



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:**

---

“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LADRILLOS TRADICIONALES Y LADRILLOS ELABORADOS A BASE DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA RED CASIGANA, COMO SUSTITUTO PARCIAL DE LA ARCILLA.”

---

**AUTORA:** MAYRA JISELA REINOSO CHICAIZA

**TUTOR:** ING. MG. DIEGO SEBASTIÁN CHÉRREZ GAVILANES

**AMBATO – ECUADOR**

**2017**

## **CERTIFICACIÓN DEL TUTOR**

Yo, Ing. Mg. Diego Sebastián Chérrez Gavilanes, certifico que la presente tesis de grado realizada por la Srta. Mayra Jissela Reinoso Chicaiza, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato; se ha desarrollado bajo mi tutoría, es un trabajo personal e inédito realizado bajo el tema **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LADRILLOS TRADICIONALES Y LADRILLOS ELABORADOS A BASE DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA RED CASIGANA, COMO SUSTITUTO PARCIAL DE LA ARCILLA.”**

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, Agosto del 2017

-----  
Ing. Mg. Diego Sebastián Chérrez Gavilanes  
**DOCENTE TUTOR**

## **AUTORIA DEL TRABAJO**

Yo, Mayra Jissela Reinoso Chicaiza, CI. 050366596-0, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo experimental bajo el tema **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LADRILLOS TRADICIONALES Y LADRILLOS ELABORADOS A BASE DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA RED CASIGANA, COMO SUSTITUTO PARCIAL DE LA ARCILLA”** es de mi completa autoría.

Ambato, Agosto del 2017

-----  
Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

**AUTORA**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este trabajo experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y proceso de investigación, según las normas de la institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi trabajo experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este trabajo experimental dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Agosto del 2017

-----  
Egda. Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

**AUTORA**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los suscritos profesores calificadores, una vez revisado, aprueban el informe de investigación, sobre el tema: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LADRILLOS TRADICIONALES Y LADRILLOS ELABORADOS A BASE DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA RED CASIGANA, COMO SUSTITUTO PARCIAL DE LA ARCILLA”, de Mayra Jissela Reinoso Chicaiza, de la carrera de Ingeniería Civil, el mismo que guarda conformidad con las disposiciones reglamentarias emitidas por el Centro de Estudios de Pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman,

-----  
**ING. MG. ALEX LÓPEZ**

-----  
**ING. MG. MILTON ALDAS**

## DEDICATORIA

*A Dios por darme la vida y hacer posible la culminación de esta maravillosa etapa de mi vida, gracias a su bendición y protección.*

*A mi madre, por estar siempre a mi lado brindándome su apoyo incondicional y sus palabras de aliento en cada instante justo cuando más lo necesito.*

*A mi padre, por ser mi ejemplo a seguir, demostrarme que nada es imposible con esfuerzo y sacrificio.*

*A mi esposo, por estar presente en todo momento siendo mi soporte, por aconsejarme y querer siempre lo mejor para mí.*

*A mi hija, por alegrarme cada día de mi vida, siendo mi motor para no desmayar y seguir adelante.*

*A mis hermanas, por ser mis mejores amigas y por su ayuda cuando más lo necesite.*

*A mi abuelita, tía, tío y su esposa, por su bendición, consejos y palabras sinceras de aliento.*

*A mi suegro, por ser quien me demuestra que la vida hay que disfrutarla y saber afrontar todos los obstáculos que se presenten.*

*A mi abuelito que está en cielo y es quien me cuida y protege siempre.*

*Mayra*

## AGRADECIMIENTO

*A Dios por darme la oportunidad de continuar en este camino, en compañía de mis seres amados.*

*A mis padres, por ser mi ejemplo a seguir y darme su apoyo incondicional en cada decisión que tomo en mi vida, por guiarme por el camino correcto para ser una persona de bien.*

*A mi esposo, el amor de mi vida quien estuvo siempre junto a mi apoyándome en cada momento que lo necesitaba.*

*A mi hija, por ser mi inspiración y motor para seguir adelante.*

*A mis hermanas, gracias por sus consejos y ayuda, en especial a la menor por ser mi fiel compañía siempre.*

*A mis suegros, cuñados y sobrinos, que a pesar de la distancia me han brindado sus palabras de aliento.*

*A mis abuelitos, tíos y primos, personas con las que he compartido momentos de felicidad y tristeza.*

*Al Ing. Diego Chérrez, por su asesoría y colaboración para culminar este trabajo.*

*Mayra*

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

### A. PÁGINAS PRELIMINARES

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR .....	II
AUTORIA DEL TRABAJO.....	III
DERECHOS DE AUTOR .....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO .....	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XIV
RESUMEN EJECUTIVO.....	XVI

### B. TEXTO

#### CAPÍTULO I

##### ANTECEDENTES

1.1. TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.....	1
1.2.ANTECEDENTES.....	1
1.3.JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4.OBJETIVOS.....	5
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	5
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5

#### CAPÍTULO II

##### FUNDAMENTACIÓN

2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	6
2.1.1 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.....	6
2.1.2 ETAPAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.....	7
2.1.3 LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.....	13

2.1.3.1. ORIGEN.....	13
2.1.3.2. OBTENCIÓN DEL LODO.....	13
2.1.3.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS.....	15
2.1.3.4. TIPO DE LODO.....	18
2.1.4 LADRILLOS TRADICIONALES.....	18
2.1.5 COMPONENTES DE LOS LADRILLOS.....	19
2.1.5.1. ARCILLA.....	19
2.1.5.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LA ARCILLA.....	19
2.1.5.1.2. PROPIEDADES DE LA ARCILLA.....	21
2.1.5.2. ARENA.....	23
2.1.5.2.1. CARACTERÍSTICAS DE LA ARENA.....	23
2.1.5.3. ASERRIN.....	23
2.1.5.3.1. CARACTERÍSTICAS DEL ASERRIN.....	23
2.1.5.4. AGUA.....	24
2.1.6. DOSIFICACIÓN DE LADRILLOS.....	24
2.1.7. ELABORACION DE LADRILLOS.....	26
2.1.8. ENSAYOS DE MATERIALES.....	34
2.1.8.1. GRANULOMETRÍA.....	35
2.1.8.2. RESISTENCIA A COMPRESIÓN.....	36
2.2.HIPÓTESIS.....	36
2.3.SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS.....	36
2.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	36
2.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE.....	36

### **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

3.1. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	37
3.1.1. TIPO EXPLORATORIO.....	37
3.1.2. TIPO DESCRIPTIVO.....	37
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	38
3.2.1. POBLACIÓN.....	38
3.2.2. MUESTRA.....	38
3.3. OPERACIÓN DE VARIABLES.....	39
3.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	39
3.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE.....	40
3.4. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN .....	41
3.5. PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	42
3.5.1. PLAN DE PROCESAMIENTO.....	42
3.5.2. PLAN DE ANÁLISIS.....	42

### **CAPÍTULO IV ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

4.1. METODOLOGÍA.....	43
4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	63
4.2. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.....	64

### **CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1. CONCLUSIONES.....	65
5.2. RECOMENDACIONES.....	67

## **C. MATERIAL DE REFERENCIA**

BIBLIOGRAFÍA.....	68
ANEXOS.....	71
A. IMÁGENES DEL DESARROLLO DEL TRABAJO EXPERIMENTAL	
B. PLANO DE PARTES Y DIMENSIONES DEL LADRILLO	
C. ANÁLISIS QUÍMICO - MICROBIOLÓGICO DEL LODO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA RED CASIGANA.	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA N° 1.</b> Límites máximos permisibles para extracción de metales pesados en base seca (digestión acida) .....	15
<b>TABLA N° 2.</b> Criterios microbiológicos para no catalogar a un desecho biológico como peligroso .....	15
<b>TABLA N° 3.</b> Análisis químico del lodo de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la red Casigana .....	16
<b>TABLA N° 4.</b> Análisis microbiológico del lodo de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la red Casigana .....	16
<b>TABLA N° 5.</b> Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos .....	17
<b>TABLA N° 6.</b> El aprovechamiento de los biosólidos, se establece en función del tipo y clase.....	17
<b>TABLA N° 7.</b> Clases de suelos .....	20
<b>TABLA N° 8.</b> Grado de plasticidad del suelo.....	23
<b>TABLA N° 9.</b> Porcentaje de lodo como sustituto parcial de la arcilla en la elaboración de ladrillos. ....	24
<b>TABLA N° 10.</b> Dosificación para 12 ladrillos con dimensiones de 33x14x9cm sin la sustitución parcial de lodo.....	25
<b>TABLA N° 11.</b> Dosificación para 48 ladrillos de 33x 14x 9 cm, sin la sustitución parcial de lodo. ....	25
<b>TABLA N° 12.</b> Dosificación para ladrillos con lodo en sustitución del 5% de arcilla. ....	25
<b>TABLA N° 13.</b> Dosificación para ladrillos con lodo en sustitución del 10% de arcilla.....	26
<b>TABLA N° 14.</b> Dosificación para ladrillos con lodo en sustitución del 15% de arcilla.....	26
<b>TABLA N° 15.</b> Cantidad total de los componentes utilizados en los ladrillos. ....	26
<b>TABLA N° 16.</b> Granulometría del agregado fino. ....	35
<b>TABLA N° 17.</b> Operación de la Variable Independiente .....	39
<b>TABLA N° 18.</b> Operación de la Variable Dependiente .....	40

<b>TABLA N° 19.</b> Recolección de información.....	41
<b>TABLA N° 20.</b> Análisis Granulométrico Arena .....	44
<b>TABLA N° 21.</b> Análisis Granulométrico Arcilla.....	45
<b>TABLA N° 22.</b> Porcentajes de arcilla más lodo para el límite líquido y plástico .....	46
<b>TABLA N° 23.</b> Límite líquido arcilla.....	47
<b>TABLA N° 24.</b> Límite líquido lodo .....	48
<b>TABLA N° 25.</b> Límite líquido arcilla con la sustitución de lodo al 5%.....	49
<b>TABLA N° 26.</b> Límite líquido arcilla con la sustitución de lodo al 10%.....	50
<b>TABLA N° 27.</b> Límite líquido arcilla con la sustitución de lodo al 15%.....	51
<b>TABLA N° 28.</b> Límite plástico arcilla.....	52
<b>TABLA N° 29.</b> Límite plástico lodo .....	53
<b>TABLA N° 30.</b> Límite plástico arcilla con la sustitución de lodo al 5%. .....	53
<b>TABLA N° 31.</b> Límite plástico arcilla con la sustitución de lodo al 10%.....	54
<b>TABLA N° 32.</b> Límite plástico arcilla con la sustitución de lodo al 15%.....	54
<b>TABLA N° 33.</b> Índice plástico arcilla .....	56
<b>TABLA N° 34.</b> Índice plástico lodo .....	57
<b>TABLA N° 35.</b> Resistencia a compresión ladrillos tradicionales .....	58
<b>TABLA N° 36.</b> Resistencia a compresión de ladrillos con lodo en sustitución del 5% de arcilla. ....	59
<b>TABLA N° 37.</b> Resistencia a compresión de ladrillos con lodo en sustitución del 10% de arcilla. ....	60
<b>TABLA N° 38.</b> Resistencia a compresión de ladrillos con lodo en sustitución del 15% de arcilla. ....	61
<b>TABLA N° 39.</b> Tabla de resumen de resultados de laboratorio. ....	62

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>GRÁFICO N° 1.</b> Medición automática del caudal .....	7
<b>GRÁFICO N° 2.</b> Dosificación de químicos .....	7
<b>GRÁFICO N° 3.</b> Precoloración .....	8
<b>GRÁFICO N° 4.</b> Floculador mecánico - Agitador .....	8
<b>GRÁFICO N° 5.</b> Floculación hidráulica .....	9
<b>GRÁFICO N° 6.</b> Sedimentadores .....	9
<b>GRÁFICO N° 7.</b> Filtros .....	10
<b>GRÁFICO N° 8.</b> Agua Filtrada .....	10
<b>GRÁFICO N° 9.</b> Cloración con gas .....	11
<b>GRÁFICO N° 10.</b> Tanque de reserva de 2000 m <sup>3</sup> .....	12
<b>GRÁFICO N° 11.</b> Tanque de lodos .....	12
<b>GRÁFICO N° 12.</b> Válvulas de desagüe .....	13
<b>GRÁFICO N° 13.</b> Recolección de lodos .....	14
<b>GRÁFICO N° 14.</b> Cierre de válvulas. ....	14
<b>GRÁFICO N° 15.</b> Partes y dimensiones del ladrillo .....	18
<b>GRÁFICO N° 16.</b> Carta de plasticidad .....	20
<b>GRÁFICO N° 17.</b> Límites de Atterberg .....	21
<b>GRÁFICO N° 18.</b> Curva de Escurrimiento .....	22
<b>GRÁFICO N° 19.</b> Tanque de almacenamiento de lodo .....	26
<b>GRÁFICO N° 20.</b> Lodo en bandeja metálica al aire libre. ....	27
<b>GRÁFICO N° 21.</b> Pesaje de los componentes .....	27
<b>GRÁFICO N° 22.</b> Distribución de la dosificación. ....	28
<b>GRÁFICO N° 23.</b> Mezcla de los componentes con herramienta manual .....	28
<b>GRÁFICO N° 24.</b> Colocación de la mezcla en el molino .....	29
<b>GRÁFICO N° 25.</b> Preparación de la superficie plana .....	29
<b>GRÁFICO N° 26.</b> Colocación del aserrín .....	30
<b>GRÁFICO N° 27.</b> Colocación de la mezcla en el molde .....	30
<b>GRÁFICO N° 28.</b> Alisado de la superficie del ladrillo .....	31
<b>GRÁFICO N° 29.</b> Obtención del ladrillo .....	31
<b>GRÁFICO N° 30.</b> Identificación de los ladrillos .....	32
<b>GRÁFICO N° 31.</b> Apilado de ladrillo crudo .....	32

<b>GRÁFICO N° 32.</b> Cocción de ladrillos. ....	33
<b>GRÁFICO N° 33.</b> Ladrillo quemado dentro del horno.....	33
<b>GRÁFICO N° 34.</b> Transporte del ladrillo .....	34
<b>GRÁFICO N° 35.</b> Curva Granulométrico Arena .....	44
<b>GRÁFICO N° 36.</b> Curva Granulométrico Arcilla .....	45
<b>GRÁFICO N° 37.</b> Curva de escurrimiento de la arcilla. ....	47
<b>GRÁFICO N° 38.</b> Curva de escurrimiento del lodo.....	48
<b>GRÁFICO N° 39.</b> Curva de escurrimiento - Arcilla con la sustitución de lodo al 5%. ....	49
<b>GRÁFICO N° 40.</b> Curva de escurrimiento-Arcilla con la sustitución de lodo al 10%. ....	50
<b>GRÁFICO N° 41.</b> Curva de escurrimiento-Arcilla con la sustitución de lodo al 15%. ....	51
<b>GRÁFICO N° 42.</b> Resistencia a compresión de ladrillos tradicionales y ladrillos con lodo en sustitución del 5%, 10% y 15 % de arcilla. ....	63

## **RESUMEN EJECUTIVO**

**TEMA:** “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LADRILLOS TRADICIONALES Y LADRILLOS ELABORADOS A BASE DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA RED CASIGANA, COMO SUSTITUTO PARCIAL DE LA ARCILLA.”

