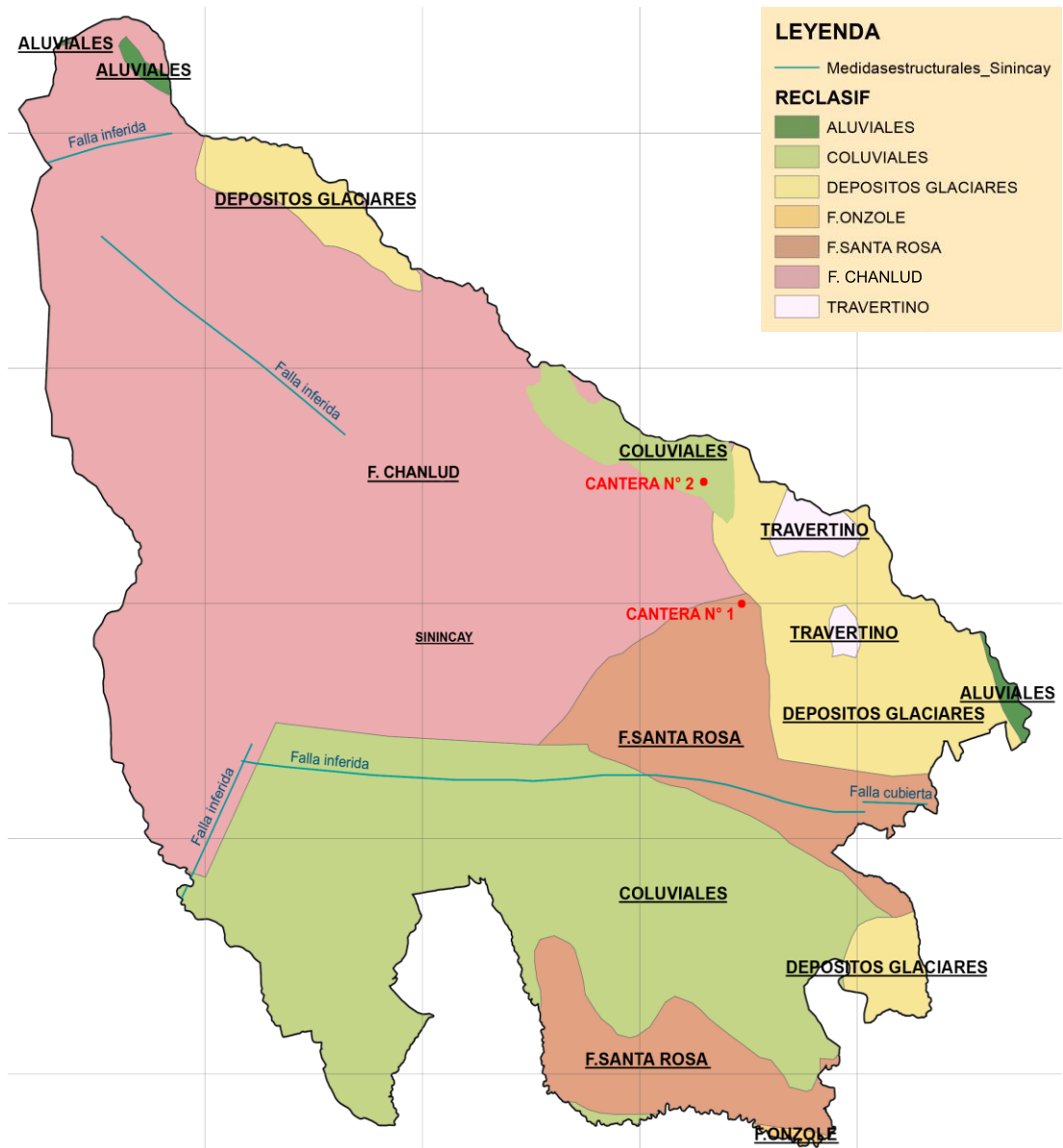
Los yacimientos explotados para obtener la materia prima de esta investigación, se denominarán respectivamente, cantera N°1 para la mina que contiene la arcilla amarilla y cantera N°2 para la mina que contiene la arcilla negra.

Se extrajo las arcillas de dos yacimientos cercanos entre sí, aproximadamente 500m de distancia, ubicadas en el sector de El Salado, perteneciente a la parroquia de Sinincay; esta zona es aprovechada por varios artesanos del sector ladrillero para la extracción de materia prima y posterior producción de los ladrillos.

Para el caso de estudio la cantera N°1, se ubica sobre la Formación Santa Rosa, donde predominan depósitos de clastos gruesos, conglomerados con cantos intrusivos en matriz variada rica en ceniza volcánica con lutitas rojas arenosas y limosas.

La cantera N°2, se localiza sobre un Depósito Coluvial, éste depósito al igual que otros en la zona se transformó en Depósitos Coluviales por acción antrópica. Esta acción se debe en parte, a la explotación de canteras sin control adecuado, que al pasar el tiempo se deslizan generando estos depósitos. La ubicación de las dos canteras se muestra en la Imagen 15.

Los Depósitos Coluviales se puede originar por deslizamientos, derrumbes entre otros, por tal motivo se componen por mezclas heterogéneas de bloques y fragmentos angulares en matriz limo arcillosa o arenosa.



IGM, 1999. Carta Geológica de Cuenca, Geología Parroquia Sinincay. [Imagen 15]

La explotación de la cantera N°2 inició aproximadamente hace 11 años, mientras que la cantera N°1 empezó hace 5 años. La explotación de las mismas es a través de herramienta menor en parte y otra con maquinaria pesada (retroexcavadora); ambas canteras abastecen a tres artesanos que viven en el sector.



La altura de banco de la cantera N°1 tiene una dimensión estimada de 6.00 m, mientras que la cantera N°2 presenta un alto estimado de 3.50 m, ésta altura se debe a un relleno realizado años atrás para recuperar la inestabilidad del sitio explotado. (Imagen 16-17)



PERALTA JORGE, 2017,
cantera N°1.
[Imagen 16]



PERALTA JORGE, 2017,
cantera N°2.
[Imagen17]



3.5 TOMA DE MUESTRAS



PERALTA JORGE, 2017,
Arcilla Amarilla Tipo I.
[Imagen 18]



PERALTA JORGE, 2017,
Arcilla Negra Tipo II.
[Imagen 19]



PERALTA JORGE, 2017,
Lodo Tixán. [Imagen 20]

Conocidos los procedimientos del sistema constructivo, materiales disponibles, herramientas y equipos a utilizar, se puede en primera etapa realizar la caracterización de los elementos constitutivos de este experimento, como es el caso de las arcillas propias para elaborar los ladrillos y los lodos aluminosos.

Se seleccionó dos tipos de arcilla, Amarilla Tipo I y Negra Tipo II, las mismas que en mezcla conforman un ladrillo típico que se elabora en el sector ladrillero. (Imagen 18-19-20)

Los lodos que se emplearon como parte del material, son generados de la potabilización de agua en la Planta de Tratamiento de Tixán (Imagen 21), encontrándose almacenados en la tolva por cuatro meses aproximadamente, se consiguió muestras de diferentes puntos de la tolva de almacenamiento, para que los datos sean más relevantes. (Imagen 22) Estos lodos se obtuvieron en estado húmedo, para su posterior secado natural mediante exposición directa al ambiente.

Con los materiales constitutivos se empieza la etapa de secado inicial, se toma una muestra de cada uno de los elementos para realizar los diferentes ensayos, con la finalidad de conocer sus propiedades físicas, químicas y mineralógicas.



PERALTA JORGE, 2017, *Tolva.*
[Imagen 21]



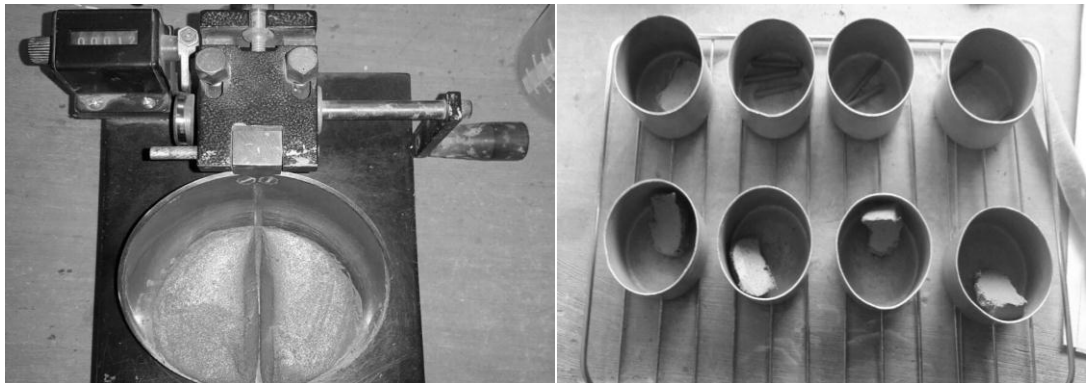
PERALTA JORGE, 2017,
Lodos almacenados en Tolva.
[Imagen 22]



3.6 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES CONSTITUTIVOS

Las características físicas de los lodos aluminosos y arcillas Tipo I y II se determinaron en el Laboratorio de Suelos de Geoproject se analizó cada uno de los tres materiales, para obtener los siguientes resultados:

- Granulometría
- Límites de Atterberg (límite plástico, límite líquido) (Imagen 23)
- Humedad (Imagen 24)



PERALTA JORGE, 2017, *Límites de Atterberg*. [Imagen 23]



PERALTA JORGE, 2017, *Granulometría y Humedad* [Imagen 24]

En el laboratorio de Análisis Técnico - Cerámico del Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos (CESEMIN), se analizó la composición mineralógica en los tres materiales, se obtuvo la cantidad de los siguientes minerales: Óxido de Silicio, Óxido de Aluminio, Óxido de Hierro, Óxido de Calcio, Óxido de Magnesio, Óxido de Sodio, Óxido de Potasio y pérdidas al fuego. Para éste proceso se utilizó el Método de Fusión con Hidróxidos, Extracción Ácida y Espectroscopia de Absorción Atómica de llama.



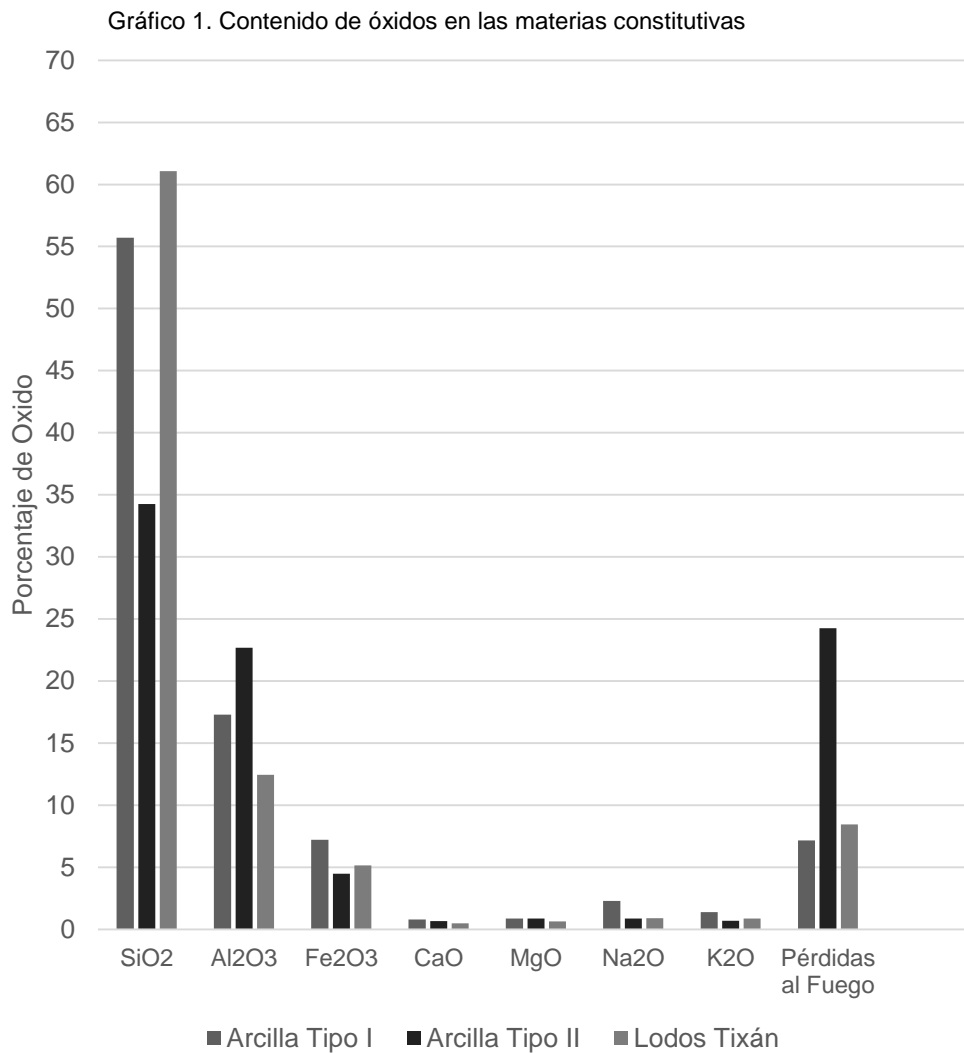
Con la caracterización de los materiales, se continúa con la dosificación de las distintas mezclas que serán consideradas en este estudio.