**Autora:** Egda. Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

**Tutor:** Ing. Mg. Diego Sebastián Chérrez Gavilanes

El presente trabajo experimental trata sobre la elaboración de ladrillos tradicionales y de ladrillos con lodo de la Planta de Tratamiento de Agua Potable red Casigana, como sustituto parcial de la arcilla, en los porcentajes de 5%, 10% y 15%.

En primer lugar, se efectuaron ensayos de laboratorio de los componentes: arcilla y arena los cuales intervinieron en la pasta para la elaboración de ladrillos, con la finalidad de realizar una correcta dosificación al peso, con la ayuda de la experiencia de la planta de producción de los ladrillos tradicionales “Ladrillera - La casa de la construcción”.

Además, se evaluó las propiedades de plasticidad de: arcilla, lodo y arcilla con los distintos sustitutos parciales de lodo.

Con respecto a la resistencia a compresión se comprobó que los ladrillos elaborados con lodo como sustituto al 5%, 10% y 15%, disminuyeron la resistencia en comparación con los ladrillos tradicionales.

## EXECUTIVE SUMMARY

**THEME:** "COMPARATIVE ANALYSIS OF THE RESISTANCE TO COMPRESSION OF TRADITIONAL BRICKS AND BRICKS ELABORATED WITH MUD FROM DRINKING WATER TREATMENT PLANT OF CASIGANA NETWORK, AS PARTIAL SUBSTITUTE FOR CLAY."

**Author:** Egda. Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

**Tutor:** Ing. Mg. Diego Sebastián Chérrez Gavilanes

The present experimental work deals with the elaboration of traditional bricks and bricks with mud from drinking water treatment plant of Casigana network, as partial substitute for clay, in the percentages of 5%, 10% and 15%.

Firstly, laboratory tests were carried out on the components: clay and sand which intervened in the paste for the elaboration of bricks, in order to make a correct proportion to the weight, with the help of the experience of the plant production of traditional bricks "brickworks – La Casa de la Construcción".

In addition, the plasticity properties of clay, mud and clay were evaluated with the various partial mud substitutes.

In conclusion, with respect the compressive strength, it was verified that bricks made with mud as substitute for 5%, 10% and 15%, decreases the resistance compared to traditional bricks.

## **CAPÍTULO I**

### **ANTECEDENTES**

#### **1.1.TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL**

Análisis comparativo de la resistencia a compresión de ladrillos tradicionales y ladrillos elaborados a base de lodos de la planta de tratamiento de agua potable de la red Casigana, como sustituto parcial de la arcilla.

#### **1.2.ANTECEDENTES**

Durante los últimos años se han realizado investigaciones que buscan mejorar el proceso de fabricación de los ladrillos, ya es un material muy utilizado en la construcción de mampostería de interiores y exteriores.

En las antiguas Mesopotamia y Palestina, donde apenas se disponía de madera y piedras. Los habitantes de Jericó en Palestina fabricaban ladrillos hace unos 9.000 años. Pero fue en España donde, por influencia musulmana, el uso del ladrillo alcanzó más difusión, sobre todo en Castilla, Aragón y Andalucía. [1]

Según la Revista Ingeniería de Construcción: Torres. P, Hernández. D y Paredes. D, (2012), mencionan que en el sector de la construcción el lodo es aprovechado en la fabricación de cementos Portland y Clinker, además en la producción de ladrillos cerámicos, lo que trae beneficios como la disposición ambiental segura para residuos potencialmente peligrosos, reducción de la contaminación hídrica causada por su vertimiento, menores gastos de energía, transporte y fabricación y menor utilización de recursos naturales, la reducción de la vegetación comprometida en la extracción de arcilla (principal componente del ladrillo), aumentando la vida útil de las canteras. [2]

El ladrillo cerámico es elemento básico del sector de la construcción y aunque se trata de pequeñas y sencillas piezas, su proceso de elaboración es largo y complejo. Las materias primas son materiales fundentes y estructurantes como las arcillas y arenas respectivamente, las cuales deben adecuarse y seguir un procedimiento de moldeo,

secado, cocción y, finalmente, normalización en función de las normas vigentes, que incluyen variables como resistencia a la compresión.

Además, el aprovechamiento de los lodos aluminosos en la fabricación de ladrillos cerámicos muestra la necesidad de evaluar contenido de humedad, tamaño de partícula, plasticidad y composición mineralógica, que determinan el comportamiento de variables críticas como la resistencia a la compresión y la absorción. Los mejores resultados fueron obtenidos con porcentajes de lodo alrededor del 10%. [2]

Con el fin de contribuir para proyectos sobre la reutilización de lodos de las plantas de tratamiento de agua potable, se han realizado las siguientes investigaciones como:

**“Aprovechamiento de lodos deshidratados generados en plantas de tratamiento de agua potable y residual como agregado para materiales de construcción”, de los autores A. Bermeo y E. Idrovo, de la Universidad de Cuenca, Escuela de Ingeniería Civil. [3]**

Esta investigación afirma que es nueva forma de construcción ecológica, ya que, al convertirse en un innovador mecanismo de gestión, manejo y disposición de residuos, se fortalece un desarrollo sostenible, con un importante aporte en la disminución de explotación y búsqueda de áridos en canteras. Esto permite una mejora en la huella medioambiental, a través del uso de materias primas alternativas que minimizan el impacto y la producción de los principales gases causantes del calentamiento global (CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>).

Además menciona que al reemplazar hasta el 15% del árido fino por el lodo desecado de PTAP y PTAR, se observó una disminución considerable en la resistencia a la compresión y tracción indirecta en las probetas que contenía lodo proveniente de la planta potabilizadora. No así en el caso de las probetas elaboradas con lodo desecado de la planta depuradora, las mismas que presentaron un mejor comportamiento y resistencias adecuadas para posibles usos estructurales; esto posiblemente debido al aporte de aluminio y hierro predominantes en la composición del lodo, que contribuyen a la formación de la matriz cementante.

Finalmente, lo que corresponde a la resistencia los nuevos ladrillos que incorporan lodo presentan un incremento del 54% en relación con el ladrillo convencional, considerando el 5% como porcentaje óptimo de sustitución del peso del ladrillo.

Otra investigación realizada es: “**Fabricación de ladrillo cerámicos utilizando como aditivo rotura y lodos de la planta de tratamiento de agua de la Empresa Edesa S.A**”, del autor **P. Salazar de la Universidad Central del Ecuador de la Facultad de Ingeniería Química**. [4]

- Al utilizar concentraciones del 10% de lodos sin la utilización de rotura, o al utilizar concentraciones del 10%, 40% o 50% de rotura sin la utilización de lodos, o concentraciones del 10% de lodos con la utilización de rotura en las formulaciones. Se puede obtener Ladrillos Cerámicos tipo B según la NTE INEN 297.
- Al utilizar concentraciones del 20% o 30% de lodos sin la utilización de rotura, o concentraciones del 10% de lodos con la utilización de rotura, o concentraciones del 10%, 20% o 30% de rotura con la utilización de lodos en las formulaciones. Se puede obtener Ladrillos Cerámicos tipo C según la NTE INEN 297. [4]

### **1.3.JUSTIFICACIÓN**

La presente investigación experimental, analizará el comportamiento de la resistencia a compresión de los ladrillos elaborados con lodo de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la red Casigana, el mismo que es el sustituto parcial de la arcilla, por lo que se toma en cuenta que el ladrillo tradicional es uno de los materiales más utilizados en la construcción de mampostería de interiores y exteriores.

En Colombia, la información con respecto a la reutilización y tratamiento de lodos provenientes de la planta de tratamiento de agua potable es escasa, sin embargo, en el municipio de Caldas (Antioquia), se cuenta con una planta piloto para el tratamiento de lodo donde se espesan por medio de polímeros hasta su secado para su posterior disposición. [5]

Según la revista publica por: Torres. P, Hernández. D y Paredes. D, (2012) indican que el uso productivo del lodo de plantas de tratamiento de agua potable en la fabricación de ladrillos cerámicos ayuda a la recuperación de los recursos naturales y disminuir la contaminación ambiental. Además, muestran que es viable incorporar estos lodos en reemplazo parcial de uno de los materiales constitutivos del ladrillo, en este caso la arena en un porcentaje del 10%. [2]

En el Ecuador se desconoce el volumen total de lodos generados por las plantas de tratamiento de agua potable como las de aguas residuales; sin embargo, las plantas potabilizadoras de agua de la Ciudad de Cuenca se tiene una producción diaria y anual de lodos aluminosos provenientes de la remoción de sólidos suspendidos presentes en el agua cruda y de reactivos adicionados, que son vertidos en los suelos y en otro caso llevados al relleno sanitario. [3]

En la Universidad Central se planteó: “Fabricación de ladrillo cerámicos utilizando como aditivo rotura y lodos de la planta de tratamiento de agua de la Empresa Edesa S.A” [4], donde utiliza el porcentaje del 10% de lodos, obteniendo de esta manera ladrillos de acuerdo con la norma NTE INEN 297[6].

Tomando en cuenta el Plan Nacional del Buen Vivir, en el objetivo siete menciona: Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental, territorial y global. Mientras que en sus políticas y lineamientos estratégicos en el literal 7.8.d. nos dice:

“Fortalecer los mecanismos de regulación y control, y establecer incentivos para la prevención de la contaminación ambiental, el fortalecimiento del consumo responsable y la reducción, *reutilización y reciclaje de residuos*, mejorando la eficiencia en el uso de los recursos con una perspectiva cíclica y regenerativa en todas sus fases.” [7]

Se puede decir que el uso del lodo como sustituto parcial de la arcilla es una nueva forma de construcción ecológica ya que es innovador la obtención de los lodos para reutilizarlos y así disminuir la explotación y búsqueda de arcillas en canteras.

De esta manera el lodo contribuiría en el sector de la construcción con un componente utilizado en la fabricación de ladrillos tradicionales.

## **1.4.OBJETIVOS**

### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

Analizar el comportamiento de la resistencia a compresión de ladrillos tradicionales y ladrillos elaborados a base de lodos de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la red Casigana, como sustituto parcial de la arcilla.

### **1.4.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Comparar la plasticidad de la materia prima con las nuevas alternativas de materiales.
- Proponer porcentajes de lodos en la elaboración de ladrillos en busca de mejorar la resistencia a compresión de los ladrillos tradicionales.
- Determinar la variación de la resistencia a la compresión de ladrillos elaborados con lodos en relación con los ladrillos tradicionales.

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTACIÓN**

#### **2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

##### **2.1.1. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE – CASIGANA**

La Planta de Tratamiento de Agua Potable – Casigana, de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato (EMAPA), se encuentra ubicada en la provincia de Tungurahua, vía Santa Rosa, con una altura de 2845msnm, la misma que abastece a las siguientes redes de distribución de agua potable:

- Red de La Magdalena.
- Red de Huachi Chico alto.
- Red de Huachi Chico.
- Red de La Floresta

La planta de Tratamiento de Agua Potable – Casigana, tiene por objetivo transformar el “agua cruda” en “agua potable”. [8]

El agua cruda que llega a la planta como materia prima proviene de dos fuentes:

- La primera es del Canal de riego Huachi-Pelileo, del cual EMAPA recibe 300 litros/segundo de agua cruda [8], la misma que baja hacia la Planta de Tratamiento por gravedad.
- La segunda fuente es por bombeo desde la parte baja del río Ambato, aquí el agua es impulsada a través de dos estaciones de bombeo y este sistema es utilizado cuando el primero entra en crisis ya sea en época de estiaje o cuando el requerimiento de agua en la ciudad es mayor.

La Planta de Tratamiento de Agua Potable-Casigana, tiene un proceso de tipo convencional secundario, porque posee las siguientes etapas: captación, floculación, sedimentación, filtración y cloración, para así garantizar que el líquido vital se distribuya a la ciudadanía y sea apta para el consumo humano.

## 2.1.2. ETAPAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

### 1. CAPTACIÓN

El agua se recibe en un tanque de entrada diseñado para que, mediante aparatos electrónicos se mida automáticamente el caudal de agua que llega y también la turbiedad del agua.

**GRÁFICO N° 1.** Medición automática del caudal



**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

### 2. COAGULACIÓN

Luego de los dos parámetros antes mencionados se realiza la dosificación o adición controlada del producto químico: coagulante – floculante llamado Policloruro de Aluminio.

**GRÁFICO N° 2.** Dosificación de químicos



**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

**GRÁFICO N° 3. Precoloración**



**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

### **3. FLOCULACIÓN**

Existen dos tipos de floculadores que son mecánicos e hidráulicos, en esta etapa, el Policloruro de Aluminio añadido, forma coágulos o flóculos, los cuales atrapan las impurezas contenidas en el agua durante todo el recorrido en los floculadores hasta adquirir un peso adecuado para ingresar a la siguiente etapa.

**GRÁFICO N° 4. Floculador mecánico - Agitador**



**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

**GRÁFICO N° 5.** Floculación hidráulica



**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

#### **4. SEDIMENTACIÓN**

Se realiza en los tanques sedimentadores y se produce porque los coágulos o flóculos que han adquirido un peso adecuado se van hacia el fondo de los tanques y el agua sobrenadante que ya está libre de casi todas las impurezas pasa hacia la filtración.

**GRÁFICO N° 6.** Sedimentadores



**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

## 5. FILTRACIÓN

Se la realiza mediante filtros lentos que están compuestos por varias capas de arena de diferente tamaño y una capa superior de antracita la cual es importada. La función de los filtros es retener todo el material en suspensión que no ha logrado sedimentar entre lo que también están las bacterias y quistes de amebas.