Para éste caso se realizará cinco dosificaciones alterando la *arcilla Tipo I* (Arcilla Amarilla) por *lodos de Tixán*. Se considera que de acuerdo a los ensayos realizados a los materiales presenta cierta similitud entre la *Arcilla Tipo I* (Arcilla Amarilla) y los Lodos de Tixán. (Cuadro 2)(Gráfico 1)

Cuadro 2. Contenido de oxidos en las materias constitutivas

% Óxido	Arcilla Tipo I	Arcilla Tipo II	Lodos Tixán
SiO ₂	55.71	34.26	61.08
Al ₂ O ₃	17.30	22.67	12.45
Fe ₂ O ₃	7.20	4.49	5.15
CaO	0.80	0.66	0.49
MgO	0.86	0.87	0.64
Na ₂ O	2.28	0.86	0.90
K ₂ O	1.38	0.69	0.88
Pérdidas al Fuego	7.15	24.26	8.46

Elaboración: Propia



3.7 DOSIFICACIÓN POR PORCENTAJES DE LODOS

Para el caso de estudio se inicia con una mezcla cuya dosificación no contiene lodos, denominada mezcla N° 1, misma que servirá de “Testigo”, para comparar con aquellas mezclas que si contienen lodos en sus dosificaciones.

Estudios existentes concluyen que los porcentajes adecuados para reemplazar las arcillas por lodos aluminosos son alrededor del 5 y 10%, motivo por el cual se ha considerado mantener dichas dosificaciones, mismas que se denominan mezcla N° 2 y mezcla N° 3, respectivamente.



Se incluyen finalmente dos mezclas más, con el 20 y 40 % de adición de lodos para conocer las propiedades que adquieren los ladrillos con una mayor sustitución de arcillas por lodos. Por lo antes expuesto, se preparará cinco mezclas con las siguientes dosificaciones: 60:40:0; 06:35:5; 60:30:10; 60:20:20; 60:0:40. (Imagen 25-31)

Durante la etapa de secado de los materiales constitutivos, se obtuvo la humedad de cada material en diferentes días para determinar la capacidad de las arcillas y el lodo, de absorber o ceder humedad al ambiente.

Siendo válida la última humedad, que permitió establecer la cantidad requerida de cada uno de los materiales a ser mezclados. El porcentaje de humedad se muestra a continuación: Para la arcilla Tipo I, arcilla Tipo II y Lodos Tixán, el porcentaje de humedad presente es del 13.00, 10.74 y 70.88%, respectivamente.

La humedad excesiva retenida por los lodos de Tixán se debe a la cantidad de Sulfato de Aluminio introducido en dichos lodos y por ser un material higroscópico.

La dosificación de las mezclas se indica en el Cuadro 3, valores que indican el porcentaje de cada material para las cinco mezclas, en el Cuadro 4 se muestra los datos necesarios como la cantidad de ladrillos por cada mezcla, el peso por ladrillo y el peso total por mezcla. Se fijó como lote mínimo 10 unidades de arcilla para la dosificación uno, puesto que se requiere para ensayos físico-mecánicos, 10 ladrillos mínimo según estipula la norma y un lote máximo de 35 unidades para la dosificación tres, puesto que investigaciones precedentes concluyen que los mejores resultados se alcanzaron con porcentajes de lodo cerca al 10%.

Para las dosificaciones tres y cuatro, se estableció lotes de 20 unidades, por tratarse de las dosificaciones con el porcentaje más alto de lodos adicionados en este estudio. Finalmente la dosificación dos se conformó con un lote de 15 unidades.



PERALTA JORGE, 2017, *Dosificación de lodos en cada mezcla.* [Imagen 25]



PERALTA JORGE, 2017, *Conservación de humedad de los lodos.* [Imagen 26]



Cuadro 3. Datos para dosificación de las mezclas.

Tipo de Mezcla	Cantidad de Ladrillos	Peso por Ladrillo	Peso Total de Ladrillos
	U	kg	Kg
1	10	5	50
2	15	5	75
3	35	5	175
4	20	5	100
5	20	5	100
Total	100	25	500

Fuente: propia

Cuadro 4. Porcentaje de mezclas según tipo de material.

Tipo de Mezcla	Arcilla Tipo II	Arcilla Tipo I	Lodos Tixán
	%	%	%
1	60	40	0
2	60	35	5
3	60	30	10
4	60	20	20
5	60	0	40

Fuente: propia



PERALTA JORGE, 2017, *Dosificación 1.*
[Imagen 27]



PERALTA JORGE, 2017, *Dosificación 2.*
[Imagen 28]



PERALTA JORGE, 2017, *Dosificación 3.*
[Imagen 29]



PERALTA JORGE, 2017, *Dosificación 4.*
[Imagen 30]



PERALTA JORGE, 2017, *Dosificación 5.*
[Imagen 31]



El porcentaje de arcilla Tipo I se mantiene constante en las cinco mezclas, mientras la arcilla Tipo II, se reemplaza gradualmente del 0 al 40% por Lodos de Tixán.

Cuadro 5. Peso Neto según el tipo de mezcla.

Tipo de Mezcla	Arcilla Tipo II	Arcilla Tipo I	Lodos Tixán
	kg	kg	Kg
1	30.00	20.00	0.00
2	45.00	26.25	3.75
3	105.00	52.50	17.50
4	60.00	20.00	20.00
5	60.00	0.00	40.00
Total	300.00	118.75	81.25

Elaboración: Propia

Cuadro 6. Peso Bruto según el tipo de mezcla.

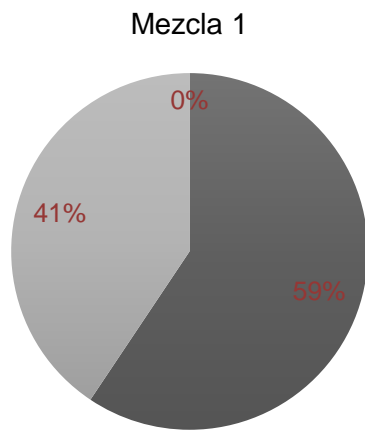
Tipo de Mezcla	Arcilla Tipo II	Arcilla Tipo I	Lodos Tixán
	kg	kg	Kg
1	33.61	22.99	0.00
2	50.41	30.17	12.88
3	117.63	60.34	60.10
4	67.22	22.99	68.68
5	67.22	0.00	137.36
Total	336.10	136.49	279.02
Humedad (%)	10.74	13.00	70.88

Elaboración: Propia

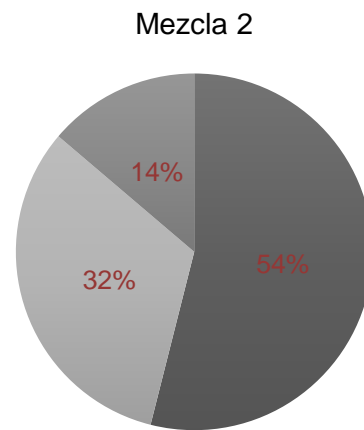
Los Cuadros 5 y 6, nos muestran los valores calculados para peso neto y bruto, respectivamente, de los materiales constitutivos, para cada dosificación de estudio. El peso bruto considera el porcentaje de humedad relativa que se determinó para cada muestra, mientras el peso neto, sólo considera el porcentaje de acuerdo a la dosificación, multiplicado por el peso total que tiene el lote de la mezcla en análisis, sin incorporar la humedad presente en cada material.



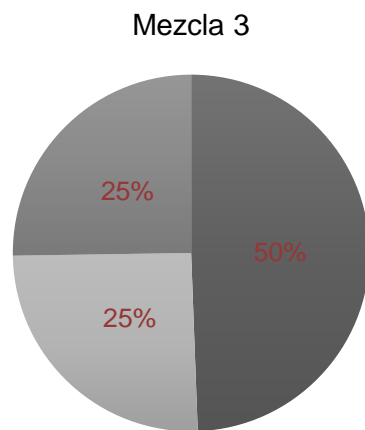
Gráfico 2. Cantidad de los materiales constitutivos en cada mezcla.



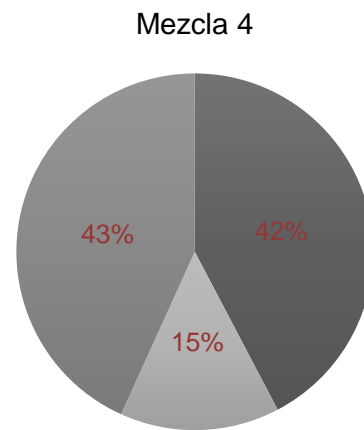
■ Arcilla Tipo II ■ Arcilla Tipo I
■ Lodos Tixán



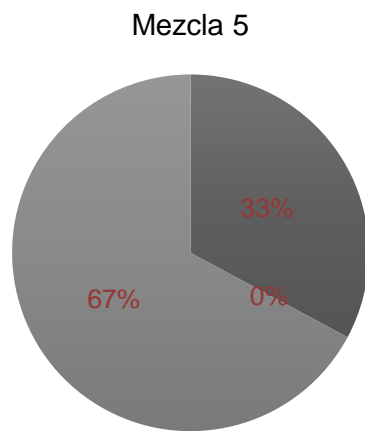
■ Arcilla Tipo II ■ Arcilla Tipo I
■ Lodos Tixán



■ Arcilla Tipo II ■ Arcilla Tipo I
■ Lodos Tixán



■ Arcilla Tipo II ■ Arcilla Tipo I
■ Lodos Tixán



■ Arcilla Tipo II ■ Arcilla Tipo I
■ Lodos Tixán

Porcentaje Total de Materiales Constitutivos

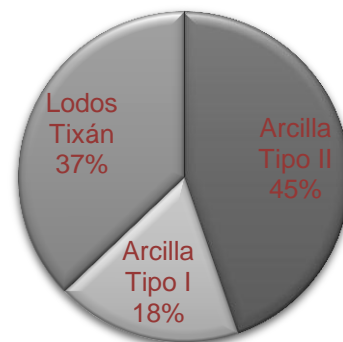
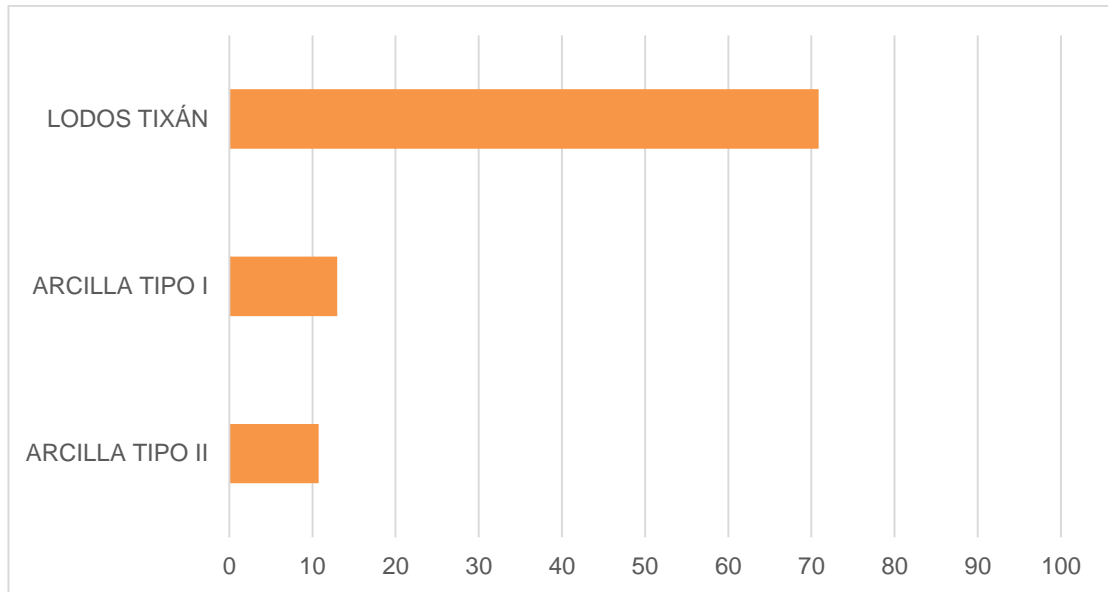




Gráfico 3. Porcentaje de Humedad presente en cada Material Constitutivo



La Gráfica 3, nos muestra el elevado contenido de humedad que retienen los lodos de Tixán, siendo seis veces mayor al porcentaje de humedad de las arcillas tipo 1 y 2. Lo que representa que la cantidad de lodos se incrementa considerablemente en las mezclas de diseño.



4 DISEÑO EXPERIMENTAL

4.1 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Establecidas las dosificaciones se procede a elaborar la cantidad de cada mezcla, previo secado y molido de los diferentes materiales.

Cada cantidad fue colocada en sacos, pesados previamente. Para el caso de los lodos el control fue mayor, ya que el material es higroscópico y tiene una capacidad de perder o ganar agua rápidamente. La materia prima fue almacenada en un espacio apropiado, fresco y ventilado que no permitía un exceso de temperatura o presencia de agua.