**GRÁFICO N° 7.** Filtros



**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

**GRÁFICO N° 8.** Agua Filtrada



**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

## 6. DESINFECCIÓN O CLORACIÓN

Al añadir cloro en forma de gas, estamos desinfectando el agua filtrada y que puede contener microorganismos especialmente patógenos, y de esta manera garantizamos que el agua producida por la planta Casigana se encuentre apta para el consumo humano y se la pueda tomar directamente sin necesidad de hacer hervir este líquido vital.

**GRÁFICO N° 9.** Cloración con gas



**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

## 7. TANQUE DE RESERVA

El agua que llega a cada una de las reservas se envía a través de las tuberías que constituyen la red de distribución a los usuarios ubicados en la zona de servicio de cada tanque de reserva. En los tanques reservorios se realiza un estricto control programado para garantizar la calidad del agua que recibe el usuario.

**GRÁFICO N° 10.** Tanque de reserva de 2000 m<sup>3</sup>



**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

## **8. TANQUE DE RECEPCIÓN DE LODOS**

Después de todo el proceso de potabilización del agua, se genera un total de 196ml de lodos por litro de agua tratada que son provenientes de la etapa de coagulación-floculación, sedimentación y retro lavado de filtros [9].

El tanque posee unas dimensiones de 6,50 metros de diámetro por 3,00 metros de altura, con una tubería de desagüe de hormigón de 1,00 m de diámetro.

**GRÁFICO N° 11.** Tanque de lodos



**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

### **2.1.3. LODOS PLANTA DE TRATAMIENTO**

#### **2.1.3.1 ORIGEN**

Los lodos obtenidos para la elaboración de los ladrillos que forman parte de este trabajo experimental son el resultado final del proceso de tratamiento de agua potable de la red Casigana, los mismos que terminan en un tanque a cielo abierto.

Estos lodos una vez que se encuentran en el tanque se proceden a desaguar quedando el material propiamente dicho sedimentado.

Es factible la sustitución parcial de la arcilla por lodo, ya que el mismo contiene aluminio, debido a la adición de policloruro de aluminio en la etapa de coagulación.

El policloruro de aluminio se utiliza principalmente para remover la materia coloidal del sistema acuoso, que son las partículas de bajo diámetro responsables de la turbidez o del color del agua. [10]

Debido a su baja sedimentación la mejor manera de eliminarlos es por los procesos de coagulación-floculación, ya que el objetivo de la coagulación es desestabilizar la carga electrostática para promover que los coloides se agrupen y de esta manera generar los lodos. [11]

#### **2.1.3.2 OBTENCIÓN DEL LODO**

Se realiza el desagüe del tanque de lodos, para lo cual se debe:

- Abrir las válvulas.

**GRÁFICO N° 12.** Válvulas de desagüe



**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

- Recolección de lodos.

**GRÁFICO N° 13.** Recolección de lodos



**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

- Cerrar las válvulas de desagüe.

**GRÁFICO N° 14.** Cierre de válvulas.



**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

**Nota:** La limpieza total de este tanque lo realizan cada seis meses por normas de la empresa.

### 2.1.3.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS

De estos lodos se desconoce su composición, por lo que es necesario analizar según la “NORMA TÉCNICA DE DESECHOS PELIGROSOS Y ESPECIALES”, donde menciona en el literal 3.10, que los lodos deben ser sometidos a procesos físicos, químicos o biológicos, para luego realizar su disposición final y así evitar o reducir sus efectos contaminantes al medio ambiente, así mismo en el literal 7, nos da algunos criterios para considerar a un desecho como no peligroso o especial. [12]

**TABLA N° 1.** Límites máximos permisibles para extracción de metales pesados en base seca (digestión acida)

<b>CONTAMINANTE</b>	<b>LIMITE MÁXIMO PERMISIBLE mg/Kg en base seca</b>
Arsénico	75
Cadmio	85
Cromo	3000
Plomo	4300
Mercurio	840
Níquel	57
Zinc	420

**Fuente:** Norma Técnica de Desechos Peligrosos y Especiales

**TABLA N° 2.** Criterios microbiológicos para no catalogar a un desecho biológico como peligroso

<b>PARÁMETRO</b>	<b>CONCENTRACIÓN MÁXIMA PERMITIDA</b>
Coliformes fecales	$2 \times 10^6$ NMP o UFC/g ST
Huevos de Helmintos	15/g
Salmonella sp	$10^3$ /g

**Fuente:** Norma Técnica de Desechos Peligrosos y Especiales

En base a las Tablas 2 y 3, se realizó el análisis químico y microbiológico del lodo en el Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (CESTTA), obteniendo los siguientes valores.

**TABLA N° 3.** Análisis químico del lodo de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la red Casigana

<b>CONTAMINANTE</b>	<b>LIMITE MÁXIMO PERMISIBLE</b> <b>mg/Kg en base seca</b>	<b>VALORES DETERMINADOS</b> <b>mg/L</b>
Arsénico	75	<0,010
Cadmio	85	<0,004
Cromo	3000	<0,010
Plomo	4300	<0,010
Mercurio	840	<0,001
Níquel	57	<0,050
Zinc	420	<0,250

**Fuente:** Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (CESTTA)

**TABLA N° 4.** Análisis microbiológico del lodo de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la red Casigana

<b>PARÁMETRO</b>	<b>CONCENTRACIÓN MÁXIMA PERMITIDA</b>	<b>VALORES DETERMINADOS</b>
Coliformes fecales	$2 \times 10^6$ NMP o UFC/g ST	$7 \times 10^2$
Huevos de Helminos	15/g	<b>Ausencia</b>
Salmonella sp	$10^3$ /g	<b>Ausencia</b>

**Fuente:** Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (CESTTA)

La norma ecuatoriana de desechos peligrosos y especiales se basa en la norma Oficial Mexicana [13], la misma que menciona sobre la protección ambiental de los lodos y biosólidos, dando a conocer ciertas especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

**TABLA N° 5.** Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos

CLASE	INDICADOR BACTERIOLÒGICO DE CONTAMINACIÒN	PATÒGENOS	PARÀSITOS
		Coliformes fecales NMP/g en base seca	Salmonella spp. NMP/g en base seca
<b>A</b>	<i>Menor de 1 000</i>	<i>Menor de 3</i>	<i>Menor de 1(a)</i>
<b>B</b>	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 10
<b>C</b>	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

(a) Huevos de helmintos viables

NMP número más probable

**Fuente:** Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002

**TABLA N° 6.** El aprovechamiento de los biosólidos, se establece en función del tipo y clase

TIPO	CLASE	APROVECHAMIENTO
<b>EXCELENTE</b>	<b>A</b>	- <i>Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación.</i> - <i>Los establecidos para clase B y C.</i>
<b>EXCELENTE O BUENO</b>	<b>B</b>	- Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación. - Los establecidos para clase C.
<b>EXCELENTE O BUENO</b>	<b>C</b>	- Usos forestales. - Mejoramientos de suelos. - Usos agrícolas.

**Fuente:** Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002

#### 2.1.3.4. TIPO DE LODO

Con el análisis químico-microbiológico realizado y basándose en los resultados obtenidos, se puede determinar que el lodo de la planta de tratamiento de agua potable-Casigana es de clase A - tipo excelente, el mismo que puede ser utilizado sin inconveniente alguno en la elaboración de ladrillos.

#### 2.1.4. LADRILLOS TRADICIONALES

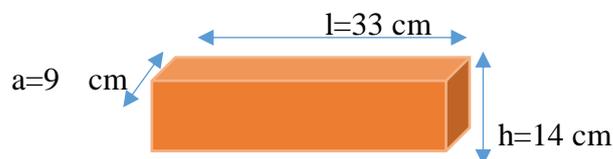
El ladrillo es una pieza de arcilla moldeada y cocida, en forma de prisma rectangular, que se emplea en albañilería principalmente en mampostería.

El ladrillo tradicional o ladrillo cerámico como establece en la norma NTE INEN 293[14], da conocer la clasificación, definición y condiciones generales de uso de los ladrillos empleados en la construcción.

Cabe recalcar que para la elaboración de ladrillos tradicionales y ladrillos con sustituto parcial de lodo que forma parte de este trabajo experimental, nos basaremos de los conocimientos y experiencia de la planta de producción de la ladrillera “La casa de la construcción”.

El ladrillo por elaborarse es el que se le conoce comúnmente con el nombre de jaboncillo, el cual es elaborado artesanalmente y es utilizado en la construcción de paredes exteriores como interiores, ya que al ser cocidos los ladrillos presentan una temperatura cálida en el ambiente.

**GRÁFICO N° 15.** Partes y dimensiones del ladrillo



**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

Donde:

- l (largo)= Es la mayor dimensión de un ladrillo.
- a (ancho). Es la dimensión intermedia de un ladrillo.
- h (alto). Es la menor dimensión de un ladrillo.

Las dimensiones que se muestran en la figura son las utilizadas en nuestro trabajo experimental, a su vez son con las que trabaja la planta de producción ya que la demanda del sector constructor del centro del país así lo requieren en mayor cantidad debido a su fácil adherencia y trabajabilidad en obra.

### **2.1.5. COMPONENTES DE LOS LADRILLOS**

La materia prima para la elaboración de ladrillos es la arcilla, la cual es manejable y amoldable por su plasticidad lo que permite tomar fácilmente la forma (pasta) y secarse sin presentar grietas o deformaciones. [14]

Otros componentes que complementan la elaboración de los ladrillos son: arena, aserrín y agua, los mismos que en conjunto con la arcilla forman una pasta homogénea.

#### **2.1.5.1. ARCILLA**

La norma ASTM D-2487 define a la arcilla como: “Suelo que pasa por el tamiz N°200 (0.075 mm), el cual exhibe plasticidad dentro de un cierto intervalo de humedad, que muestra considerable resistencia cuando se seca al aire.” [15]

Es el material utilizado en un 60%, para la elaboración de ladrillos, que, en contacto con el agua, desarrolla sus propiedades plásticas y puede moldearse con facilidad.

##### **2.1.5.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LA ARCILLA**

Químicamente son silicatos de aluminio hidratado, aunque hay arcillas que contienen silicatos de magnesio o de hierro, pero siempre hidratados. [16]

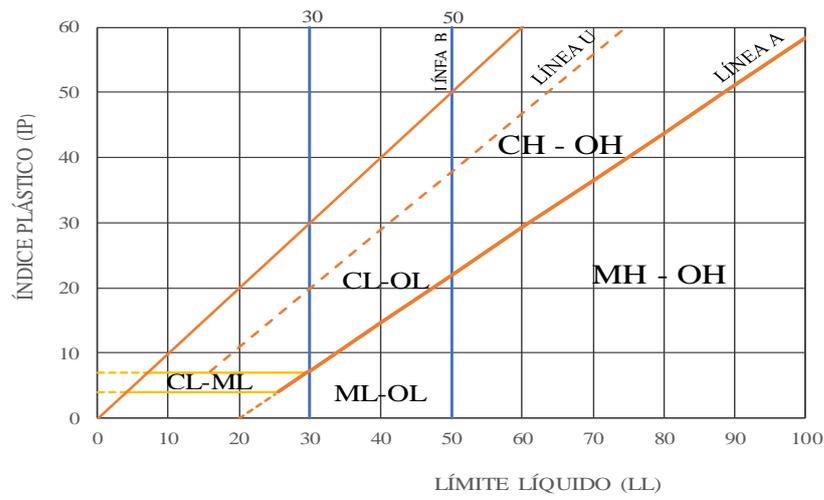
Se define a la arcilla por medio de la carta de plasticidad (límite líquido vs el índice de plasticidad), del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS [17], esta correlación se basa en las siguientes consideraciones:

- A medida que aumenta el límite líquido de la arcilla, también aumenta su plasticidad.
- Los valores  $LL = 30\%$  y  $LL = 50\%$  establecen la diferencia entre el grado de plasticidad de la arcilla inorgánica.
- A valores iguales de  $LL$ , la fuerza en seco de la arcilla inorgánica por lo general aumenta junto con el índice de plasticidad.

El gráfico de plasticidad para la arcilla está dividido en seis secciones por la línea A oblicua trazada de manera que  $IP = 0,73 * (LL-20)$  y dos líneas verticales trazadas en  $LL = 30\%$  y  $LL = 50\%$ .

Nota: La arcilla con un índice de plasticidad inferior al 10% y un límite líquido inferior al 20% son arcillas no cohesivas.

**GRÁFICO N° 16.** Carta de plasticidad



**Fuente:** F. Mantilla, Mecánica de Suelos I

Cada sección del gráfico corresponde a un grupo de suelos con características mecánicas bien definidas. Las tres secciones por encima de la línea A, corresponden a los suelos arcillosos inorgánicos de baja, mediana o alta plasticidad. Las tres secciones que están por debajo de la línea A corresponden a los limos inorgánicos de compresibilidad diversa, los limos orgánicos y los arcillosos orgánicos.

**TABLA N° 7.** Clases de suelos

SÍMBOLO	NOMBRE
CL	Arcilla de baja a media plasticidad
CH	Arcilla de alta plasticidad
ML	Limo de baja a media plasticidad
MH	Limo de alta plasticidad
OL	Suelo orgánico de baja plasticidad
OH	Suelo orgánico de alta plasticidad

**Fuente:** F. Mantilla, Mecánica de Suelos I

La arcilla en forma de pasta tiene las siguientes características:

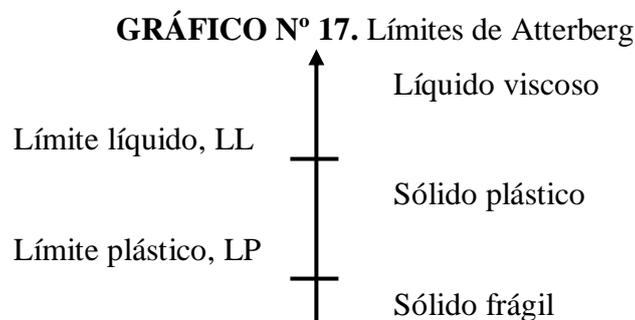
- Aumenta o disminuye la plasticidad.
- Disminuye contracciones durante el secado y la quema, que pueden provocar agrietamiento o deformaciones.
- Baja o sube la temperatura de quema.
- Aumenta o disminuye la densidad de la pasta.
- Cambia el color o la textura. [4]

#### 2.1.5.1.2. PROPIEDADES DE LA ARCILLA

A continuación, se citan algunas de las propiedades que se presentan en la arcilla:

**Plasticidad en la arcilla.** – Es la característica física más significativa de la arcilla, porque es la propiedad capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variaciones volumétricas apreciables, sin deformarse y sin agrietarse.