Para el secado de la materia prima, se esparció el material en plásticos, vigilando que no se contaminen con otros materiales, eliminando a su vez residuos existentes provenientes de la extracción de la materia prima en las canteras (restos vegetales, raíces y material pétreo) y secar al sol de forma natural para mantener las características del mismo. (Imagen 32-33)



PERALTA JORGE, 2017, *Tendido de Material Arcilla Tipo I y Tipo II.* [Imagen 32]



PERALTA JORGE, 2017, *Tendido de Material Lodo de Tixán.* [Imagen 33]



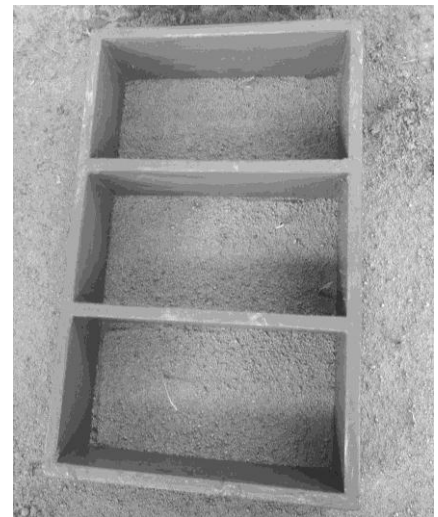
4.2 FABRICACIÓN DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES

Cada dosificación de los materiales, fue dispuesta en un recipiente para el mezclado correspondiente, tomando en cuenta que en algunas dosificaciones la mezcla se tardó aún más; el batido fue constante para que la masa adquiriera una consistencia adecuada para su posterior colocación en los moldes. (Imagen 34)

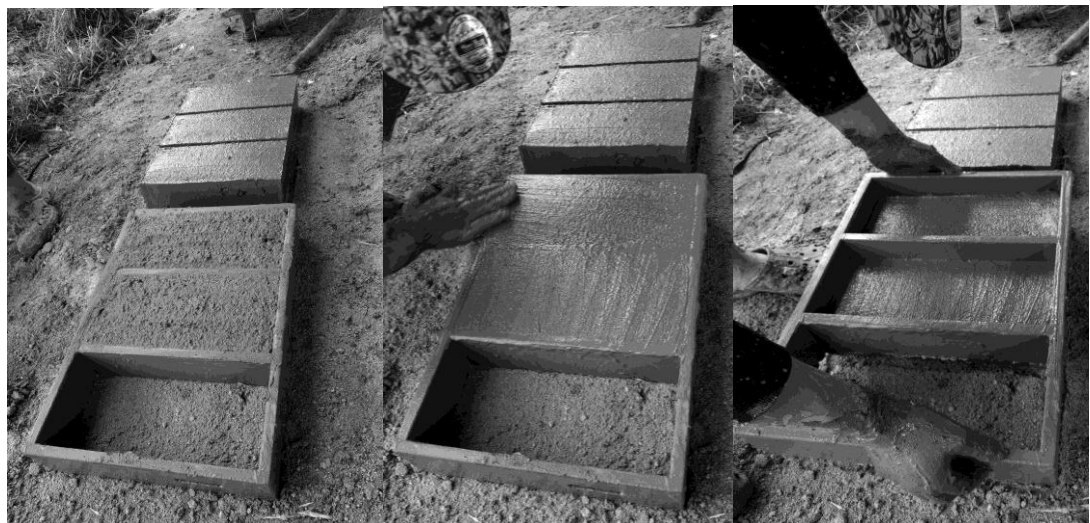


PERALTA JORGE, 2017, *Mezcla de material.* [Imagen 34]

En la elaboración de los ladrillos, se procede a colocar la mezcla en moldes de madera con una dimensión de 28x14x9cm (Imagen 35), se esparce arena en el piso para evitar que se adhiera o contamine el material, una vez colocada la mezcla en los moldes, se acomodó al material dentro del mismo para que exista la menor cantidad de vacíos; se retira el exceso de material en la parte superior, a continuación se procede a nivelar manualmente con agua, se desmolda quedando el ladrillo fijo en su cara inferior para su posterior secado al ambiente. (Imagen 36)



PERALTA JORGE, 2017, *Molde de Madera.* [Imagen 35]



PERALTA JORGE, 2017, *Proceso para elaboración de ladrillo.* [Imagen 36]



Se fabricaron un total de 100 unidades de ladrillo, 10_u con la dosificación 1; 15_u con la dosificación 2; 35_u con la dosificación 3; 20_u con la dosificación 4 y 20_u con la dosificación 5.

4.3 SECADO DEL LADRILLO

Durante el proceso de secado natural de cada ladrillo, se verifica que los rayos solares no alteren significativamente el proceso de secado y contracción de las unidades (Imagen 37); aunque la presencia de los lodos y su capacidad de conservar la humedad entre sus partículas, permite que las muestras presenten agrietamientos, en algunos casos significativos como la dosificación 5 (contenido de lodos en un 40%), que presentó pequeños desprendimientos de material durante la etapa de secado natural de las piezas cerámicas.

En su totalidad, los ladrillos se secaron al ambiente en un tiempo de 10 días, en este tiempo fueron “parados” (Imagen 38), para después perfilar o raspar y así posteriormente entrar en un proceso de secado artificial en estufa en el Laboratorio de Análisis Técnico - Cerámico del Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos (CESEMIN), siendo dispuestas las piezas, en 5 bandejas con capacidad para 5 unidades respectivamente. La estufa se programó a una temperatura constante de 110°C, durante 24 horas consecutivas. (Imagen 39-40)

Una vez realizado el secado artificial, cada unidad fue seleccionada considerando el grado de agrietamiento. La dosificación 5 fue descartada para entrar al proceso de cocción, debida a su alto grado de agrietamiento en cada unidad y pérdida de estabilidad en varias piezas. (Imagen 41)



PERALTA JORGE, 2017, *Secado natural de ladrillo*. [Imagen 37]



PERALTA JORGE, 2017, *“Parado” de ladrillo*. [Imagen 38]



PERALTA JORGE, 2017, *Secado artificial de ladrillo.* [Imagen 39]



PERALTA JORGE, 2017, *MUFLA Horno para secado artificial.* [Imagen 40]



PERALTA JORGE, 2017, *Dosificación 5 posterior a su secado artificial.* [Imagen 41]

4.4 PROCESO DE QUEMA DEL LADRILLO CERÁMICO (PANELÓN)

La cocción se efectuó en el Laboratorio de Cerámica y Manipulación de Sólidos, de la Facultad de Ciencias Químicas, de la Universidad de Cuenca, en un Horno Mufla marca Nabertherm, a una temperatura de 1000°C, por un lapso de ocho horas, con incrementos secuenciales de temperatura. (Cuadro 7)(Imagen 42)

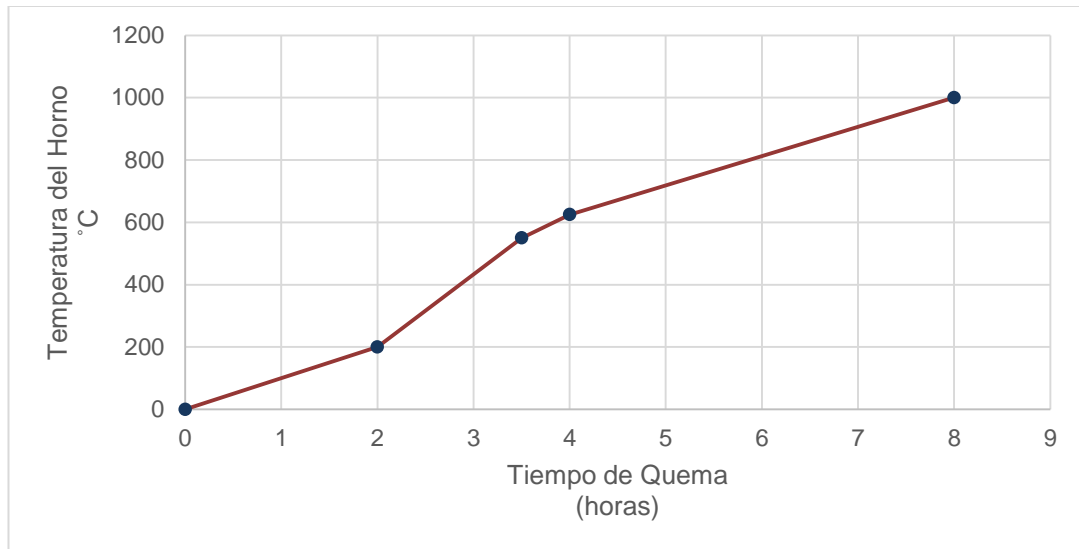


Cuadro 7. Programa de quema de los ladrillos.

TIEMPO ACUM. (hora)	TIEMPO (hora)	SECUENCIA (°C)
2	2	0-200
3.5	1.5	200-550
4	0.5	550-625
8	4	625-1000

Fuente. Propia.

Gráfico 4. Programa de Calentamiento del Horno para cocción de los ladrillos



El Gráfico 4 nos indica el avance de la temperatura a lo largo del proceso de cocción de las unidades de cerámica, empieza con un incremento lento de la temperatura hasta los 200°C, donde se acelera la velocidad de calentamiento hasta llegar a los 550°C, punto de inflexión en que se prolonga el calentamiento hasta los 625°C para evitar fisuras por precalentamiento. Finalmente se aumenta la temperatura de cocción con mayor lentitud para obtener una cocción uniforme en toda la pieza cerámica.

Se realizaron tres quemas, el primer grupo inició el 09 de junio del 2017, el segundo grupo el 15 de junio del 2017 y el tercer grupo el 21 de junio del 2017.



En cada quema se colocó 20 unidades de arcilla, controlando la distancia y ubicación en el interior del horno para proporcionarles a las unidades una cocción uniforme en todas sus caras. (Imagen 43)

El proceso de enfriamiento de las unidades luego de la quema fue natural, es decir, el horno regresó a la temperatura ambiente de forma continua sin una secuencia controlada, debido a que la mufla no cuenta con un sistema de enfriamiento. El tiempo de enfriamiento de cada grupo de ladrillos fue de 36 horas aproximadamente hasta que el horno adquiriera la temperatura ambiente de 22 °C. (Imagen 44)

Posterior a sacar los ladrillos del horno, se conformó grupos de 4 ladrillos del mismo lote, siendo embalados con plástico, para cuidar cada unidad de arcilla del deterioro externo, como golpes o humedad presente en el ambiente. (Imagen 45)



PERALTA JORGE, 2017, *Horno para cocción de ladrillo.* [Imagen 42]

PERALTA JORGE, 2017, *Cocción de Ladrillo.* [Imagen 43]

PERALTA JORGE, 2017, *Programación de calentamiento de horno* [Imagen 44]



PERALTA JORGE, 2017, *Posterior a cocción de ladrillo.* [Imagen 45]

En el traslado de las unidades hacia el laboratorio para determinar sus propiedades físico-mecánicas, se controló que los ladrillos no sufran fisuras en sus caras, ni despostillamientos de sus aristas, ni desprendimientos parciales de las unidades, para que la evaluación de cada una de las piezas adquiriera mayor veracidad.



4.5 ENSAYOS

Los ensayos para determinar las propiedades físico–mecánicas se realizaron en la Facultad de Arquitectura, de la Universidad de Cuenca. Los ensayos realizados estuvieron a cargo del Arq. Edison Castillo C. quien revisó el estado de ingreso de las piezas al laboratorio.

Ingresaron un total de 60 ladrillos cerámicos (panelón), provenientes de cuatro lotes que pertenecen a las mezclas 1, 2, 3 y 4. Todas las unidades de arcilla fueron medidas en sus tres magnitudes.

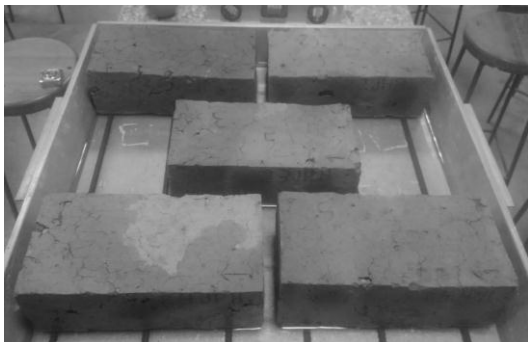
4.5.1 GRADO DE ABSORCIÓN



PERALTA JORGE, 2017, *Toma de peso de la muestra en seco.* [Imagen 46]

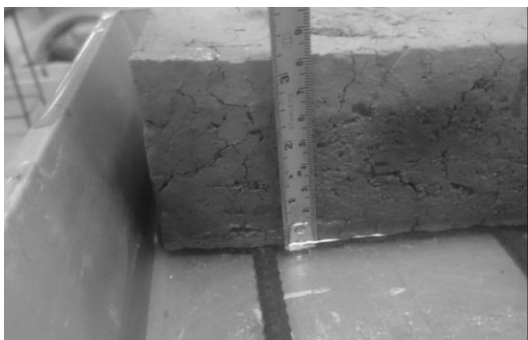
Inicialmente se pesó cada muestra, con el propósito de obtener su peso seco. (Imagen 46)

En un tanque galvanizado y nivelado, se colocó unas alzas para que las piezas no tengan contacto con la superficie inferior del tanque, luego se vertió agua hasta un centímetro de altura para que el ladrillo absorba el agua por capilaridad.



PERALTA JORGE, 2017, *Bandeja Galvanizada con agua a 1cm de altura.* [Imagen 47]

Se ubicó cinco unidades de cada mezcla encima de las alzas y se pudo evidenciar su capacidad de absorción. En este punto las caras de los ladrillos se saturaron de agua, aproximadamente en un minuto de colocadas las unidades. Este procedimiento duró 10 minutos por cada ensayo realizado. (Imagen 47-48)



PERALTA JORGE, 2017, *Medición de la altura de humedad* [Imagen 48]

Las piezas fueron removidas de la bandeja y pesadas nuevamente para conocer su peso saturado. Finalmente se calculó mediante los resultados conseguidos el porcentaje de absorción de cada uno de los ladrillos.



4.5.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN



PERALTA JORGE, 2017, *Cortadora*. [Imagen 49]

Para este ensayo los ladrillos fueron pesados y cortados por la mitad, empleando una cortadora universal de banco con motor de 3HP para que las aristas no se destruyan. (Imagen 49)

Las irregularidades existentes en las caras de las unidades de arcilla no permitió aplicar directamente la carga a compresión, motivo que obligó a realizar el proceso de capeo, mediante una masa inerte (masilla automotriz), este procedimiento se realizó en las caras donde se aplicará la carga de compresión con un espesor no mayor a 5 mm en las zonas más deformadas. (Imagen 50)



PERALTA JORGE, 2017, *Capeo con Macilla Automotriz*. [Imagen 50]

Posteriormente fueron pulidos hasta obtener una superficie plana y en lo posible paralelas entre sí, de tal manera que la carga aplicada sea perpendicular y centrada con respecto a las mismas.

Se aplica la carga axial gradualmente, mediante una prensa marca ACCU-TEK Touch 350, hasta llegar al punto de rotura de cada ladrillo. (Imagen 51)

Se ensayaron un total de 5 unidades por cada mezcla excepto la mezcla 5, por su disgregación temprana antes de iniciar la etapa de cocción de las piezas.



PERALTA JORGE, 2017, *Prensa ACCU-TEK Touch 350*. [Imagen 51]



5 RESULTADOS

5.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presenta a continuación los resultados obtenidos de los ensayos realizados a las unidades de arcilla, de las cinco mezclas propuestas, para determinar el comportamiento de sus propiedades físico-mecánicas.

5.1.1 PESO SECO

Las unidades de arcilla fueron pesadas inmediatamente luego de su proceso de cocción, para determinar cuánto afecta el contenido de lodos en los ladrillos finales.

El cuadro 8 muestra que a medida que se incrementa la cantidad de lodos, el peso promedio de cada uno de los lotes de ladrillo disminuye hasta llegar a un valor de 2976.09g., para un porcentaje del 20% de lodos.

Cuadro 8. Peso Seco de las Unidades de Arcilla

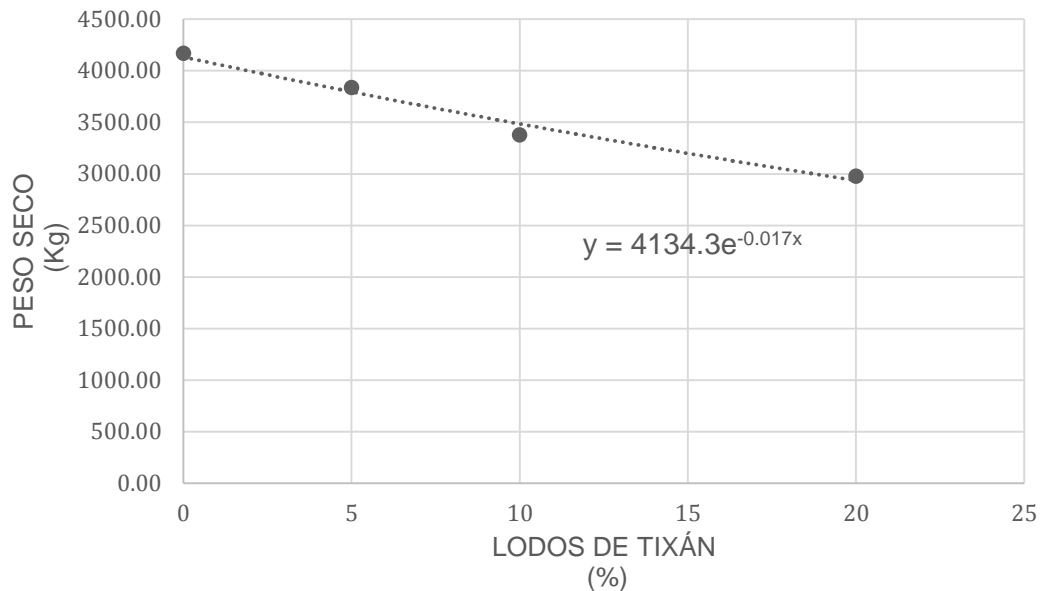
Tipo de Mezcla	Lodos Tixán (%)	# de Muestras	Promedio Peso Seco (g)
1	0	10	4167.19
2	5	14	3835.74
3	10	26	3376.34
4	20	10	2976.09
5	40	-	-

Fuente. Propia.



El peso disminuye de manera exponencial a raíz que se incrementa la cantidad de lodos de acuerdo al Gráfico 5, proporcionando un valor aproximado de 2094.50g para un contenido del 40% de lodos en la mezcla para la fabricación del ladrillo que equivale el 50.26% del peso del ladrillo que no contiene lodos en la mezcla.

Gráfico 5. Relación Peso Seco vs. Lodos de Tixán



5.1.2 VARIACIÓN DIMENSIONAL

La variación dimensional (V%) es la diferencia entre la unidad promedio con respecto a la unidad nominal expresada en porcentaje y se determina con la fórmula mostrada a continuación:

$$V\% = \frac{D_{nom} - D_{prom}}{D_{nom}} * 100$$

Dónde,

D_{nom} = Dimensión nominal especificada por el fabricante

D_{prom} = Dimensión promedio



Analizando los resultados expresados en el Cuadro 9, se observa que están muy cercanos para las cuatro primeras mezclas, sobretodo en la dimensión del ancho donde los valores promedio obtenidos varían muy poco entre ellos.

Cuadro 9. Valores de las dimensiones de las unidades de ladrillo

DIMENSIONES	TIPOS DE MEZCLA				
	1	2	3	4	5
L prom (cm)	26.17	26.38	26.57	26.74	25.69
L min (cm)	26.03	26.10	26.33	26.55	25.25
L máx (cm)	26.30	26.55	26.80	26.85	26.45
D nom (cm)	29	29	29	29	29
V (%)	9.77	9.05	8.39	7.79	11.41
L prom (cm)	13.05	13.10	13.15	13.08	12.73
L min (cm)	13.00	13.00	13.00	12.95	12.55
L máx (cm)	13.13	13.18	13.40	13.28	13.00
D nom (cm)	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5
V (%)	10.00	9.66	9.34	9.81	12.22
H prom (cm)	7.70	7.84	7.70	7.69	7.40
H min (cm)	7.45	7.65	7.40	7.35	7.00
H máx (cm)	7.95	8.13	8.10	8.00	7.90
D nom (cm)	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
V (%)	9.41	7.77	9.38	9.53	12.99

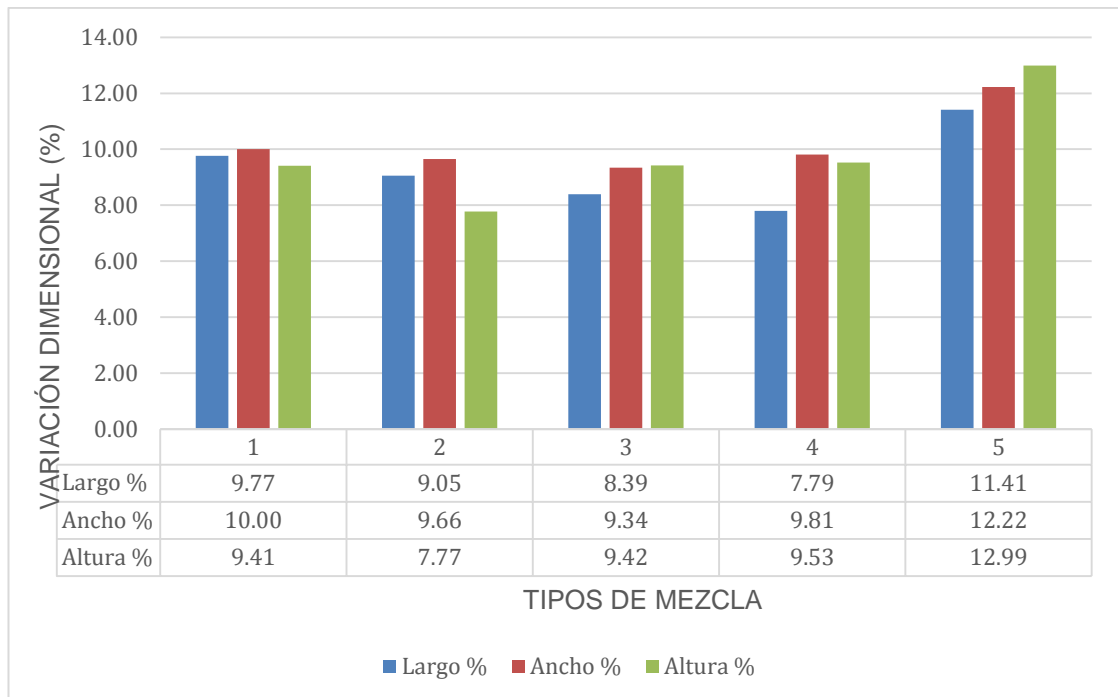
Fuente. Propia.

De la misma forma, al analizar la variación dimensional, que muestra los resultados expresados en porcentaje en el Gráfico 6, se observa que la mezcla 5 experimenta la mayor variación dimensional con respecto al resto.

Esta mayor variabilidad puede darse por la cantidad de lodos que contiene la mezcla, debido a que éstos retienen una gran cantidad de agua que luego de pasar por la etapa de secado se contrajeron demasiado, generando un excesivo agrietamiento en las unidades de tal manera que las piezas se tornaron inestables, no permitieron una adecuada manipulación, situación que obligó a tomar la decisión de no continuar con el proceso de fabricación de las piezas con dicha mezcla.



Gráfico 6. Variación Dimensional según el tipo de mezcla.



5.1.3 RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN

La resistencia a la compresión se calcula por la ecuación siguiente:

$$C = \frac{P}{A}$$

Dónde,

C = La resistencia a la compresión

P = La carga de rotura

A = Área de la sección

La prueba de resistencia a la compresión valida la hipótesis impuesta en ésta investigación, la muestra utilizando la dosificación 2 donde se reemplaza la arcilla tipo I por lodos en un 5%, mejora la resistencia a compresión de los ladrillos cerámicos, cumpliendo la Norma Técnica Ecuatoriana con una resistencia a la compresión de 131.00 Kg/cm², valor promedio de cinco unidades como indica el Cuadro 10.



Los ladrillos Prototipo, unidades donde no se reemplaza lodos por la arcilla Tipo I, se determinó una resistencia promedio de 76.3 Kg/cm².

Cuadro 10. Resultados del ensayo de la Resistencia Mecánica a la Compresión

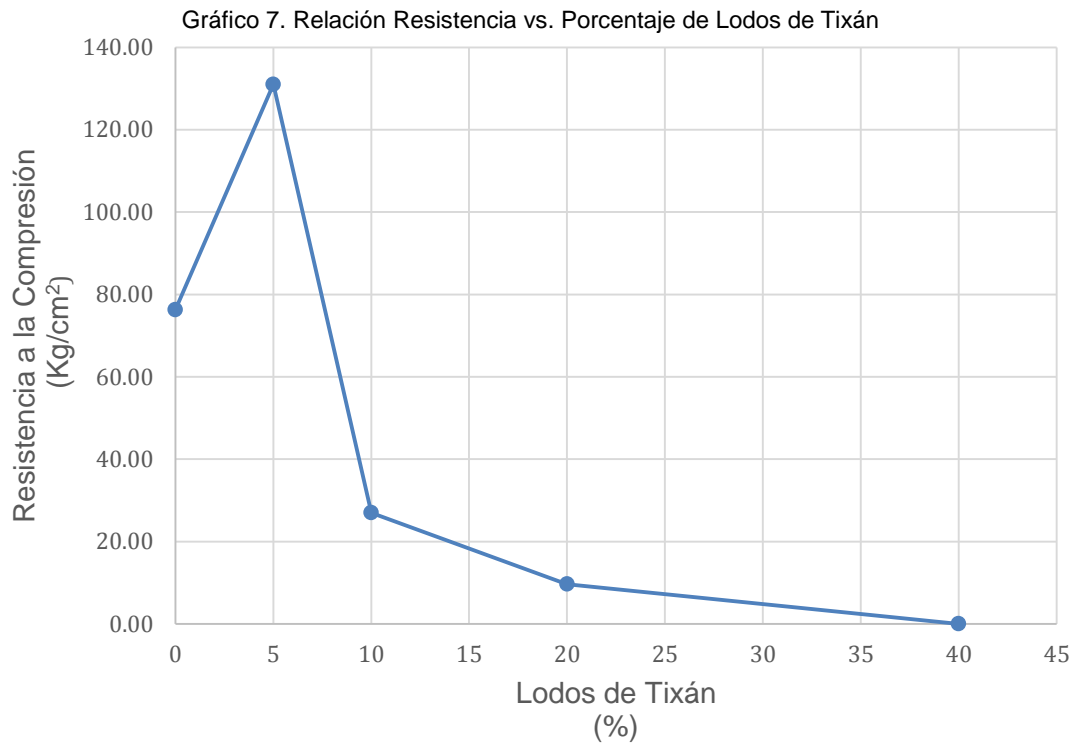
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN								
Tipo de Mezcla	Lodos Tixán (%)	Fecha de Rotura	# de Muestra	Código Unidad	Área (cm ²)	P (kg)	C (kg/cm ²)	Promedio C (kg/cm ²)
1	0	28-jul-17	1	ECM1L9	170	13756.1	80.9	76.3
		28-jul-17	2	ECM1L3	170	13500.4	79.4	
		28-jul-17	3	ECM1L7	170	13394.7	79.0	
		28-jul-17	4	ECM1L10	169	11256.1	66.6	
		28-jul-17	5	ECM1L8	171	12919.6	75.6	
2	5	28-jul-17	1	ECM2L8	174	26195.6	150.6	131.0
		28-jul-17	2	ECM2L10	174	23958.0	137.5	
		28-jul-17	3	ECM2L9	173	23995.8	138.9	
		28-jul-17	4	ECM2L13	173	24271.4	140.1	
		28-jul-17	5	ECM2L7	173	15216.2	88.0	
3	10	28-jul-17	1	ECM3L1	173	4466.1	25.8	27.0
		28-jul-17	2	ECM3L25	173	4852.1	28.0	
		1-ago-17	3	ECM3L11	173	4684.5	27.1	
		1-ago-17	4	ECM3L13	174	4594.4	26.4	
		1-ago-17	5	ECM3L33	173	4803.0	27.7	
4	20	1-ago-17	1	ECM4L15	177	1707.1	9.6	9.6

Fuente. Propia.