El ingeniero químico sueco Albert Atterberg hizo notar que la plasticidad en suelos finos como la arcilla no siempre está presente, sino más bien es circunstancial y dependen directamente del contenido de agua. [16]



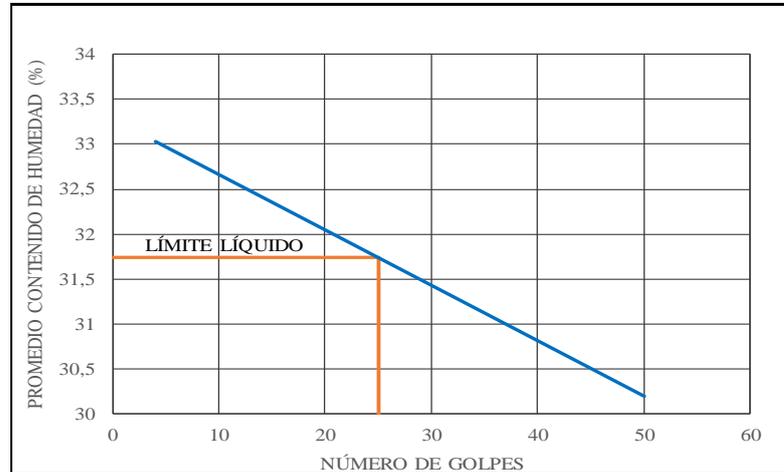
**Fuente:** F. Mantilla, Mecánica de Suelos I

**Límite líquido.** – La norma INEN 691[18] especifica que el límite líquido consiste en determinar el contenido de agua de la arcilla, entre su comportamiento líquido y plástico, valiéndose de un dispositivo mecánico (Copa de Casagrande) en el que, con un determinado número de golpes, se establece la fluencia de la arcilla en condiciones normalizadas.

Los datos obtenidos deben registrarse en un papel semilogarítmico, representando los contenidos de agua, en la escala aritmética, como abscisas, y el número de golpes en

la escala logarítmica, como ordenadas; de esta manera se determina un punto para cada ensayo realizado.

**GRÁFICO N° 18.** Curva de Escurrimiento



**Fuente:** F. Mantilla, Mecánica de Suelos I

**Límite plástico.** – Mediante la norma INEN 692 [19], el límite plástico consiste en determinar el contenido de agua de la arcilla en el límite entre su comportamiento plástico y sólido, para lo cual se utiliza el proceso de rolado para evaporar gradualmente el agua que comienza a fisurarse o disgregarse.

**Índice plástico.** Se calcula el índice plástico de la arcilla como la diferencia numérica entre sus límites líquidos y límite plástico de la siguiente manera.

$$IP = LI - LP \quad (1)$$

Donde:

IP = Índice Plástico

LI = Límite Líquido

LP = Límite Plástico

**Nota:**

- Cuando el límite líquido o el límite plástico no puedan determinarse, el índice de plasticidad se informará con la abreviatura NP (no plástico).
- Así mismo, cuando el límite plástico resulte igual o mayor que el límite líquido, el índice de plasticidad se informará como NP (no plástico).

Según el ingeniero civil George B Sowers [20], determina el grado de plasticidad con la siguiente tabla:

**TABLA N° 8.** Grado de plasticidad del suelo

<b>IP</b>	<b>GRADO DE PLASTICIDAD</b>
0 - 3	No plástico
3 - 15	Ligeramente plástico
15 - 30	Baja a media plasticidad
> 30	Alta plasticidad

**Fuente:** George B Sowers. Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones.

### **2.1.5.2. ARENA**

La arena según la norma ASTM D-2487 [15] son: “partículas de roca que pasan una malla No.4 (4.75 mm) y es retenida en una malla U.S. estándar No.200 (75µm).”

Se utiliza en un 32% para la elaboración de ladrillos ya que ayuda a una mejor compactación de los elementos de la mezcla.

#### **2.1.5.2.1. CARACTERÍSTICAS DE LA ARENA**

La arena aporta en la pasta para la fabricación de ladrillos de la siguiente manera:

- Reducen el exceso de plasticidad de la arcilla, así no retienen tanta cantidad de agua disminuyendo su adherencia al estar húmedas
- Ayuda para que sea mejor su manejo y moldeo.
- Ayuda que la contracción de los ladrillos sea menor al secarse la pasta. [21]

### **2.1.5.3. ASERRÍN**

El serrín o aserrín es el desperdicio del proceso de serrado de la madera, como el que se produce en un aserradero. [22]

Se utiliza en una porción del 8% en la elaboración de ladrillos, cuyas partículas están entre 0,10 mm y 1,0 cm.

#### **2.1.5.3.1. CARACTERÍSTICAS DEL ASERRÍN**

- Ayuda a la pasta a que tenga un secado rápido.
- Sirve para que se compacten los elementos y se adhieran fuertemente.
- Permite una correcta cocción del ladrillo en el horno.
- Absorbe el agua en exceso. [22]

#### 2.1.5.4. AGUA

Es el componente que participa en las reacciones de hidratación de las partículas, para producir la pasta que liga los materiales de la fabricación de los ladrillos.

#### 2.1.6. DOSIFICACIÓN DE LADRILLOS

El Centro de Manejo y Divulgación de Información del INEN, acerca de la dosificación en la elaboración de ladrillos nos dice:

“La norma NTE INEN 297 está en revisión y será reemplazada por la NTE INEN 3049. Ladrillos Cerámicos. Requisitos y métodos de ensayo. Y con respecto a la dosificación no se describe en el documento normativo actual, ya que se considera como *receta* del productor de ladrillos.”

Tomando en cuenta lo antes mencionado para la dosificación se realizó en base a la experiencia del fabricante “Ladrillera- La Casa de la Construcción”, la misma que se detalla posteriormente.

Para proceder a la elaboración de los ladrillos se tomó tres porcentajes los cuales determinan la cantidad de lodo como sustituto parcial de la arcilla, que en unión con los demás componentes nos dará el producto final que es el ladrillo. Los porcentajes utilizados para la elaboración se detallan en la tabla N° 9:

**TABLA N° 9.** Porcentaje de lodo como sustituto parcial de la arcilla en la elaboración de ladrillos.

<b>LADRILLO TRADICIONAL</b>	<b>PORCENTAJE DE LODO (%)</b>
<b>1</b>	5
<b>2</b>	10
<b>3</b>	15

**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

Se realizó una dosificación para un molde de 12 unidades con medidas de: largo 33cm, ancho 14cm y alto 9cm, para lo cual se ocupó la siguiente cantidad de componentes.

**TABLA N° 10.** Dosificación para 12 ladrillos con dimensiones de 33x14x9cm sin la sustitución parcial de lodo

<b>DOSIFICACIÓN UTILIZADA EN LA LADRILLERA</b>			
<b>“LA CASA DE LA CONSTRUCCIÓN”</b>			
<b>ARCILLA</b>	<b>ARENA</b>	<b>ASERRIN</b>	<b>AGUA</b>
Kg	kg	kg	Litros
40,82	21,77	5,44	18,00

**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

Luego realizamos la dosificación total de todos los materiales para la elaboración de los ladrillos a utilizarse en nuestro proyecto experimental.

**TABLA N° 11.** Dosificación para 48 ladrillos de 33x 14x 9 cm, sin la sustitución parcial de lodo.

<b>DOSIFICACIÓN UTILIZADA EN LA LADRILLERA</b>			
<b>LA CASA DE LA CONSTRUCCIÓN</b>			
<b>ARCILLA</b>	<b>ARENA</b>	<b>ASERRIN</b>	<b>AGUA</b>
kg	kg	kg	Litros
163,28	87,08	21,76	72,00

**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

Posteriormente se procede a realizar la dosificación tomando en cuenta la sustitución parcial del lodo en la arcilla, en distintos porcentajes.

**DOSIFICACIÓN DE LADRILLOS DE 33X 14X 9 cm, CON LODO COMO SUSTITUTO PARCIAL DE LA ARCILLA.**

**TABLA N° 12.** Dosificación para ladrillos con lodo en sustitución del 5% de arcilla.

<b>ARCILLA</b>	<b>5% LODO</b>	<b>ARENA</b>	<b>ASERRIN</b>	<b>AGUA</b>
kg	kg	kg	Kg	litros
38,78	2,04	21,77	5,44	18,00

**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

**TABLA N° 13.** Dosificación para ladrillos con lodo en sustitución del 10% de arcilla.

<b>ARCILLA</b>	<b>10% LODO</b>	<b>ARENA</b>	<b>ASERRIN</b>	<b>AGUA</b>
kg	kg	kg	Kg	litros
36,74	4,08	21,77	5,44	18,00

**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

**TABLA N° 14.** Dosificación para ladrillos con lodo en sustitución del 15% de arcilla.

<b>ARCILLA</b>	<b>15% LODO</b>	<b>ARENA</b>	<b>ASERRIN</b>	<b>AGUA</b>
kg	kg	kg	Kg	litros
34,70	6,12	21,77	5,44	18,00

**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

**TABLA N° 15.** Cantidad total de los componentes utilizados en los ladrillos.

<b>ARCILLA</b>	<b>LODO</b>	<b>ARENA</b>	<b>ASERRIN</b>	<b>AGUA</b>
kg	kg	kg	Kg	litros
151,04	12,24	87,08	21,76	72,00

**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

### **2.1.7. ELABORACIÓN DE LADRILLOS**

Los pasos para la elaboración de ladrillos tradicionales se citan a continuación:

#### **PASO # 1. Obtención de los lodos de la planta de tratamiento.**

- Colocamos una escalera y una soga hacia el fondo del tanque, para luego retirar el lodo con la ayuda de baldes plásticos.

**GRÁFICO N° 19.** Tanque de almacenamiento de lodo



**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

- Colocamos el lodo en una bandeja metálica al aire libre, para luego transportarlo a la ladrillera.

**GRÁFICO N° 20.** Lodo en bandeja metálica al aire libre.



**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

### **PASO # 2. Mezclado y Amasado**

- Trabajamos con los materiales (arcilla, arena, aserrín y agua), con los cuales la ladrillera elabora los ladrillos.
- Pesamos en una balanza electrónica las cantidades óptimas de: arcilla, arena, aserrín y lodo.

**GRÁFICO N° 21.** Pesaje de los componentes



**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

- Se utiliza la dosificación indicada en la Tabla N°7, y con la ayuda de una pala se realiza la mezcla de todos los componentes.

**GRÁFICO N° 22.** Distribución de la dosificación.



**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

**GRÁFICO N° 23.** Mezcla de los componentes con herramienta manual.



**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

- Realizada la mezcla se coloca dentro de un molino mecánico donde se coloca agua para conseguir una pasta homogénea y con buena plasticidad.

**GRÁFICO N° 24.** Colocación de la mezcla en el molino.



**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

### **PASO # 3. Moldeado**

- Se prepara un área con superficie plana utilizando un rastillo de hierro.

**GRÁFICO N° 25.** Preparación de la superficie plana



**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

- Sobre la superficie plana se coloca aserrín con la finalidad de que la mezcla no se adhiera a la superficie.

**GRÁFICO N° 26.** Colocación del aserrín



**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

- Se remoja y se coloca en la superficie los moldes de madera de 12 unidades que tienen la dimensiones de 33 de ancho, 14 de largo y 9 de espesor y se pone mezcla esparciéndola y compactándola manualmente hasta llenar completamente todo el molde.

**GRÁFICO N° 27.** Colocación de la mezcla en el molde



**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

- Se alisa la superficie con la ayuda de un objeto llamado rasero mojado de madera para tener un mejor terminado del ladrillo.

**GRÁFICO N° 28.** Alisado de la superficie del ladrillo



**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

- Luego de alisar la superficie del ladrillo, se procedió a levantar el molde para así obtener el ladrillo crudo.

**GRÁFICO N° 29.** Obtención del ladrillo



**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

**GRÁFICO N° 30.** Identificación de los ladrillos



**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

#### **PASO # 4. Secado**

- El proceso de secado de los ladrillos crudos se realiza de manera natural reduciendo la humedad del ladrillo, lo cual tarda 5 días, dependiendo de las condiciones climáticas.
- Se mueve los ladrillos y hay que apilarlos, de tal manera que tengan espacio entre sí para que circule libremente el aire. En vista de que los ladrillos se encontraron expuestos a la intemperie se los cubre con plástico para protegerlos de la lluvia, este proceso dura 8 días.

**GRÁFICO N° 31.** Apilado de ladrillo crudo.



**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

### **PASO # 5. Cocción y enfriamiento del horno**

- Una vez conseguido el secado natural de todas las muestras de ladrillos crudos se colocan en la parte central del horno artesanal a una temperatura de 800°C.
- Para su cocción se utiliza leña de eucalipto y el tiempo de quemado es durante 5 días.

**GRÁFICO N° 32.** Cocción de ladrillos.



**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

- El proceso de enfriamiento se tarda 8 días, lo cual fue progresivo para evitar las fisuras debido a las variaciones bruscas de temperatura.

**GRÁFICO N° 33.** Ladrillo quemado dentro del horno.



**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

### GRÁFICO N° 34. Transporte del ladrillo



**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

#### 2.1.8. ENSAYO DE MATERIALES

Se denomina ensayo de materiales a toda prueba cuyo fin es determinar las propiedades mecánicas de un material.

El ensayo de los materiales tiene por objetivos: adquirir conocimientos acerca del comportamiento de los materiales según sea la carga o fuerza aplicada en distintas condiciones específicas y además conocer los diversos tipos de ensayos a los cuales puede ser sometidos los materiales de ingeniería. [23]

Los ensayos de materiales pueden ser de dos tipos, ensayos destructivos y ensayos no destructivos. Los ensayos destructivos como su nombre lo indica a la parte del material que es sometida a ensayo se destruye y se desecha, los ensayos típicos son: ensayo de tracción, compresión y torsión. El ensayo no destructivo permite realizar la inspección sin perjudicar el posterior empleo del producto, por lo que permiten inspeccionar la totalidad del material. [23]

### 2.1.8.1. GRANULOMETRÍA

Según la norma NTE INEN 696 [24], menciona que las partículas componentes de una muestra son separadas por tamaño a través de una serie de tamices de aberturas ordenadas en forma descendente, la masa de partículas mayores a las aberturas de la serie de tamices utilizados, expresado en porcentaje de la masa total, permite determinar la distribución del tamaño de partículas.