La mezcla 3 y 4 consiguieron resistencias a la compresión por debajo de lo permitido por la norma, según el gráfico 7, se observa que a medida que se aumenta la cantidad de lodo, la resistencia disminuye considerablemente a tal punto que para la mezcla 4 apenas resiste 9.6 Kg/cm².



Para la mezcla 5 no se tiene valores debido a que las unidades no llegaron a la etapa de cocción, por lo que se ha considerado con un valor de cero para realizar el gráfico de relación que existe entre la resistencia a la compresión y el porcentaje de lodos de Tixán existente en las distintas muestras.



5.1.4 GRADO DE ABSORCIÓN DE AGUA

En el cuadro 11 se aprecia que las tres primeras muestras no superan la capacidad máxima de absorción según indica la Norma Ecuatoriana NTE-INEN 297 que da un valor del 25%. La mezcla 4 superar el 25%.



Cuadro 11. Valores de resultados del ensayo del Grado de Absorción de agua

GRADO DE ABSORCIÓN DE AGUA (C)									
Tipo de Mezcla	Lodos Tixán (%)	Fecha de Ensayo	# de Muestra	Código Unidad	Peso Seco (g)	Peso Saturado (g)	P Sat - P Seco (g)	C (%)	Promedio C (%)
1	0	26-jul-17	1	EGAM1L6	4066.3	4606.6	540.3	13.287	13.80
		26-jul-17	2	EGAM1L4	4257.1	4844.0	586.9	13.786	
		26-jul-17	3	EGAM1L2	4094.7	4734.6	639.9	15.628	
		26-jul-17	4	EGAM1L1	4268.5	4822.0	553.5	12.967	
		26-jul-17	5	EGAM1L5	4170.1	4725.1	555.0	13.309	
2	5	26-jul-17	1	EGAM2L5	3978.7	4737.4	758.7	19.069	18.74
		26-jul-17	2	EGAM2L2	3772.0	4479.4	707.4	18.754	
		26-jul-17	3	EGAM2L6	3776.1	4471.8	695.7	18.424	
		26-jul-17	4	EGAM2L3	3856.9	4586.9	730.0	18.927	
		26-jul-17	5	EGAM2L4	3975.4	4711.2	735.8	18.509	
3	10	26-jul-17	1	EGAM3L16	3580.6	4479.1	898.5	25.094	24.27
		26-jul-17	2	EGAM3L28	3465.5	4302.6	837.1	24.155	
		26-jul-17	3	EGAM3L30	3451.6	4273.6	822.0	23.815	
		26-jul-17	4	EGAM3L8	3526.0	4332.6	806.6	22.876	
		26-jul-17	5	EGAM3L23	3419.6	4288.2	868.6	25.401	
4	20	26-jul-17	1	EGAM4L2	3103.3	4148.8	1045.5	33.690	33.02
		26-jul-17	2	EGAM4L12	2929.7	3779.5	849.8	29.006	
		26-jul-17	3	EGAM4L8	2966.7	4000.8	1034.1	34.857	
		26-jul-17	4	EGAM4L11	2953.5	3932.8	979.3	33.157	
		26-jul-17	5	EGAM4L19	2982.2	4007.2	1025.0	34.371	

Fuente. Propia.

Trazando la línea de tendencia con los puntos graficados producto de la relación existente entre el grado de absorción y la cantidad de lodos existente en las mezclas diseñadas, tenemos una ecuación lineal que se indica a continuación:

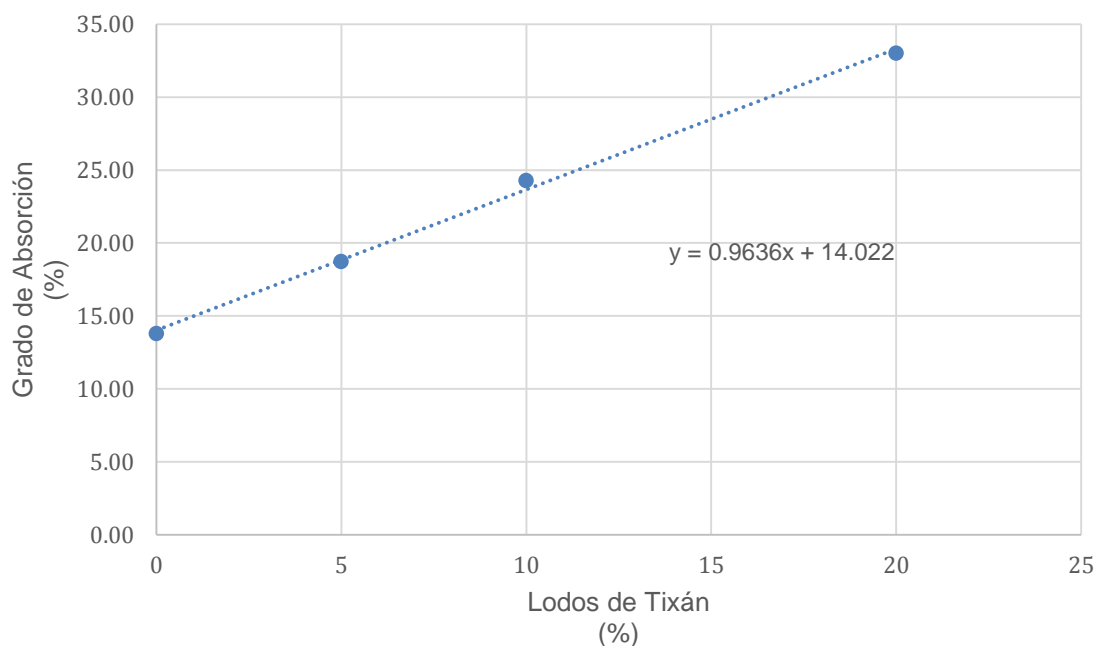
$$y = 0.9636x + 14.022$$



Misma que nos brinda una aproximación con cualquier cantidad de lodos que se requiera conocer. Para este caso se tiene un grado de absorción de 52.57% para el 40% de lodos, valor muy superior del porcentaje que exige la Norma Técnica Ecuatoriana permitiendo como valor límite el 11.39% de lodos que puede contener las mezclas de diseño.

El Gráfico 8 nos muestra que en el ensayo de absorción de agua existe una relación directamente proporcional entre la cantidad de lodo que se añade en las mezclas y la capacidad que tiene las unidades de arcilla para absorber agua.

Gráfico 8. Relación Grado de Absorción de Agua vs. Porcentaje de Lodos de Tixán.



5.2 ANÁLISIS DE CALIDAD DE LOS LADRILLOS

Se observa que la resistencia mecánica a la compresión de los ladrillos para la mezcla N° 2 supera al ladrillo Tipo C, mientras que la mezcla N° 1 (testigo) se aproxima a la resistencia Tipo C pero no supera el valor normado.

Caso contrario sucede para la mezcla N° 3 que tiene valores inferiores al ladrillo Tipo C. La mezcla 4 alcanzó una resistencia a la compresión de 1707.1 Kg/cm² por unidad, debido a que las unidades presentaron desprendimiento durante el proceso de capeado de las unidades.



El grado de absorción de agua según indica la norma NTE-INEN 297 deben tener un porcentaje inferior al 25% para ladrillos Tipo C, las mezclas N° 1, 2 y 3 obtuvieron valores inferiores a dicho valor, mientras que la mezcla N° 4 no cumple con la exigencias indicadas por esta norma.

Una característica notoria fue la presencia de grietas según se aumenta la cantidad de lodos en las diferentes mezclas, debido a la pérdida espontánea de agua retenida por los lodos.

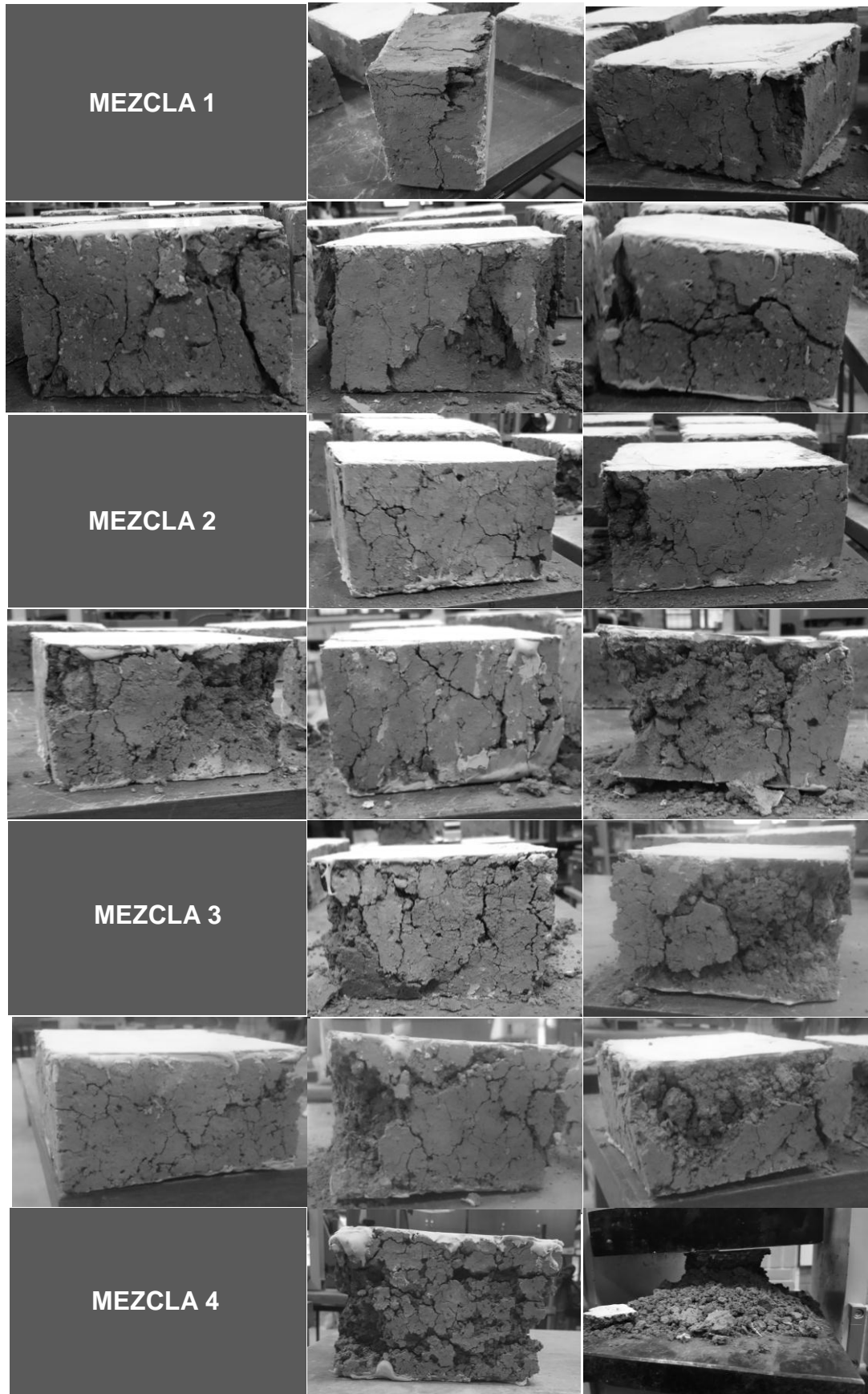
Las unidades de arcilla de la mezcla N° 5 presentaron disgregación avanzada, impidiendo llegar a la etapa de cocción. Mostraron una disgregación temprana en un 40% del volumen total de cada unidad motivo por lo que se decidió no continuar con la mezcla N° 5 en el proceso de fabricación.

La mezcla N° 4 luego de la cocción presentó una disgregación de un 20% dificultando su maniobrabilidad luego de ésta etapa, motivo por el cual se decide ensayar la resistencia a la compresión de una unidad de ladrillo, mientras que para el ensayo de absorción se ensayaron las 5 unidades que exige la norma NTE.INEN 297.

Los ladrillos fabricados empleando la mezcla con el mayor porcentaje de lodos (40%) en esta investigación, presentaron un agrietamiento y desprendimiento de material de manera prematura, evitando llegar a la etapa de cocción de dichas unidades, motivo por el cual no se tienen datos de su resistencia a la compresión y grado de absorción. Para el gráfico de la resistencia mecánica se consideró un valor de cero mientras que, para el grado de absorción se determinó un valor aproximado de acuerdo a la ecuación adquirida mediante la línea de tendencia trazada. (Imagen 52-53)



PERALTA JORGE, 2017,
*Valor máximo de la
Resistencia Mecánica a la
Compresión obtenido en la
Mezcla 2. [Imagen 52]*



PERALTA JORGE, 2017, *Unidades de ladrillo ensayados a esfuerzo de compresión.* [Imagen 53]



5.3 CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO FINAL

De acuerdo a los ensayos de resistencia mecánica y grado de absorción, se concluye que los ladrillos fabricados con la mezcla N°2 (Imagen 54), presenta una mejor resistencia a la compresión, propiedad que se usa como control de calidad en la elaboración de las unidades de arcilla. A continuación se indica las características y propiedades físico-mecánicas del producto final:

Materia Prima: Tiene una dosificación del 60% de arcilla Tipo II, 35% de arcilla Tipo I y 5% de lodos generados en la Planta de Tratamiento de Tixán.

Fabricación: La elaboración de las piezas es a mano, cuya cocción será a una temperatura de 1000°C.