Se procede a secar la muestra, la cual debe ser como mínimo 300 gr y graficar en la curva granulométrica, la abertura de los tamices versus los porcentajes que pasan. La graduación del Agregado Fino se rige a la Norma ASTM C-33 [25] que establece la siguiente tabla con los límites con respecto al tamaño de las partículas.

**TABLA N° 16.** Granulometría del agregado fino.

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA.
ASTM	INEN	
3/8"	9.50 mm	100
N° 4	4.75 mm	95 - 100
N° 8	2.36 mm	80 - 100
N° 16	1.18 mm	50 - 85
N° 30	600 µm	25 - 60
N° 50	300 µm	10 - 30
N° 100	150 µm	2 - 10
N° 200	75 µm	-

**Fuente:** Tamaño de Tamices ASTM C-33. [25]

### Módulo de finura

Se determina conforme lo especifica en la norma ASTM C 125 [26] y menciona que el módulo de finura del agregado fino es como la centésima parte de la suma de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices N° 100, N° 50, N° 30, N° 16, N° 8, N° 4, 3/8", 3/4", etc.

### **2.1.8.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

La norma NTE INEN 294[27] tiene por objeto establecer el método de ensayo de ladrillos tradicionales que se emplean en albañilería para determinar su resistencia a la compresión, comprende los ladrillos fabricados en arcilla moldeada y cocida.

El procedimiento descrito en esta norma se basa en la aplicación de una carga progresiva de compresión a una muestra de ladrillo, hasta determinar su resistencia máxima admisible.

La carga que se aplique para determinar la resistencia a la compresión de un ladrillo ejercerá el esfuerzo correspondiente, en la misma dirección en que las cargas o los pesos propios vayan a actuar sobre él en las construcciones.

## **2.2. HIPÓTESIS**

La sustitución parcial de la arcilla en la elaboración de ladrillos con lodo de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la red Casigana, influirá en su resistencia a compresión.

## **2.3. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS**

### **2.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE**

Lodos de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la red Casigana.

### **2.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE**

La Resistencia a compresión del ladrillo.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN**

De acuerdo con los fundamentos de metodología de la investigación [28], en este proyecto se analizará dos tipos de investigación:

##### **3.1.1. TIPO EXPLORATORIO**

Examina un tema o problema de investigación poco estudiado, sirven para familiarizarse con fenómenos relativamente novedosos, establecer prioridades para investigaciones futuras o sugerir afirmaciones o postulados.

La presente investigación es exploratoria debido a que la bibliografía referente a la elaboración de ladrillos con lodos es poca y el tema: “Análisis comparativo de la resistencia a compresión de ladrillos tradicionales y ladrillos elaborados a base de lodos de la planta de tratamiento de agua potable de la red Casigana”, como sustituto parcial de la arcilla es poco profundizado; en consideración de ello y con el objeto de ampliar el tema desde una nueva perspectiva, se examinará la resistencia a compresión de los ladrillos elaborados con lodo como sustituto parcial, y su influencia en la resistencia de cada muestra ensayada.

##### **3.1.2. TIPO DESCRIPTIVO**

Busca evaluar o recolectar datos sobre diversos conceptos, aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar.

Esta investigación es descriptiva, porque detallaremos la propiedad de plasticidad de la arcilla con la sustitución parcial de lodo en los distintos porcentajes. Además, se recolectará información de todos los ensayos de compresión de los ladrillos, para un mejor análisis de resultados.

## **3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA**

### **3.2.1. POBLACIÓN**

En la presente investigación la población son los ladrillos tradicionales de la ladrillera “La casa de la construcción”, pero para un mejor estudio nos enfocaremos en los ladrillos elaborados con lodo de la planta de tratamiento de agua potable de la red Casigana, como sustituto parcial de la arcilla.

### **3.2.2. MUESTRA**

Se elaborarán los especímenes de acuerdo con la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE) del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), donde menciona en su publicación NTE INEN 293, las condiciones generales como: materia prima y fabricación de los ladrillos.

El ensayo a compresión se realizará de acuerdo con la norma NTE INEN 294, “Esta norma establece el método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión en ladrillos”, donde se toma la resistencia por unidad y un promedio de 5 unidades, en esta investigación se realizarán doce especímenes, ya que cada molde posee doce unidades y además tomando en cuenta que en la transportación puede romperse, de esta manera se tendrá mayor seguridad en los resultados.

La muestra para el tema de estudio comprenderá de 48 elementos, doce de los cuales serán de dosificación normal, cuyo objeto será la comparación con los 36 ladrillos elaborados con lodo como sustituto parcial de la arcilla al 5%, 10% y 15 %.

### 3.3. OPERACIÓN DE VARIABLES

#### 3.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Lodos de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la red Casigana.

**TABLA N° 17.** Operación de la Variable Independiente

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Los lodos son obtenidos del tanque de almacenamiento de lodos de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la red Casigana	Requerimientos característicos	Procedencia	¿Cuál es la procedencia de los lodos?	- Investigación Bibliográfica
		Sustituto	¿Cómo se mejora la sustitución parcial de la arcilla por lodo en la elaboración de ladrillos?	- Investigación Bibliográfica
	Requerimientos químicos y microbiológicos	Químicos	¿Cuál es la cantidad de metales pesados presentes en los lodos?	- Análisis químico-microbiológico en el Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica (CESTTA) - Normas
		Microbiológicos	¿Cuál son los criterios microbiológicos para no catalogar al lodo como un desecho biológico peligroso?	- Análisis químico-microbiológico en el Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica (CESTTA) - Normas

**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

La Tabla N°17, describe las características, análisis químico y microbiológico del lodo obtenido del tanque de almacenamiento de lodos de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la red Casigana, mediante la utilización de técnicas e instrumentos de investigación.

### 3.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE

La Resistencia a compresión del ladrillo.

**TABLA N° 18.** Operación de la Variable Dependiente

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
La resistencia a la compresión es la resistencia que debe alcanzar después del proceso de elaboración	Componentes	- Arcilla	¿Cuáles son las especificaciones de la arcilla para ladrillos?	- Investigación Bibliográfica - Normas ASTM, INEN
		- Arena	¿Cuáles son las especificaciones de la arena para ladrillos?	- Investigación Bibliográfica - Normas ASTM, INEN
		- Aserrín	¿Cuáles son las especificaciones del aserrín para ladrillos?	- Investigación Bibliográfica
		- Agua	¿Cuáles son las especificaciones del agua para ladrillos?	- Investigación Bibliográfica
	Especificaciones de los ladrillos	Las dimensiones del ladrillo son: largo 33cm, ancho 14cm y alto 9cm	¿Cuáles son las dimensiones de los ladrillos que se utilizara en esta investigación?	- Investigación Bibliográfica - Norma INEN 293
		Esfuerzo máximo	¿Cuál el esfuerzo máximo puede soportar los ladrillos	- Investigación Bibliográfica - Normas
		Mampostería en la construcción	¿Cuál es el tipo de uso del ladrillo en esta investigación?	- Investigación Bibliográfica - Normas

**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

La Tabla N°18, analiza la resistencia a compresión de los ladrillos después del proceso de elaboración, los mismos que fueron hechos con componentes como: arcilla, arena, aserrín y agua, con unas dimensiones: largo = 33cm, ancho = 14cm y alto = 9cm.

### 3.4.PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

**TABLA N° 19.** Recolección de información

<b>Preguntas Básicas</b>	<b>Explicación</b>
1. ¿Qué evaluar?	- La Resistencia a Compresión de un ladrillo tradicional y de un ladrillo con lodo en los distintos porcentajes.
2. ¿Sobre qué evaluar?	- Los elementos constitutivos empleado para la dosificación del ladrillo: arcilla, arena, aserrín y lodo.
3. ¿Sobre qué aspectos?	- Los porcentajes de lodos adecuados en la elaboración de ladrillos para alcanzar distintas resistencias a la compresión. - La resistencia a la compresión de un ladrillo preparado con lodo.
4. ¿Quién evalúa?	- Egresada: Mayra Jissela Reinoso Chicaiza. - Tutor: Ing. Mg. Diego Chérrez
5. ¿A quiénes evalúan?	- 12 ladrillos tradicionales, 36 ladrillos con lodos los cuales son: 12 con lodo al 5%, 12 con lodo al 10% y 12 con lodo al 15%.
6. ¿Dónde evalúa?	- Laboratorio de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. - Laboratorio de Ensayo de Materiales del GAD Municipalidad de Ambato.
7. ¿Cómo y con qué?	- Investigación bibliográfica. - Normas INEN, ASTM. - Ensayos de laboratorio. - Herramienta menor. - Máquina de compresión.

**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

El plan de recolección de información nos ayuda a tener un orden de toda nuestra investigación a realizarse utilizando preguntas básicas con su respectiva explicación.

### **3.5.PLAN PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS**

Para [29], los datos obtenidos se transforman siguiendo ciertos procedimientos:

#### **3.5.1 PLAN DE PROCESAMIENTO**

- Revisión crítica de la información recogida; es decir escoger la información conveniente para la investigación y rechazar la información defectuosa: contradictoria, incompleta, no pertinente, etc.
- Tabulación mediante hojas electrónicas según variables de cada hipótesis.
- Elaboración de graficas de acuerdo con los resultados.

#### **3.5.2 PLAN DE ANÁLISIS**

- Analizar e interpretar los resultados relacionándolos con las diferentes partes de la investigación, especialmente con los objetivos y la hipótesis.
- Interpretación de los resultados, tomando en cuenta el marco teórico.
- Verificación de la hipótesis dependiendo de los resultados obtenidos en la investigación.

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### **4.1. METODOLOGÍA**

Los ensayos realizados en nuestro trabajo experimental son:

- Granulometría de agregado fino: se realizará basado en la norma **INEN 696 - ASTM C33**.
- Módulo de finura: se realizará basado en la norma **ASTM C 125**.
- Límite líquido: se trabajará de acuerdo con la norma **INEN 691**
- Límite plástico: se trabajará de acuerdo con la norma **INEN 692**

Los datos y tablas se detallan a continuación:

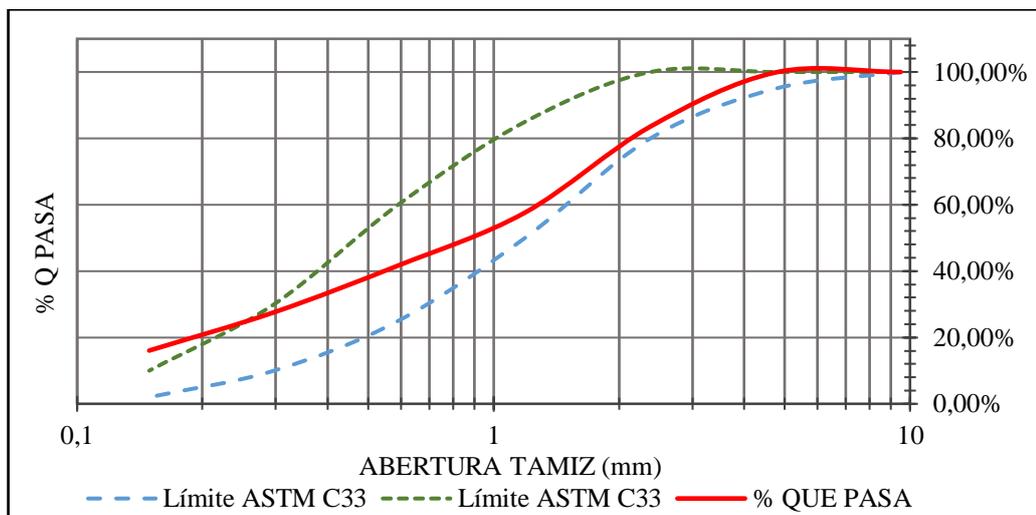
## ENSAYO N° 1. Granulometría

De acuerdo con la norma INEN 696, se obtuvo que: la arena y arcilla están entre los límites especificados en la norma ASTM C-33, obteniendo los siguientes resultados:

**TABLA N° 20.** Análisis Granulométrico Arena

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>						
<b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA</b>						
<b>CARRERA INGENIERÍA CIVIL</b>						
<b>TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LADRILLOS TRADICIONALES Y LADRILLOS ELABORADOS A BASE DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA RED CASIGANA, COMO SUSTITUTO PARCIAL DE LA ARCILLA.</b>						
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - ARENA</b>						
<b>ORIGEN:</b>		Arena- Ladrillera La Casa de la Construcción				
<b>PESO MUESTRA (gr):</b>		700	<b>PÉRDIDA DE MUESTRA (%):</b>		0,10	
<b>ENSAYADO POR:</b>		Egda.Mayra Reinoso	<b>FECHA:</b>		17/may/2017	
<b>NORMA:</b>		NTE INEN 696				
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	% Retenido acumulado	% que pasa	Límites ASTM % que pasa
3/8	9,50	0,00	0,00	0,00%	100,00%	100
#4	4,76	0,80	0,80	0,11%	99,89%	95-100
#8	2,38	114,10	114,90	16,43%	83,57%	80-100
#16	1,19	181,30	296,20	42,36%	57,64%	50-85
#30	0,59	111,70	407,90	58,33%	41,67%	25-60
#50	0,30	98,50	506,40	72,42%	27,58%	10-30
#100	0,15	80,60	587,00	83,94%	16,06%	2-10
#200	0,08	49,20	636,20	90,98%	9,02%	-
BANDEJA		63,10	699,30	100,00%	0,00%	-
<b>MÓDULO DE FINURA =</b>				2,74%		