Forma y Aspecto Exterior: Es un prisma rectangular uniforme basado en dimensiones modulares 1.5Mx2.5Mx5M, con medidas finales de 26.40x13.10x7.90cm, presentan una superficie más o menos rugosa, ausencia de eflorescencias y con presencia de grietas a lo largo de todas las caras en las unidades de arcilla.

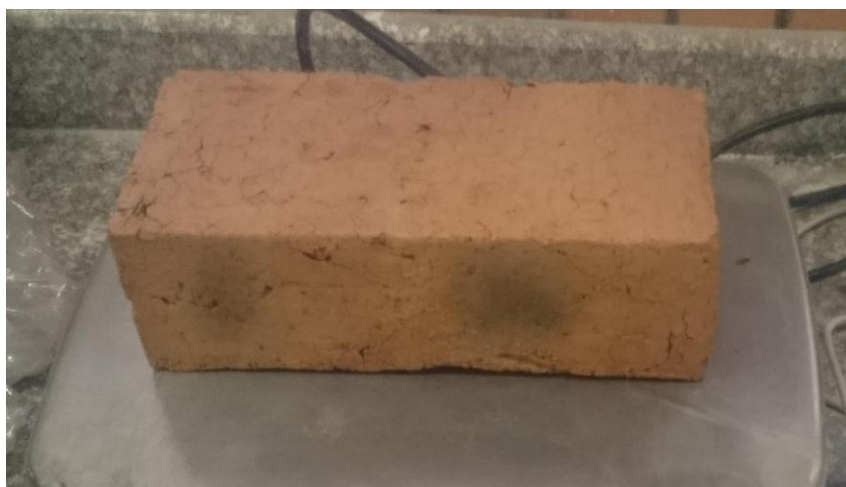
Color: Adquieren un color anaranjado rojizo.

Peso: Varía entre 3730 kg y 3980 kg., dependiendo de las medidas adoptadas y la contracción producida luego de la cocción de las piezas de arcilla.

Características Mecánicas: Resisten un esfuerzo a la compresión no menor de 88 kg/cm² y no mayor de 150.6 kg/cm².

Durabilidad: Tienen un grado de absorción de agua alrededor del 19%.

Uso: Las unidades serán empleadas para albañilería.



PERALTA JORGE,
2017, *Producto final.*
[Imagen 54]



5.4 CONCLUSIONES

El peso de los ladrillos es inversamente proporcional a la cantidad de lodo que posee cada mezcla, debido a la capacidad que tienen los lodos de retener la humedad y al momento de la etapa de secado y cocción pierden rápidamente dicha humedad disminuyendo considerablemente el peso bruto de cada pieza.

Se observa que la resistencia mecánica a la compresión de los ladrillos para la mezcla #2, alcanza un valor en laboratorio de 131.0 Kg/cm^2 , que supera el valor exigido por la norma NTE-INEN 297, para el ladrillo Tipo C que especifica un valor de 80 kg/cm^2 . Caso contrario sucede para las mezclas #1, 3 y 4 que tiene valores inferiores al ladrillo cerámico Tipo C. La mezcla 4 alcanzó una resistencia a la compresión de 1707.1 Kg/cm^2 por unidad, debido a que las unidades presentaron desprendimiento durante el proceso de capeado de las unidades.

Las unidades de arcilla que utilizaron la dosificación 60:20:20, presentaron una disgregación considerable luego de salir del horno para la cocción de las piezas. De tal manera que se ensayó a la resistencia mecánica un ladrillo de este lote por la dificultad de capear las unidades debido a su desprendimiento excesivo. Caso contrario se dio para el grado de absorción donde se pudo ensayar con las 5 unidades que exige la norma.

Los ladrillos diseñados con el mayor porcentaje de lodos (40%) en las mezclas de esta investigación presentaron un agrietamiento y desprendimiento de material de manera prematura, evitando llegar a la etapa de cocción de dicha mezcla, motivo por el cual no se tienen datos de su resistencia a la compresión y grado de absorción.

La mezcla que presenta las mejores condiciones de resistencia a la compresión y con una adecuada capacidad de absorción según rige la norma es la mezcla que se utiliza un reemplazo del 5% de lodos de Tixán por la arcilla Tipo I.

Las mezclas en las cuales se efectuaron una sustitución de más del 5% por lodos de Tixán las unidades de ladrillo se hacen más inestables y presentan graves problemas de agrietamiento y desprendimiento.

La cantidad de lodos que contienen las mezclas son directamente proporcionales al grado de absorción que adquieren los ladrillos.

El grado de absorción de agua según indica la norma NTE-INEN 296 deben tener un porcentaje inferior al 25% para ladrillos Tipo C, mismas que cumplen las mezclas #1, 2 y 3, mientras que la mezcla #4 no cumple con las exigencias indicadas por esta norma.

La humedad retenida por los Lodos de Tixán según los ensayos nos dio un porcentaje del 70.88%, siendo un causante del agrietamiento prematuro de los elementos de ladrillo.



5.5 RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar ensayos considerando las dosificaciones desde 6% hasta 10% para conocer que las propiedades físico mecánicas de los ladrillos empleando mezclas con dichas dosificaciones.

Se recomienda realizar muretes con la mejor mezcla utilizando lodos, para conocer el comportamiento del ladrillo en un muro de mampostería.

Se recomienda realizar el mismo ensayo empleando otro tipo de arcillas de la zona para realizar comparaciones con los resultados obtenidos en este estudio.

CONCLUSIÓN DE LA INVESTIGACION

Los resultados obtenidos confirman la hipótesis planteada en esta investigación y confirman las investigaciones realizadas en otros países, que es viable incorporar lodos aluminosos en reemplazo parcial de uno de los materiales constitutivos del ladrillo, para este caso de estudio la arcilla Tipo I en un porcentaje del 5%; sin embargo, se debe buscar una solución que disminuya el alto contenido de humedad de lodos recibidos antes de adicionarlos a la producción de ladrillos, para garantizar la calidad de los mismos.

A través de ésta propuesta, se intenta concientizar al sector ladrillero, de tomar alternativas para disminuir la explotación desmesurada de las canteras de la materia prima para elaboración de ladrillos y evitar las consecuencias que genera estas acciones.

En el aspecto económico, representa un beneficio, pues el destino final de lodos deshidratados de la Planta de Tratamiento de Tixán, representa un gasto considerable para la planta, debido a los costos elevados de transporte y manejo de los mismos al Relleno Sanitario de Pichacay, mientras que ésta propuesta plantea suministrar los lodos deshidratados a los artesanos que se dedican a la fabricación de ladrillos, cuyas canteras que les abastecen de materia prima se ubican a una distancia relativamente corta, siendo un ahorro total en lo que concierne a transporte y destino final del lodo aluminoso.

En el aspecto ambiental, ésta alternativa ayuda parcialmente a la recuperación de las fuentes hídricas, mediante la reducción del impacto en los cuerpos receptores. Siendo de suma importancia establecer convenios entre la empresa pública ETAPA EP y el gremio del sector ladrillero, en beneficio de los recursos naturales.

Ampliación a ésta investigación se debe estudiar el resto de características y propiedades no analizadas en este estudio.

**REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- (ICONTEC), I. C. de N. T. (2003). Norma Técnica Colombiana Ingeniería Civil y Arquitectura - Unidades de Mampostería de Arcilla Cocida - Ladrillos y Bloques Cerámicos.
- Abdrakhimov, V. Z. & Abdrakhimov, E. S. (2011) Ecological aspects of the use of light ash fraction and nonferrous metallurgy waste in the production of acid-resistant brick. *Refractories and Industrial Ceramics*, 52(3), 231–234.
- Afanador García, N., Guerrero Gómez, G., & Monroy Sepúlveda, R. (2012). *PROPIEDADES FISICAS Y MECÁNICAS DE LADRILLOS MACIZOS CERÁMICOS PARA MAMPOSTERÍA*. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá. Retrieved from <http://www.redalyc.org/html/911/91125275003/>
- Alberto Villarreal Jiménez, L. (2004). Uso de lodo de papel y arena silica para la fabricación de ladrillos y tabla roca.
- Álvarez, S. (2014). *Optimización del proceso de mezcla de arcilla para la producción de ladrillos*. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/5529>
- 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*, 78(167), 50–58. Retrieved from <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25762/39346>
- Andreoli, V. C. (2004). Utilización de Residuos do Saneamiento como Materia-Prima para Productos Cerámicos e Substrato para Producción Vegetal. *Programa de Pesquisas En Saneamento Básico - PROSAB, Companhia de Saneamento Do Paraná - SANEPAR*.
- Arias Mora, P. A. (2014). *OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE MEZCLA DE ARCILLA PARA LA PRODUCCIÓN DE LADRILLOS, EN EL SECTOR ARTESANAL*. UNIVERSIDAD DE CUENCA FACULTAD, Cuenca, Ecuador. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/22291>
- Augusto García, C., & García Vaca, María Camila, Vaca Bohórquez, M. L. (2013). Resistencia mecánica de ladrillos preparados con mezclas de arcilla y lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales. *Mechanical Resistance of Bricks Made of Mixtures of Clay and Sludge from Sewage Treatment. (English)*, 17(38), 68–81. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2013.4.a05>
- Barranzuela Lescano, J. E. (2014). *Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la Región Piura*. Universidad de Piura, Piura. Retrieved from https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1755/ICI%7B_%7D199.pdf
- Barranzuela, J. (2014). Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la región Piura. *Universidad de Piura*, 95. Retrieved from http://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1755/ICI%7B_%7D199.pdf?sequence=1



- Bolger, R. (1995). Industrial Mineral in Pharmaceuticals. *Industrial Minerals*, 52–63.
- Breytmann, M., Segura, C., & Hernández, F. (2007). Laboratorio N° 3: Ensayos normalizados para ladrillos cerámicos. Valparaíso.
- Camacho, G. (n.d.). *Elaboración de ladrillos*. Chimborazo Retrieved from <https://es.slideshare.net/gabucamacho/fabricacion-de-ladrillos-28999964>
- CARRERA, P. J. S. (2015). *FABRICACIÓN DE LADRILLOS CERÁMICOS UTILIZANDO COMO ADITIVOS ROTURA Y LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE LA EMPRESA EDESA S.A. TRABAJO*. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, Quito, Ecuador.
- Cerón, O., Millán, S., Espejel, F., & Rodríguez, A. (n.d.). APLICACIÓN DE LODOS DE PLANTAS POTABILIZADORAS PARA ELABORAR MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, 1–11.
- Chen-Feng, C., & Yung-Chao, K. (1994). Effect of rare-earth oxide concentrates on reactions, Densification and Slag Resistance of Al₂O₃-SiO₂ Ceramic Refractories. *Ceramics International*, 20(1), 31–37.
- CONSTRUAPRENDE, C. A. P.-. (2012). CAP - CONSTRUAPRENDE. *Práctica 1: Laboratorio de Cerámicos*. Retrieved from http://www.construaprende.com/Lab/1/Prac1%7B_%7D1.html
- Cuenca.gov.ec. (2017). ALCALDIA INICIARÁ TRABAJOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE TIXÁN. *NOTICIAS*. Retrieved from <http://www.cuenca.gov.ec/?q=content/alcald%7Bí%7Da-iniciar%7Bá%7D-trabajos-de-la-planta-de-tratamiento-de-tix%7Bá%7Dn>
- De Araújo, F., Leite, J. Y., De Araújo, A., & Ingunza, M. (2005). Caracterización de Materias-Primas para Reúso de Lodo de ETE en Productos Cerámicos. In *23 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitaria e Ambiental*. Campo Grande, Brasil.
- Del Río, J. (1975). *Materiales de Construcción*. Juan Brugger.
- Elmercurio.com.ec. (2015). Sistema de tratamiento de lodos se inauguró en Tixán. *Sistema de Tratamiento de Lodos Se Inauguró En Tixán*. Retrieved from <http://www.elmercurio.com.ec/498201-sistema-de-tratamiento-de-lodos-se-inauguro-en-tixan/>
- Galán, E. (1990). Arcillas. En: Recursos Minerales de España. Coord. J. García Guinea y J. Martínez Frías. *Textos Universitarios (C.S.I.C.)*, 15, 23–25.
- Gallegos, H. (2005). Albañilería estructural. *Fondo Editorial PUCP*.
- García Ubaque, C. A., García Vaca, M. C., & Vaca Bohórquez, M. L. (2013). Encapsulamiento de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales de la industria automotriz en matrices de arcilla. *Tecnura*, 17(38), 26–36. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2013.4.a02>



- García, A. (n.d.). Para La Determ De Absorción De Agu, 97–100. Retrieved from <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/viewFile/1264/1395%7B%25%7D5Cnhttp://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N%7B%7Dcodigo=N0006751%7B#%7D.Vz3ATrHou01>
- Gavilanes, C., & Santellan, G. (2016). *Normalización y estandarización de la fabricación de ladrillos y tejas del canto chambo*. Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba. Retrieved from <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/1378/1/UNACH-EC-ING-CIVIL-2016-0013.pdf>
- George, D. B., Berk, S. G., Adams, V. D., Morgan, E. L., Roberts, R. O., Hollowa, C., ... Welch, A. W. (1991). Alum Sludge in the Aquatic Environment. *Research Foundation and Journal of the American Water Works Association – AWWAR*.
- Guanochanga, L., & Janet, M. (n.d.). “DISEÑO Y ELABORACIÓN DE LADRILLO REFRACTARIO (22x11x6cm) EMPLEANDO MATERIAS PRIMAS NACIONALES, UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN, MANTENIMIENTO Y REPARACIONES DE HORNOS DE CRISOL Y CUBILOTE.”
- Guimaraes, M., & Morita, D. (2003). *Corporação de Lodo de Estações de Tratamento de Água em Blocos Cerâmicos*. Universidad de Sao Paulo, Brasil.
- Hernández, G. (2006). *Aprovechamiento de Lodos Aluminosos (de la Etapa de Sedimentación) de Sistemas de Potabilización como Agregado en la Fabricación de Ladrillos Cerámicos*. Universidad del Valle, Colombia.
- Ingeniería, F. De, Construcción, M. D. E., Melissa, A., & Barreto, B. (2014). *APROVECHAMIENTO DE LODOS DESHIDRATADOS GENERADOS EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE Y RESIDUAL COMO AGREGADO PARA MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN*. UNIVERSIDAD DE CUENCA Fundada, Cuenca, Ecuador.
- J., A. (2000). *Teoría y Práctica de la Purificación del Agua* (Mc-Graw Hi). Colombia.
- Mangialardi, T. (2001) Sintering of MSW ash for reuse as a concrete aggregate. *Journal of Hazardous Materials*, 87(1–3), 225–239.
- Martínez, M. (2012). Estudio para el tratamiento, manejo y disposición final para lodos generados en plantas de tratamiento de agua potable. *Proyecto Previo a La Obtención Del Título de Ingeniero*. Retrieved from https://scholar.google.es/scholar?q=disposicion+de+planta%7B%7Dhl=en%7B%7Das%7B_%7Dsd=0%7B%25%7D2C5%7B%7Das%7B_%7Dylo=2006%7B%7Das%7B_%7Dyhi=2016%7B#%7D3
- Mejía, R. (1998). Aprovechamiento de Lodo Aluminoso Generado en el Proceso de Potabilización del Agua. *EMCALI EICE ESP - Universidad Del Valle*.
- Nacional de Estadística y Censos., I. (2015). Permisos de Construcción Encuesta de Edificaciones 2015. Retrieved from http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas%7B_%7DEconomicas/Encuesta%7B_%7DEdificaciones/2015/2015%7B_%7DEDIFICACIONES%7B_%7DPRESENTACION.pdf



- Novaes, R., Isaac, R., & Morita, D. (2003). Incorporação de Lodo de ETA na Industria Cerâmica. *Seminario de Acompanhamento de Pesquisa Em Saneamento E Ambiente*.
- Nuvalori, A. (2002). *Inertização de Biossólidos em Tijolos Cerâmicos Maciços: Aspectos Tecnológicos e Ambientais*. Universidade Estadual de Campinas, Brasil.
- Ordoñez, F. (2012). Diseños Definitivos del Sistema de Tratamiento de las aguas residuales del proceso de potabilización de la Planta de Tixán Fase II: Espesamiento y deshidratación. Cuenca, Ecuador: ETAPA EP.
- Pacheco Solano, B. R. (2015). *Análisis y determinación de los precios de comercialización de la industria ladrillera de tipo mecanizada del cantón Cuenca. Caso práctico Ladeksa año 2014*. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Phonphuak, N., Kanyakam, S., & Chindapasirt, P. (2016) Utilization of waste glass to enhance physical-mechanical properties of fired clay brick. *Journal of Cleaner Production*, 112, 3057–3062. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.084>
- R.H., B., & Hulbert, M. H. (1986) Clay Microstructure. *Reidel Publishing Company*, 161.
- Rhodes, D. (1990). Arcilla y vidriado para el ceramista. *Editorial CEAC*.
- Salvini, V. R., Innocentini, D. M., Ridrigues, J. A., & Pandolfelli, V. C. (2001). Creep in Al₂O₃ ceramic filters. *Cerâmica*, 47(304), 193–198.
- Sandoval, L., Flores, L. M., Montellandos, L., Morán, M. A., Rubí, R., Sánchez, L. O.,... Martín, A. (1998). Tratabilidad de los Lodos Producidos en la Coagulación de Aluminio en la Potabilización del Agua. *Seminario Regional Bienal Sobre La Potabilización Filtración. Instituto Mexicano de Tecnología Del Agua (IMTA)*.
- Sanmartín, F., & Tuba, M. (2014). *Análisis y determinación de los costos de explotación, procesamiento, acabado y comercialización de ladrillo y teja de los diferentes talleres de la parroquia rural de Sinincay*. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21877/1/tesis.pdf>
- Stamenkovic, I., Simicic, V., Sigulinski, F., Martinovic, P., & Stefanovic, R. (1977). Properties of Al₂O₃ - SiO₂ heat insulating refractories. *Ceramurgia International*, 3(4), 168.
- Torres, P., Hernández, D., & Paredes, D. (2012). Uso productivo de lodos de plantas de tratamiento de agua potable en la fabricación de ladrillos cerámicos Productive use of sludge from a drinking water treatment plant for manufacturing ceramic bricks. *Revista Ingeniería de Construcción*, 27(3), 145–154. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732012000300003>



- Torres, P., Hernández, D., & Paredes, D. (2012). Uso productivo de lodos de plantas de tratamiento de agua potable en la fabricación de ladrillos cerámicos. *Revista Ingeniería de Construcción*, 27(3), 145–154. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732012000300003>
- Vieira, C. M. F., Pinheiro, R. M., Rodriguez, R. J. S., Candido, V. S., & Monteiro, S. N. (2016). Clay bricks added with effluent sludge from paper industry: Technical, economical and environmental benefits. *Applied Clay Science*, 132–133, 753–759. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2016.07.001>
- Vittel, C. (1976). Cerámica. (Pastas y Vidriados). S.A., Vevey.
- Wang, K., Chiang, K., Peng, J., & Sun, C. (1998). The characteristics study on sintering of municipal solid waste incinerator ashes. *Journal of Hazardous Materials*, 56(2–3), 201–210.
- Zhang, Y. M., Jia, L. T., Mei, H., Cui, Q., Zhang, P. G., & Sun, Z. M. (2016). Fabrication, microstructure and properties of bricks fired from lake sediment, cinder and sewage sludge. *Construction and Building Materials*, 121, 154–160. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.155>
- Diseños Definitivos para la Ampliación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tixán Módulo II. (2015). Cuenca, Ecuador: ETAPA EP.
- MEMORIA TECNICA PLANTA DE TIXAN.pdf. (2015). Cuenca: Gerencia de agua potable y saneamiento.



ANEXOS

• **ANEXO 1**

LABORATORIO DE SUELOS					
ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					1/2
Proyecto:			Calculado: Ing. Cristina Vintimilla		
Uso: Arcilla Amarilla Tipo 1					
Pozo: 1			Fecha: 8 de junio de 2017		
Muestra: 1					
NORMAS: AASHTO T-11 T-27 ASTM: D422-63					
TAMIZ Pulg.	(mm)	PESO RETENIDO PARCIAL (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA
3"	76,200		-	-	100,0
2 1/2"	63,500		-	-	100,0
2"	50,800		-	-	100,0
1 1/2"	38,100		-	-	100,0
1"	25,400		-	-	100,0
3/4 "	19,050		-	-	100,0
1/2 "	12,700		-	-	100,0
3/8 "	9,525		-	-	100,0
Nº 4	4,750		-	-	100,0
< Nº 4	4,750	-	500	(100,0)	100,0
Nº 10	2,000	8,7	8,7	1,7	98,3
Nº 20	0,850	54,5	63,2	12,6	87,4
Nº 40	0,425	54,0	117,2	23,4	76,6
Nº 60	0,250	120,0	237,2	47,4	52,6
Nº 100	0,150	104,7	341,9	68,4	31,6
Nº 200	0,075	11,1	353,0	70,6	(29,4)
< Nº 200	<0,075	147,0	147,0	(29,4)	
* Abertura de los tamices tomado del libro "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica", Braja M. Das, Pg. 8					
PESO TOTAL DE LA MUESTRA			500,00	CUARTEO	
CLASIFICACIÓN		GRAVA =	0,00%	Peso total antes del lavado	
SUCS ML		ARENA =	71,00%	Peso total después del lavado	
AASHTO A-4 (0)		FINOS =	29,00%		
OBSERVACIONES: Limos de baja plasticidad con arenosos					
CURVA GRANULOMÉTRICA					
<p>El gráfico muestra una curva granulométrica con el eje vertical etiquetado como 'Porcentaje que Pasa' (rango 0-100) y el eje horizontal como 'Abertura del Tamiz (mm)' (rango logarítmico de 0,010 a 100,000). La curva, representada por una línea con diamantes, muestra un comportamiento de limo de baja plasticidad con arenosos, ya que el 70,6% de la muestra pasa por el tamiz Nº 200 (0,075 mm) y el 100% pasa por el tamiz Nº 60 (0,250 mm).</p>					



• ANEXO 2

LABORATORIO DE SUELOS						
NORMAS:		AASHTO T-11 T-27	ASTM: D422-63	2/2		
Proyecto:	0					
Uso:	Arcilla Amarilla Tipo 1			Calculado:	Ing. Cristina Vintimilla	
Pozo:	1			Procedencia:	0	
Muestra:	1			Fecha:	08/06/2017	
HUMEDAD NATURAL						
	N° de golpes	Peso suelo húmedo + tarro	Peso suelo seco + tarro	Peso tarro	% de Humedad	PROMEDIO
4	---	250,73	241,60	17,11	4,07	4,51
5	---	261,62	250,19	16,94	4,90	
6	---	179,14	172,04	16,83	4,57	
LIMITE LIQUIDO						
2	12	26,98	23,67	16,76	47,90	46,90
17	18	27,23	24,18	17,74	47,36	
10	28	28,33	24,60	16,64	46,86	
15	37	27,14	23,92	16,98	46,40	
20	48	25,72	22,9	16,77	46,00	
LIMITE PLASTICO						
12	---	18,55	18,14	16,88	32,54	32,24
11	---	18,43	18,06	16,93	32,74	
18	---	19,11	18,72	17,48	31,45	
<div style="text-align: center;"> HUMEDAD vs # DE GOLPES. </div>						
Límite Líquido a 25 golpes =		46,90%		Índice de plasticidad =		14,66

ING. CRISTINA VINTIMILLA
SENECYT 1007-05-605320



• ANEXO 3

LABORATORIO DE SUELOS						
ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						1/2
Proyecto:			Calculado: Ing. Cristina Vintimilla			
Uso: Arcilla Negra Tipo 2						
Pozo: 1			Fecha: 8 de junio de 2017			
Muestra: 1						
NORMAS: AASHTO T-11 T-27 ASTM: D422-63						
TAMIZ Pulg.	(mm)	PESO RETENIDO PARCIAL (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA	
3"	76,200		-	-	100,0	
2 1/2"	63,500		-	-	100,0	
2"	50,800		-	-	100,0	
1 1/2"	38,100		-	-	100,0	
1"	25,400		-	-	100,0	
3/4 "	19,050		-	-	100,0	
1/2 "	12,700		-	-	100,0	
3/8 "	9,525		-	-	100,0	
Nº 4	4,750		-	-	100,0	
< Nº 4	4,750	-	2,000	(100,0)	100,0	
Nº 10	2,000	1,7	1,7	0,3	99,7	
Nº 20	0,850	22,3	24,1	4,8	95,2	
Nº 40	0,425	11,8	35,9	7,2	92,8	
Nº 60	0,250	57,1	92,9	18,6	81,4	
Nº 100	0,150	106,4	199,3	39,9	60,1	
Nº 200	0,075	16,9	216,2	43,2	(56,8)	
< Nº 200	<0,075	283,8	283,8	(56,8)		
* Abertura de los tamices tomado del libro "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica", Braja M. Das, Pg. 8						
PESO TOTAL DE LA MUESTRA			2.000,00		CUARTEO	
CLASIFICACIÓN			GRAVA = 0,00%		Peso total antes del lavado 500,00	
SUCS ML			ARENA = 43,00%		Peso total después del lavado 216,19	
AASHTO A-4 (0)			FINOS = 57,00%			
OBSERVACIONES: Limos de baja plasticidad con arenosos						
CURVA GRANULOMÉTRICA						
<p>Porcentaje que Pasa</p> <p>Abertura del Tamiz (mm)</p> <p>◆ Porcentaje que Pasa</p>						



• ANEXO 4

LABORATORIO DE SUELOS						
NORMAS:		AASHTO T-11 T-27	ASTM: D422-63	2/2		
Proyecto:	0					
Uso:	Arcilla Negra Tipo 2			Calculado:	Ing. Cristina Vintimilla	
Pozo:	1			Procedencia:	0	
Muestra:	1			Fecha:	08/06/2017	
HUMEDAD NATURAL						
N° de Tarro	N° de golpes	Peso suelo húmedo + tarro	Peso suelo seco + tarro	Peso tarro	% de Humedad	PROMEDIO
7	----	170,59	160,81	16,58	6,78	7,08
8	----	241,80	225,18	16,62	7,97	
9	----	196,75	185,79	16,73	6,48	
LIMITE LIQUIDO						
13	11	28,19	24,38	17,36	54,27	53,22
9	17	23,47	21,11	16,73	53,88	
5	27	25,76	22,70	16,94	53,13	
14	36	26,93	23,42	16,76	52,70	
6	48	24,80	22,07	16,83	52,10	
LIMITE PLASTICO						
3	----	19,41	18,90	17,23	30,54	30,92
19	----	18,68	18,23	16,76	30,61	
1	----	18,67	18,18	16,63	31,61	
Límite Líquido a 25 golpes =		53,22%		Índice de plasticidad =		22,30