**GRÁFICO N° 35.** Curva Granulométrico Arena

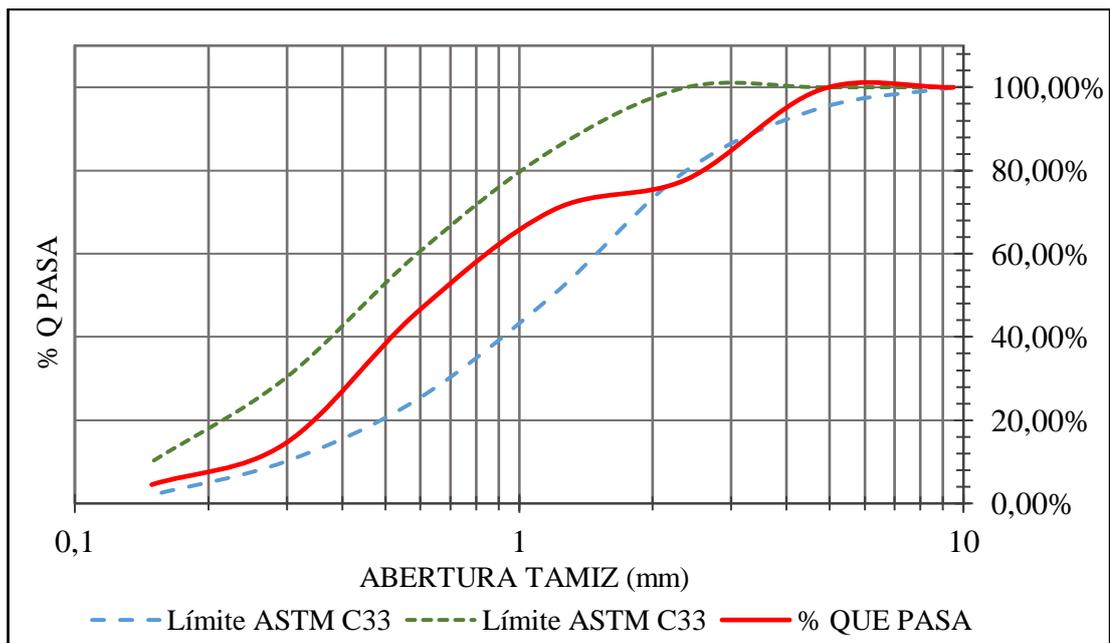


**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

**TABLA N° 21.** Análisis Granulométrico Arcilla

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>						
<b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA</b>						
<b>CARRERA INGENIERÍA CIVIL</b>						
<b>TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LADRILLOS TRADICIONALES Y LADRILLOS ELABORADOS A BASE DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA RED CASIGANA, COMO SUSTITUTO PARCIAL DE LA ARCILLA.</b>						
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - ARCILLA</b>						
<b>ORIGEN:</b>		Arcilla- Ladrillera La Casa de la Construcción				
<b>PESO MUESTRA (gr):</b>		1000		<b>PÉRDIDA DE MUESTRA (%):</b>		0,20
<b>ENSAYADO POR:</b>		Egda.Mayra Reinoso		<b>FECHA:</b>		17/may/2017
<b>NORMA:</b>		NTE INEN 696				
<b>Tamiz</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Retenido parcial (gr)</b>	<b>Retenido acumulado (gr)</b>	<b>% Retenido acumulado</b>	<b>% que pasa</b>	<b>Límites ASTM % que pasa</b>
3/8	9,50	0,00	0,00	0,00%	100,00%	100
#4	4,76	6,00	6,00	0,60%	99,40%	95-100
#8	2,38	215,00	221,00	22,14%	77,86%	80-100
#16	1,19	74,00	295,00	29,56%	70,44%	50-85
#30	0,59	244,00	539,00	54,01%	45,99%	25-60
#50	0,30	316,00	855,00	85,67%	14,33%	10-30
#100	0,15	98,00	953,00	95,49%	4,51%	2-10
#200	0,08	37,00	990,00	99,20%	0,80%	-
BANDEJA		8,00	998,00	100,00%	0,00%	-
<b>MÓDULO DE FINURA =</b>				2,87%		

**GRÁFICO N° 36.** Curva Granulométrico Arcilla



**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

## ENSAYO N° 2. LÍMITE LÍQUIDO

El ensayo de límite líquido se realizó en base a la norma INEN 691, dando como resultado en 25 golpes:

- Arcilla con un valor de LL igual a 37,64 %.
- Lodo con un valor de LL igual a 44,38 %.

Además, se determinó el límite líquido para la arcilla con la sustitución parcial de lodo al 5%, 10% y 15%, para determinar la plasticidad que se da mediante la unión de estos dos componentes, se tomó una muestra de arcilla de 300gr, de la cual se obtuvo los distintos porcentajes, quedando de la siguiente manera:

**TABLA N° 22.** Porcentajes de arcilla más lodo para el límite líquido y plástico

<b>Arcilla (gr)</b>		<b>Lodo (gr)</b>		<b>Arcilla+Lodo (gr)</b>	
285	95%	15	5%	300	100%
270	90%	30	10%	300	100%
255	85%	45	15%	300	100%

**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

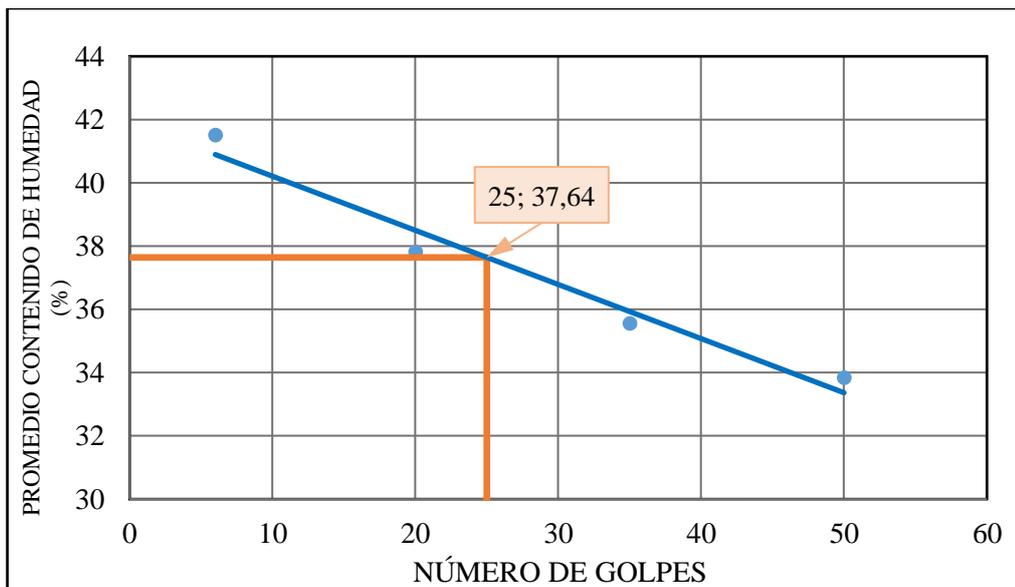
Se obtiene el límite líquido, dando como resultado en 25 golpes:

- Arcilla con la sustitución de lodo al 5%, un valor de LL igual a 34,26 %.
- Arcilla con la sustitución de lodo al 10%, un valor de LL igual a 36,94 %.
- Arcilla con la sustitución de lodo al 15%, un valor de LL igual a 40,15 %.

**TABLA N° 23. Límite líquido arcilla**

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>									
<b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA</b>									
<b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>									
<b>TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LADRILLOS TRADICIONALES Y LADRILLOS ELABORADOS A BASE DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA RED CASIGANA, COMO SUSTITUTO PARCIAL DE LA ARCILLA.</b>									
<b>LÍMITE LÍQUIDO - ARCILLA</b>									
<b>ORIGEN:</b>	Páramo-Vía Antenas Elepco Latacunga								
<b>ENSAYADO POR:</b>	Egda. Mayra Reinoso								
<b>FECHA:</b>	17/may/2017								
<b>NORMA:</b>	NTE INEN 691								
<b>RECIPIENTE</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	
<b>Golpes</b>	0 – 15		15 -30		30 – 45		45 – 60		
<b>Número de Golpes</b>	6		20		35		50		
<b>P. M. Húmeda + Recipiente</b>	28,70	32,50	34,70	31,50	34,20	30,30	33,60	27,90	
<b>P.M. Seca + Recipiente (Gr)</b>	23,80	26,10	27,10	27,30	27,90	25,50	27,80	23,70	
<b>Peso Recipiente (gr) WR</b>	11,90	10,80	11,70	11,30	11,60	10,70	11,40	10,70	
<b>Peso del Agua (gr) WW</b>	4,90	6,40	7,60	4,20	6,30	4,80	5,80	4,20	
<b>Peso Muestra Seca (gr) WS</b>	11,90	15,30	15,40	16,00	16,30	14,80	16,40	13,00	
<b>Contenido de Humedad (WW/WS) *100</b>	41,18	41,83	49,35	26,25	38,65	32,43	35,37	32,31	
<b>Promedio Contenido de Humedad (%)</b>	41,50		37,80		35,54		33,84		
<b>PROMEDIO LÍMITE LÍQUIDO(LL)</b>	= 37,64 % EN 25 GOLPES								

**GRÁFICO N° 37. Curva de escurrimiento de la arcilla.**

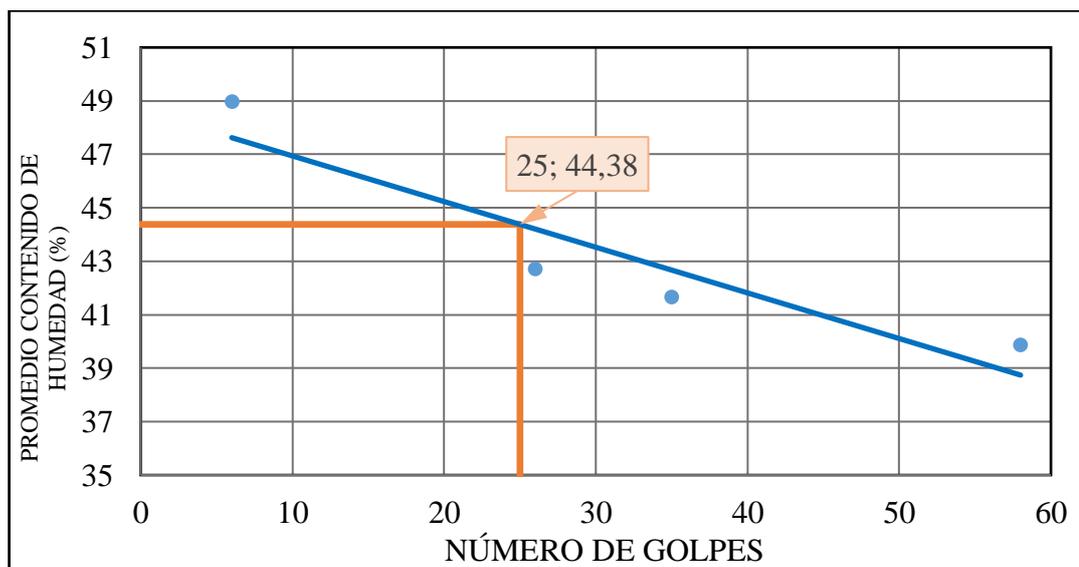


**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

**TABLA N° 24.** Límite líquido lodo

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>								
<b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA</b>								
<b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>								
<b>TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LADRILLOS TRADICIONALES Y LADRILLOS ELABORADOS A BASE DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA RED CASIGANA, COMO SUSTITUTO PARCIAL DE LA ARCILLA.</b>								
<b>LÍMITE LÍQUIDO - LODO</b>								
<b>ORIGEN:</b>	Planta de Tratamiento de Agua Potable - Casigana							
<b>ENSAYADO POR:</b>	Egda. Mayra Reinoso							
<b>FECHA:</b>	17/may/2017							
<b>NORMA:</b>	NTE INEN 691							
<b>RECIPIENTE</b>	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Golpes</b>	0 – 15		15 -30		30 – 45		45 – 60	
<b>Número de Golpes</b>	6		26		35		58	
<b>P. M. Húmeda + Recipiente</b>	29,80	28,70	27,30	26,00	34,70	32,10	36,10	27,90
<b>P.M. Seca + Recipiente (Gr)</b>	23,90	22,90	22,40	21,50	27,80	26,00	29,00	23,20
<b>Peso Recipiente (gr) WR</b>	11,60	11,30	11,00	10,90	11,20	11,40	11,50	11,20
<b>Peso del Agua (gr) WW</b>	5,90	5,80	4,90	4,50	6,90	6,10	7,10	4,70
<b>Peso Muestra Seca (gr) WS</b>	12,30	11,60	11,40	10,60	16,60	14,60	17,50	12,00
<b>Contenido de Humedad (WW/WS) *100</b>	47,97	50,00	42,98	42,45	41,57	41,78	40,57	39,17
<b>Promedio Contenido de Humedad (%)</b>	48,98		42,72		41,67		39,87	
<b>PROMEDIO LÍMITE LÍQUIDO (LL)</b>	= 44,38 % EN 25 GOLPES							

**GRÁFICO N° 38.** Curva de escurrimiento del lodo.

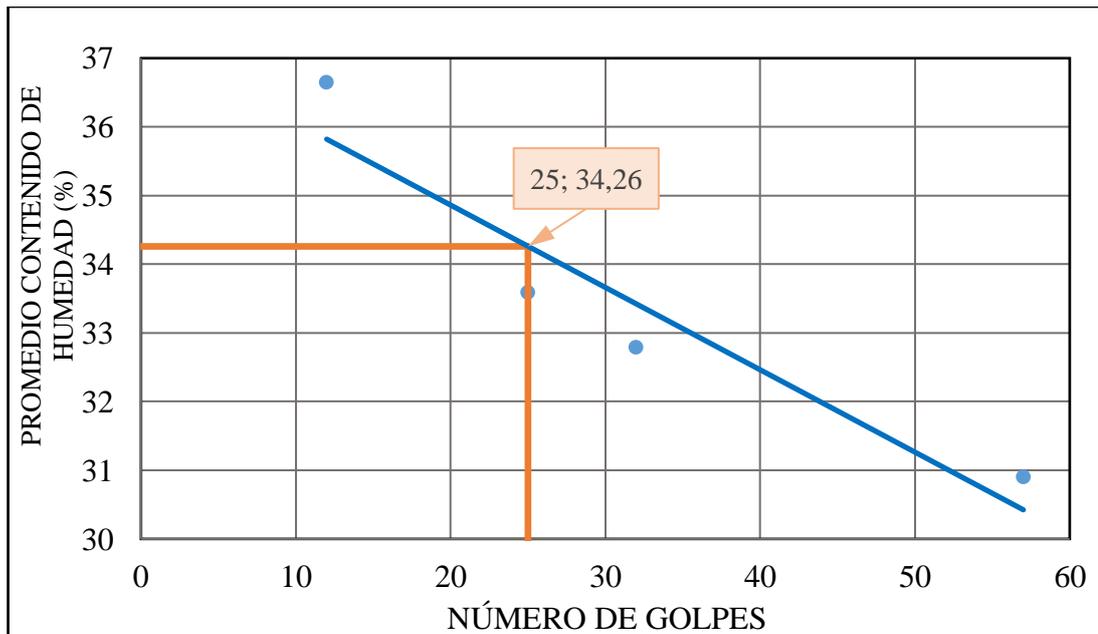


**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

**TABLA N° 25.** Límite líquido arcilla con la sustitución de lodo al 5%.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO									
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA									
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL									
<b>TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LADRILLOS TRADICIONALES Y LADRILLOS ELABORADOS A BASE DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA RED CASIGANA, COMO SUSTITUTO PARCIAL DE LA ARCILLA.</b>									
<b>LÍMITE LÍQUIDO - ARCILLA CON LA SUSTITUCIÓN DE LODO AL 5%</b>									
<b>ORIGEN:</b>	Páramo-Vía Antenas Elepco Latacunga y PTAP-Casigana								
<b>ENSAYADO POR:</b>	Egda. Mayra Reinoso								
<b>FECHA:</b>	26/jun/2017								
<b>NORMA:</b>	NTE INEN 691								
<b>RECIPIENTE</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	
<b>Golpes</b>	0 – 15		15 -30		30 – 45		45 – 60		
<b>Número de Golpes</b>	12		25		32		57		
<b>P. M. Húmeda + Recipiente</b>	25,60	28,30	36,10	38,70	31,50	30,70	250	22,40	
<b>P.M. Seca + Recipiente (Gr)</b>	21,90	23,50	29,80	31,80	26,60	25,90	21,80	19,70	
<b>Peso Recipiente (gr) WR</b>	11,30	11,00	11,10	11,20	11,40	11,50	11,40	11,00	
<b>Peso del Agua (gr) WW</b>	3,70	4,80	6,30	6,90	4,90	4,80	3,20	2,70	
<b>Peso Muestra Seca (gr) WS</b>	10,60	12,50	18,70	20,60	15,20	14,40	10,40	8,70	
<b>Contenido de Humedad (WW/WS)*100</b>	34,91	38,40	33,69	33,50	32,24	33,33	30,77	31,03	
<b>Promedio Contenido de Humedad (%)</b>	36,65		33,59		32,79		30,9		
<b>PROMEDIO LÍMITE LÍQUIDO(LL)</b>	= 34,26 % EN 25 GOLPES								

**GRÁFICO N° 39.** Curva de escurrimiento - Arcilla con la sustitución de lodo al 5%.

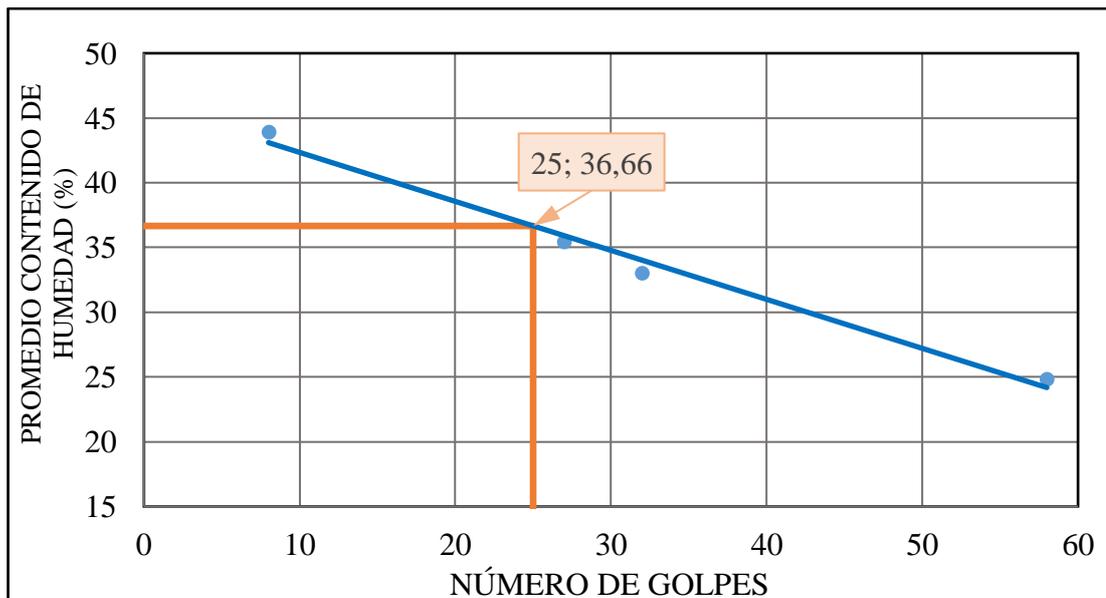


**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

**TABLA N° 26.** Límite líquido arcilla con la sustitución de lodo al 10%.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA								
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
<b>TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LADRILLOS TRADICIONALES Y LADRILLOS ELABORADOS A BASE DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA RED CASIGANA, COMO SUSTITUTO PARCIAL DE LA ARCILLA.</b>								
<b>LÍMITE LÍQUIDO - ARCILLA CON LA SUSTITUCIÓN DE LODO AL 10%</b>								
<b>ORIGEN:</b>	Páramo-Vía Antenas Elepco Latacunga y PTAP-Casigana							
<b>ENSAYADO POR:</b>	Egda. Mayra Reinoso							
<b>FECHA:</b>	26/jun/2017							
<b>NORMA:</b>	NTE INEN 691							
<b>RECIPIENTE</b>	1	2	3	4	5	6	7	8
Golpes	0 – 15		15 -30		30 – 45		45 – 60	
Número de Golpes	8		27		32		58	
P. M. Húmeda + Recipiente	31,40	26,10	32,50	35,90	39,50	40,20	30,20	29,10
P.M. Seca + Recipiente (Gr)	25,60	21,40	26,90	29,80	32,40	33,10	25,80	26,20
Peso Recipiente (gr) WR	11,70	11,20	10,90	12,80	10,70	11,80	11,10	11,50
Peso del Agua (gr) WW	5,80	4,70	5,60	6,10	7,10	7,10	4,40	2,90
Peso Muestra Seca (gr) WS	13,90	10,20	16,00	17,00	21,70	21,30	14,70	14,70
Contenido de Humedad (WW/WS)*100	41,73	46,08	35,00	35,88	32,72	33,33	29,93	19,73
Promedio Contenido de Humedad (%)	43,90		35,44		33,03		24,83	
<b>PROMEDIO LÍMITE LÍQUIDO(LL)</b>	<b>= 36,66 % EN 25 GOLPES</b>							

**GRÁFICO N° 40.** Curva de escurrimiento-Arcilla con la sustitución de lodo al 10%.

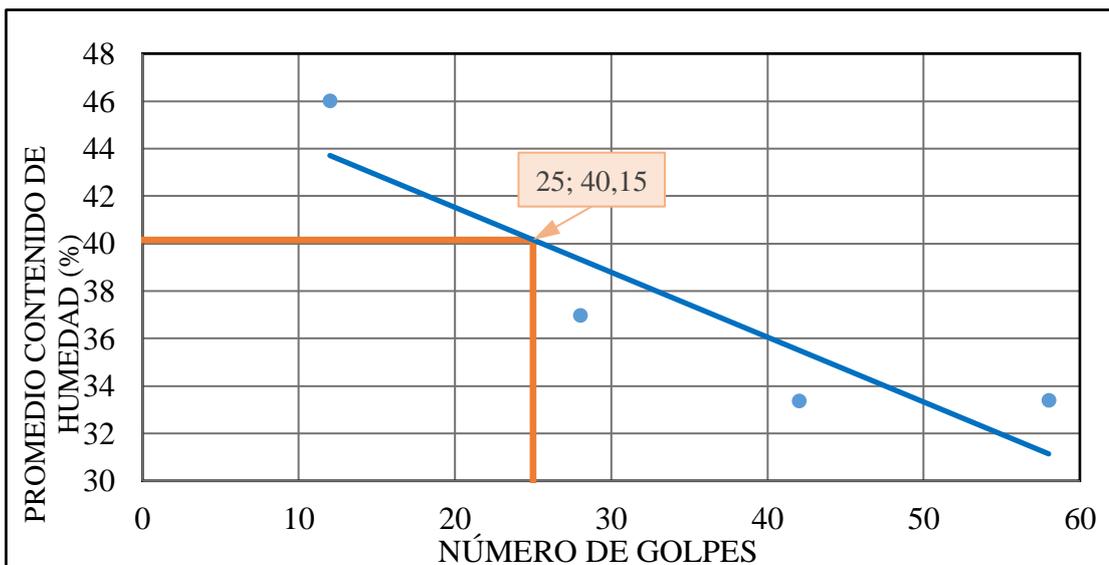


**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

**TABLA N° 27.** Límite líquido arcilla con la sustitución de lodo al 15%.

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>									
<b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA</b>									
<b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>									
<b>TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LADRILLOS TRADICIONALES Y LADRILLOS ELABORADOS A BASE DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA RED CASIGANA, COMO SUSTITUTO PARCIAL DE LA ARCILLA.</b>									
<b>LÍMITE LÍQUIDO - ARCILLA CON LA SUSTITUCIÓN DE LODO AL 15%</b>									
<b>ORIGEN:</b>	Páramo-Vía Antenas Elepco Latacunga y PTAP-Casigana								
<b>ENSAYADO POR:</b>	Egda. Mayra Reinoso								
<b>FECHA:</b>	26/Jun/2017								
<b>NORMA:</b>	NTE INEN 691								
<b>RECIPIENTE</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	
<b>Golpes</b>	0 – 15		15 -30		30 – 45		45 – 60		
<b>Número de Golpes</b>	12		28		42		58		
<b>P. M. Húmeda + Recipiente</b>	33,40	29,30	36,20	34,70	35,10	37,90	29,10	34,60	
<b>P.M. Seca + Recipiente (Gr)</b>	25,10	24,90	29,50	28,50	29,20	31,20	24,70	28,80	
<b>Peso Recipiente (gr) WR</b>	11,50	10,70	11,60	11,50	11,70	10,90	11,60	11,30	
<b>Peso del Agua (gr) WW</b>	8,30	4,40	6,70	6,20	5,90	6,70	4,40	5,80	
<b>Peso Muestra Seca (gr) WS</b>	13,60	14,20	17,90	17,00	17,50	20,30	13,10	17,50	
<b>Contenido de Humedad ( WW / WS) *100</b>	61,03	30,99	37,43	36,47	33,71	33,00	33,59	33,14	
<b>Promedio Contenido de Humedad (%)</b>	46,01		36,95		33,36		33,37		
<b>PROMEDIO LÍMITE LÍQUIDO (LL)</b>	<b>= 40,15 % EN 25 GOLPES</b>								

**GRÁFICO N° 41.** Curva de escurrimiento-Arcilla con la sustitución de lodo al 15%.



**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

### ENSAYO N° 3. LÍMITE PLÁSTICO

El límite plástico, basado en la norma INEN 692, da como resultados:

- Arcilla con un valor de límite plástico igual a 21,26 %.
- Lodo con un valor de límite plástico igual a 28,27 %.

Además, se obtuvo el límite plástico de los diferentes porcentajes de arcilla con lodo, para observar de esta manera el comportamiento de la plasticidad que se da mediante la unión de estos componentes, para ello se utilizó la muestra sobrante del límite líquido, obteniendo los siguientes resultados:

- Arcilla con la sustitución de lodo al 5%, un valor de límite plástico igual a 18,35%.
- Arcilla con la sustitución de lodo al 10%, un valor de límite plástico igual a 20,51%.
- Arcilla con la sustitución de lodo al 15%, un valor de límite plástico igual a 24,48%.

**TABLA N° 28.** Límite plástico arcilla

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>					
<b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA</b>					
<b>CARRERA INGENIERÍA CIVIL</b>					
<b>TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LADRILLOS TRADICIONALES Y LADRILLOS ELABORADOS A BASE DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA RED CASIGANA, COMO SUSTITUTO PARCIAL DE LA ARCILLA.</b>					
<b>LÍMITE PLÁSTICO - ARCILLA</b>					
<b>ORIGEN:</b>	Páramo-Vía Antenas Elepco Latacunga				
<b>ENSAYADO POR:</b>	Egda. Mayra Reinoso				
<b>FECHA:</b>	17/May/2017				
<b>NORMA:</b>	NTE INEN 692				
<b>MUESTRA</b>	1	2	3	4	5
P. M. Húmeda + Recipiente	6,00	5,60	5,60	5,70	5,50
P.M. Seca + Recipiente (Gr)	5,70	5,30	5,40	5,50	5,30
Peso Recipiente (gr) WR	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30
Peso del Agua (gr) WW	0,30	0,30	0,20	0,20	0,20
Peso Muestra Seca (gr) WS	1,40	1,00	1,10	1,20	1,00
Contenido de Humedad ( WW / WS ) *100	21,43	30,00	18,18	16,67	20,00
<b>PROMEDIO LÍMITE PLÁSTICO (LP) =</b>	21,26	%			

**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

**TABLA N° 29.** Límite plástico lodo

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA INGENIERÍA CIVIL						
<b>TEMA:</b> ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LADRILLOS TRADICIONALES Y LADRILLOS ELABORADOS A BASE DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA RED CASIGANA, COMO SUSTITUTO PARCIAL DE LA ARCILLA.						
<b>LÍMITE PLÁSTICO - LODO</b>						
<b>ORIGEN:</b>	Planta de Tratamiento de Agua Potable - Casigana					
<b>ENSAYADO POR:</b>	Egda. Mayra Reinoso					
<b>FECHA:</b>	17/May/2017					
<b>NORMA:</b>	NTE INEN 692					
<b>MUESTRA</b>	1	2	3	4	5	
P. M. Húmeda + Recipiente	5,70	5,80	6,20	6,10	6,40	
P.M. Seca + Recipiente (Gr)	5,40	5,40	5,80	5,60	5,90	
Peso Recipiente (gr) WR	4,10	4,10	4,20	4,00	4,30	
Peso del Agua (gr) WW	0,30	0,40	0,40	0,50	0,50	
Peso Muestra Seca (gr) WS	1,30	1,30	1,60	1,60	1,60	
Contenido de Humedad ( WW / WS) *100	23,08	30,77	25,00	31,25	31,25	
<b>PROMEDIO LÍMITE PLÁSTICO (LP) =</b>	28,27	%				