ING. CRISTINA VINTIMILLA
SENESCYT 1007-05-605320



• ANEXO 5

LABORATORIO DE SUELOS						
ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						1/2
Proyecto:			Calculado: Ing. Cristina Vintimilla			
Uso: Ladrillos			Procedencia: Lodo Tixan			
Pozo: 1			Fecha: 8 de junio de 2017			
Muestra: 1						
NORMAS: AASHTO T-11 T-27 ASTM: D422-63						
TAMIZ Pulg.	TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO PARCIAL (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA	
3"	76,200		-	-	100,0	
2 1/2"	63,500		-	-	100,0	
2"	50,800		-	-	100,0	
1 1/2"	38,100		-	-	100,0	
1"	25,400		-	-	100,0	
3/4 "	19,050		-	-	100,0	
1/2 "	12,700		-	-	100,0	
3/8 "	9,525		-	-	100,0	
Nº 4	4,750		-	-	100,0	
< Nº 4	4,750	-	500	(100,0)	100,0	
Nº 10	2,000		-	-	100,0	
Nº 20	0,850	8,9	8,9	1,8	98,2	
Nº 40	0,425	21,3	30,1	6,0	94,0	
Nº 60	0,250	93,4	123,5	24,7	75,3	
Nº 100	0,150	135,2	258,8	51,8	48,2	
Nº 200	0,075	43,0	301,8	60,4	(39,6)	
< Nº 200	<0,075	198,2	198,2	(39,6)		
* Abertura de los tamices tomado del libro "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica", Braja M. Das, Pg. 8						
PESO TOTAL DE LA MUESTRA			500,00		CUARTEO	
CLASIFICACIÓN			GRAVA = 0,00%		Peso total antes del lavado 500,00	
SUCS ML			ARENA = 60,00%		Peso total después del lavado 301,80	
AASHTO A-4 (0)			FINOS = 40,00%			
OBSERVACIONES: Limos de baja plasticidad con arenosos						
CURVA GRANULOMÉTRICA						
<p>El gráfico muestra una curva granulométrica con el eje vertical etiquetado como 'Porcentaje que Pasa' (rango 0-100) y el eje horizontal etiquetado como 'Abertura del Tamiz (mm)' (rango logarítmico 0,010-100,000). La curva comienza en (0,075, 40), sube a (0,150, 50), luego a (0,250, 75), (0,425, 94), (0,850, 98,2) y se estabiliza en 100% para aberturas mayores a 0,25 mm.</p>						



• ANEXO 6


LABORATORIO DE SUELOS						
NORMAS:		AASHTO T-11 T-27	ASTM: D4318		2/2	
Proyecto:	0					
Uso:	Lodo Tixan		Calculado:	Ing. Cristina Vintimilla		
Pozo:	1		Procedencia:	#¡REF!		
Muestra:	1		Fecha:	08/06/2017		
HUMEDAD NATURAL						
	Nº de golpes	Peso suelo húmedo + tarro	Peso suelo seco + tarro	Peso tarro	% de Humedad	PROMEDIO
1	----	167,79	112,43	16,63	57,79	58,58
2	----	189,47	125,27	16,76	59,17	
3	----	173,38	115,57	17,23	58,79	
LIMITE LIQUIDO						
						NP
LIMITE PLASTICO						
	----					NP

<div style="text-align: center;"> HUMEDAD vs # DE GOLPES. </div>						
Límite Líquido a 25 golpes = NP Índice de plasticidad = NP						

ING. CRISTINA VINTIMILLA
SENECYT 1007-05-605320



• ANEXO 7

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS	RMN-1460 Hoja 1 de 1
--	------------------------------	-------------------------

CLIENTE: Sr. Jorge Peralta

MUESTRAS: 1 MUESTRA

FECHA: 2017-06-22


ANÁLISIS QUÍMICO

%ÓXIDO	ARCILLA AMARILLA TIPO 1
SiO ₂	55,71
Al ₂ O ₃	17,30
Fe ₂ O ₃	7,20
CaO	0,80
MgO	0,86
Na ₂ O	2,28
K ₂ O	1,38
Pérdidas al Fuego	7,15

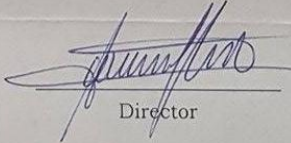
OBSERVACIONES:

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

* N.C. = No Cuantificado



 Responsable análisis



 Director

cc. archivo

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


FMC2302-02

Universidad de Cuenca, sector Balzaín- Telefax: (07) 4089561
 Cuenca - Ecuador
<http://rai.ucuenca.edu.ec/cesemin/>

Email: cesemin@ucuenca.edu.ec



• ANEXO 8

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS	RMN-1462 Hoja 1 de 1
---	------------------------------	-------------------------

CLIENTE: Sr. Jorge Peralta

MUESTRAS: 1 MUESTRA

FECHA: 2017-06-22

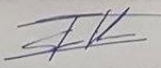
ANÁLISIS QUÍMICO

%ÓXIDO	ARCILLA NEGRA TIPO 2
SiO ₂	34,26
Al ₂ O ₃	22,67
Fe ₂ O ₃	4,49
CaO	0,66
MgO	0,87
Na ₂ O	0,86
K ₂ O	0,69
Pérdidas al Fuego	24,26

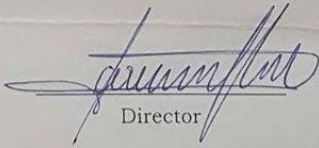
OBSERVACIONES:

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

* N.C. = No Cuantificado



 Responsable análisis



 Director

cc. archivo

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


FMC2302-02

Universidad de Cuenca, sector Balzaín - Telefax: (07) 4089561
Cuenca - Ecuador
<http://rai.ucuenca.edu.ec/cesemin/>

Email: cesemin@ucuenca.edu.ec



• ANEXO 9

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS	RMN-1461 Hoja 1 de 1
--	------------------------------	-------------------------

CLIENTE: Sr. Jorge Peralta

MUESTRAS: 1 MUESTRA

FECHA: 2017-06-22

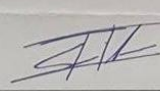
ANÁLISIS QUÍMICO

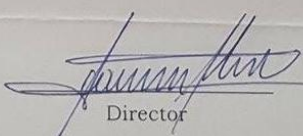
%ÓXIDO	LODOS TIXÁN
SiO ₂	61,08
Al ₂ O ₃	12,45
Fe ₂ O ₃	5,15
CaO	0,49
MgO	0,64
Na ₂ O	0,90
K ₂ O	0,88
Pérdidas al Fuego	8,46

OBSERVACIONES:

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

* N.C. = No Cuantificado


 Responsable análisis


 Director








cc. archivo

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

FMC2302-02
Universidad de Cuenca, sector Balzaín - Telefax: (07) 4089561
Cuenca - Ecuador
Email: cesemin@ucuenca.edu.ec

http://ral.ucuenca.edu.ec/cesemin/

• ANEXO 10

 <p>UNIVERSIDAD DE CUENCA</p>	ENSAYOS DE COMPRESIÓN SOBRE LADRILLOS		FAUC FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO		TIPO DE ROTURA		
	Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca		Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas		     		
Instrumento tipo: Máquina para ensayos de compresión ACCU-TEK touch 350,		Número: 0001		Fecha de creación: 15/09/23			
		Fecha de revisión: 20/6/2017		Año lectivo: 2016-2017			
		Serie: 411000473					

Proyecto: Elaboración de Ladrillos Cerámicos utilizando Lodos generados en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tixán en la ciudad de Cuenca
Solicitado por: Ing. Arq. Jorge Peralta Pintado

FECHA DE CONFECCIÓN	FECHA DE ROTURA	EDAD ENSAYO (días)	PESO W (g)	ALTIMA (cm)	AREA (cm²)	P VOLU (kg/mc)	C. DE ROTURA (kg)	F DE ROTURA (kg/cm²)	* f c esp.	CODIGO UNIDAD	HORA	TIPO	OBSERVACIONES	RESPONSABLE
13-jul-17	28-jul-17	15	3799.8	7.70	170	2.903	13756.1	80.9		ECM1L9	16:15	3		
13-jul-17	28-jul-17	15	3856.9	7.80	170	2.909	13500.4	79.4		ECM1L3	16:25	4		
13-jul-17	28-jul-17	15	3790.9	7.80	170	2.865	13394.7	79.0		ECM1L7	16:35	4		
13-jul-17	28-jul-17	15	3756.4	7.70	169	2.887	11256.1	66.6		ECM1L0	16:45	2		
13-jul-17	28-jul-17	15	3804.3	7.55	171	2.947	12919.6	75.6		ECM1L8	16:55	3		
18-jul-17	28-jul-17	10	4148.5	7.65	174	3.118	26195.6	150.6		ECM2L8	17:10	1		
18-jul-17	28-jul-17	10	4179.4	7.65	174	3.136	23958.0	137.5		ECM2L0	17:20	2		
18-jul-17	28-jul-17	10	4120.0	7.85	173	3.039	23995.8	138.9	80.0	ECM2L9	17:30	2		
18-jul-17	28-jul-17	10	4065.4	7.75	173	3.043	24271.4	140.1		ECM2L13	17:40	4		
18-jul-17	28-jul-17	10	4281.9	7.80	173	3.175	15216.2	88.0		ECM2L7	17:50	4		Edition Castillo C.
13-jul-17	28-jul-17	15	3460.2	7.80	173	2.561	4466.1	25.8		ECM3L1	18:00	4		
13-jul-17	28-jul-17	15	3498.6	8.10	173	2.636	4852.1	28.0		ECM3L25	18:10	6		
13-jul-17	1-ago-17	19	3425.2	7.40	173	2.677	4684.5	27.1		ECM3L11	09:20	4		
13-jul-17	1-ago-17	19	3577.4	7.80	174	2.632	4594.4	26.4		ECM3L13	09:30	3		
13-jul-17	1-ago-17	19	3498.8	7.55	173	2.675	4803.0	27.7		ECM3L33	09:40	4		
21-jul-17	1-ago-17	11	2913.0	7.35	177	2.236	1707.1	9.6		ECM4L15	09:50	-	No esta dentro del cuadro del tipo de rotura	

*Según normativa NEN 2977 Fecha de confirmación 2014-06-03

Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Agustín Cueva y Av. 12 de Abril, Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas, edison.castillo@ucuenca.edu.ec, 0983367390, 4051102 ext. 2150



• ANEXO 11

		ENSAYOS DE GRADO DE ABSORCIÓN SOBRE LADRILLOS Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca		Número: 0001	
				Fecha de creación: 15/09/23	
Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas Instrumento tipo: Balanza Digital OHAUS capacidad 24kg, Bandeja Galvanizada.		Fecha de revisión:		Año lectivo: 2015-2016	
		Serie: H1000473			

Proyecto: Elaboración de ladrillos Cerámicos utilizando Lodos generados en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tixán en la ciudad de Cuenca
Solicitado por: Ing. Arq. Jorge Peralta Pintado

FECHA DE CONFECCION	FECHA DE ROTURA	EDAD ENSAYO (días)	PESO SECO (g)	PESO SATURADO (g)	ALTEZA (cm)	AREA (cm ²)	P. VOLU (kg/m ³)	PSAT. PESCO (kg)	C (%)	% máx (%)	CODIGO UNIDAD	HORA	OBSERVACIONES	RESPONSABLE
13-jul-17	26-jul-17	13	4066.3	4606.6	7.70	171	3.085	540.3	13.287		EGAMIL6			
13-jul-17	26-jul-17	13	4257.1	4844.0	7.90	171	3.146	586.9	13.786		EGAMIL4			
13-jul-17	26-jul-17	13	4094.7	4734.6	7.40	171	3.231	639.9	15.628		EGAMIL2	17:00		
13-jul-17	26-jul-17	13	4268.5	4822.0	7.80	171	3.201	553.5	12.967		EGAMIL1			
13-jul-17	26-jul-17	13	4170.1	4725.1	7.50	171	3.252	555.0	13.309		EGAMIL5			
18-jul-17	26-jul-17	8	3978.7	4737.4	8.00	172	2.893	758.7	19.069		EGAM215			
18-jul-17	26-jul-17	8	3772.0	4479.4	7.90	173	2.761	707.4	18.754		EGAM212			
18-jul-17	26-jul-17	8	3776.1	4471.8	7.85	173	2.787	695.7	18.424		EGAM216	17:30		
18-jul-17	26-jul-17	8	3856.9	4586.9	7.75	172	2.887	730.0	18.927		EGAM213			
18-jul-17	26-jul-17	8	3975.4	4711.2	8.10	172	2.849	735.8	18.509	25.0	EGAM214			Edison Castillo C.
13-jul-17	26-jul-17	13	3580.6	4479.1	7.70	175	2.654	898.5	25.094		EGAM316			
13-jul-17	26-jul-17	13	3465.5	4302.6	7.80	173	2.565	837.1	24.155		EGAM3128			
13-jul-17	26-jul-17	13	3451.6	4273.6	7.60	173	2.621	822.0	23.815		EGAM3130	18:00		
13-jul-17	26-jul-17	13	3526.0	4332.6	7.90	174	2.567	806.6	22.876		EGAM318			
13-jul-17	26-jul-17	13	3419.6	4288.2	7.65	174	2.570	868.6	25.401		EGAM3123			
21-jul-17	26-jul-17	5	3103.3	4148.8	7.95	173	2.253	1045.5	33.690		EGAM412			
21-jul-17	26-jul-17	5	2929.7	3779.5	7.55	176	2.211	849.8	29.006		EGAM412			
21-jul-17	26-jul-17	5	2966.7	4000.8	7.80	177	2.154	1034.1	34.857		EGAM418	18:30		
21-jul-17	26-jul-17	5	2953.5	3932.8	7.80	174	2.174	979.3	33.157		EGAM411			
21-jul-17	26-jul-17	5	2982.2	4007.2	8.00	172	2.168	1025.0	34.371		EGAM419			

*Según norma INTE-INEN 977 fecha de confirmación 01-4-06-03

Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Agustín Cueva y Av. 12 de Abril, Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas, edison.castillo@ucuenca.edu.ec, 0983367390, 4051102 ext. 2150