**TABLA N° 30.** Límite plástico arcilla con la sustitución de lodo al 5%.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA INGENIERÍA CIVIL						
<b>TEMA:</b> ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LADRILLOS TRADICIONALES Y LADRILLOS ELABORADOS A BASE DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA RED CASIGANA, COMO SUSTITUTO PARCIAL DE LA ARCILLA.						
<b>LÍMITE PLÁSTICO - ARCILLA CON LA SUSTITUCIÓN DE LODO AL 5%</b>						
<b>ORIGEN:</b>	Páramo-Vía Antenas Elepco Latacunga y PTAP-Casigana					
<b>ENSAYADO POR:</b>	Egda. Mayra Reinoso					
<b>FECHA:</b>	26/Jun/2017					
<b>NORMA:</b>	NTE INEN 692					
<b>MUESTRA</b>	1	2	3	4	5	
P. M. Húmeda + Recipiente	6,20	6,40	6,30	6,20	6,10	
P.M. Seca + Recipiente (Gr)	5,90	6,10	6,00	5,80	5,80	
Peso Recipiente (gr) WR	4,10	4,20	4,20	4,20	4,10	
Peso del Agua (gr) WW	0,30	0,30	0,30	0,40	0,30	
Peso Muestra Seca (gr) WS	1,80	1,90	1,80	1,60	1,70	
Contenido de Humedad ( WW / WS) *100	16,67	15,79	16,67	25,00	17,65	
<b>PROMEDIO LÍMITE PLÁSTICO (LP) =</b>	18,35	%				

**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

**TABLA N° 31.** Límite plástico arcilla con la sustitución de lodo al 10%.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA INGENIERÍA CIVIL						
<b>TEMA:</b> ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LADRILLOS TRADICIONALES Y LADRILLOS ELABORADOS A BASE DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA RED CASIGANA, COMO SUSTITUTO PARCIAL DE LA ARCILLA.						
<b>LÍMITE PLÁSTICO- ARCILLA CON LA SUSTITUCIÓN DE LODO AL 10%</b>						
<b>ORIGEN:</b>	Páramo-Vía Antenas Elepco Latacunga y PTAP-Casigana					
<b>ENSAYADO POR:</b>	Egda. Mayra Reinoso					
<b>FECHA:</b>	26/Jun/2017					
<b>NORMA:</b>	NTE INEN 692					
<b>MUESTRA</b>	1	2	3	4	5	
P. M. Húmeda + Recipiente	6,10	5,80	5,90	8,90	6,10	
P.M. Seca + Recipiente (Gr)	5,80	5,60	5,60	8,50	5,70	
Peso Recipiente (gr) WR	4,30	4,30	4,20	6,40	4,20	
Peso del Agua (gr) WW	0,30	0,20	0,30	0,40	0,40	
Peso Muestra Seca (gr) WS	1,50	1,30	1,40	2,10	1,50	
Contenido de Humedad ( WW / WS) *100	20,00	15,38	21,43	19,05	26,67	
<b>PROMEDIO LÍMITE PLÁSTICO (LP) =</b>	20,51	%				

**TABLA N° 32.** Límite plástico arcilla con la sustitución de lodo al 15%.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA INGENIERÍA CIVIL						
<b>TEMA:</b> ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LADRILLOS TRADICIONALES Y LADRILLOS ELABORADOS A BASE DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA RED CASIGANA, COMO SUSTITUTO PARCIAL DE LA ARCILLA.						
<b>LÍMITE PLÁSTICO-ARCILLA CON LA SUSTITUCIÓN DE LODO AL 15%</b>						
<b>ORIGEN:</b>	Páramo-Vía Antenas Elepco Latacunga y PTAP-Casigana					
<b>ENSAYADO POR:</b>	Egda. Mayra Reinoso					
<b>FECHA:</b>	26/Jun/2017					
<b>NORMA:</b>	NTE INEN 692					
<b>MUESTRA</b>	1	2	3	4	5	
P. M. Húmeda + Recipiente	6,20	5,50	6,20	6,00	5,70	
P.M. Seca + Recipiente (Gr)	5,80	5,20	5,80	5,60	5,40	
Peso Recipiente (gr) WR	4,10	4,00	4,00	4,10	4,20	
Peso del Agua (gr) WW	0,40	0,30	0,40	0,40	0,30	
Peso Muestra Seca (gr) WS	1,70	1,20	1,80	1,50	1,20	
Contenido de Humedad ( WW / WS) *100	23,53	25,00	22,22	26,67	25,00	
<b>PROMEDIO LÍMITE PLÁSTICO (LP) =</b>	24,48	%				

**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

## ENSAYO N° 4. ÍNDICE DE PLASTICIDAD

El índice plástico como lo especifica en la norma INEN 692 y de acuerdo con la ecuación (1), da como valores:

Para el caso de la arcilla es igual a:

$$IP = LL-LP$$

$$IP = 37,64 \% - 21,26 \%$$

$$IP = 16,38 \%$$

De esta manera obtenemos los siguientes resultados:

- Lodo con un valor de IP igual a 16,11 %.
- Arcilla con la sustitución de lodo al 5%, un valor de IP igual a 15,91 %.
- Arcilla con la sustitución de lodo al 10%, un valor de IP igual a 16,15 %.
- Arcilla con la sustitución de lodo al 15%, un valor de IP igual a 15,67 %.

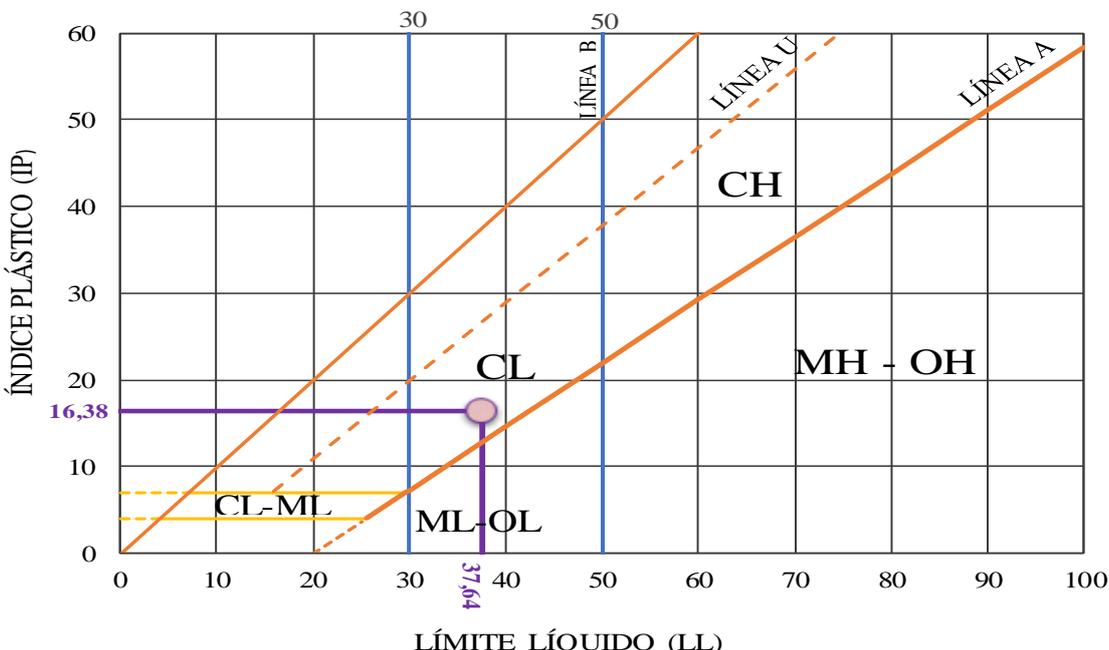
Una vez obtenido los resultados de límite líquido e índice plástico, mediante la carta de plasticidad podemos saber que tipo de suelo poseemos para la elaboración de ladrillos, graficando LL vs IP.

Al graficar el límite líquido vs índice plástico en la carta de plasticidad se observa que la arcilla que se ocupa en la elaboración de los ladrillos es una arcilla de mediana plasticidad (CL), mientras que el lodo pertenece a un limo de baja plasticidad (ML).

Como se indica en [21], el grado de plasticidad de la arcilla, lodo y la arcilla con la sustitución de lodo en los distintos porcentajes, se obtienen un grado de plasticidad de baja a media plasticidad.

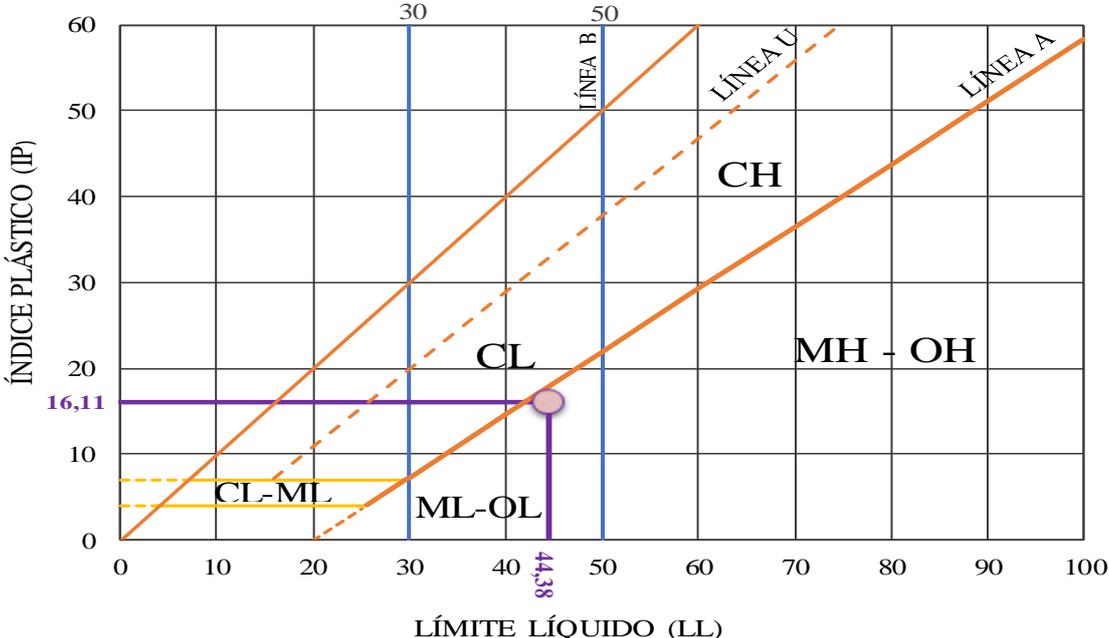
**NOTA:** No se podría graficar el límite líquido vs índice plástico en la carta de plasticidad para la arcilla con la sustitución de lodo en los distintos porcentajes, ya que al unir los dos tipos de suelo varía y no se podría apreciar que tipo de suelo es realmente.

TABLA N° 33. Índice plástico arcilla

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>		
<b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA</b>		
<b>CARRERA INGENIERÍA CIVIL</b>		
<b>TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LADRILLOS TRADICIONALES Y LADRILLOS ELABORADOS A BASE DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA RED CASIGANA, COMO SUSTITUTO PARCIAL DE LA ARCILLA.</b>		
<b>ÍNDICE PLÁSTICO - ARCILLA</b>		
<b>ORIGEN:</b>	Páramo-Vía Antenas Elepco Latacunga	
<b>ENSAYADO POR:</b>	Egda. Mayra Reinoso	
<b>FECHA:</b>	17/May/2017	
<b>NORMA:</b>	NTE INEN 691 - 692	
<b>DATOS</b>		
PROMEDIO LÍMITE LÍQUIDO (LL) =	37,64	%
PROMEDIO LÍMITE PLÁSTICO (LP) =	21,26	%
ÍNDICE PLÁSTICO (IP) =	16,38	%
<b>SÍMBOLO DE SUELO =</b>	<b>CL</b> 	
<b>NOMBRE DE SUELO =</b>	<b>Arcilla de baja a media plasticidad</b>	
Gráfico:		
<b>CARTA DE PLASTICIDAD</b>		
		
	<b>SÍMBOLO</b>	<b>NOMBRE</b>
	CL	Arcilla de baja a media plasticidad
	CH	Arcilla de alta plasticidad
	ML	Limo de baja a media plasticidad
	MH	Limo de alta plasticidad
	OL	Suelo orgánico de baja plasticidad
	OH	Suelo orgánico de alta plasticidad

Elaborado por: Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

TABLA N° 34. Índice plástico lodo

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>		
<b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA</b>		
<b>CARRERA INGENIERÍA CIVIL</b>		
<b>TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LADRILLOS TRADICIONALES Y LADRILLOS ELABORADOS A BASE DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA RED CASIGANA, COMO SUSTITUTO PARCIAL DE LA ARCILLA.</b>		
<b>ÍNDICE PLÁSTICO - LODO</b>		
<b>ORIGEN:</b>	Planta de Tratamiento de Agua Potable - Casigana	
<b>ENSAYADO POR:</b>	Egda. Mayra Reinoso	
<b>FECHA:</b>	17/May/2017	
<b>NORMA:</b>	NTE INEN 691 - 692	
<b>DATOS</b>		
PROMEDIO LÍMITE LÍQUIDO (LL) =	44,38	%
PROMEDIO LÍMITE PLÁSTICO (LP) =	28,27	%
ÍNDICE PLÁSTICO (IP) =	16,11	%
<b>SÍMBOLO DE SUELO =</b>	ML <span style="color: purple;">●</span>	
<b>NOMBRE DE SUELO =</b>	Limo de baja a media plasticidad	
Gráfico:		
<b>CARTA DE PLASTICIDAD</b>		
ÍNDICE PLÁSTICO (IP) 60 50 40 30 20 16,11 10 0		
LÍMITE LÍQUIDO (LL)		
	<b>SÍMBOLO</b>	<b>NOMBRE</b>
	CL	Arcilla de baja a media plasticidad
	CH	Arcilla de alta plasticidad
	ML	Limo de baja a media plasticidad
	MH	Limo de alta plasticidad
	OL	Suelo orgánico de baja plasticidad
	OH	Suelo orgánico de alta plasticidad

Elaborado por: Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

## ENSAYO N° 5. ENSAYO DE COMPRESIÓN

El ensayo a compresión se realizó en base a la norma INEN 694, dando los siguientes resultados:

**TABLA N° 35.** Resistencia a compresión ladrillos tradicionales

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>			
<b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA</b>			
<b>CARRERA INGENIERÍA CIVIL</b>			
<b>TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LADRILLOS TRADICIONALES Y LADRILLOS ELABORADOS A BASE DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA RED CASIGANA, COMO SUSTITUTO PARCIAL DE LA ARCILLA.</b>			
<b>RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LADRILLOS TRADICIONALES</b>			
<b>ORIGEN:</b>	Ladrillera La Casa de la Construcción		
<b>ENSAYADO POR:</b>	Egda. Mayra Reinoso		
<b>FECHA:</b>	18/Jul/2017		
<b>NORMA:</b>	NTE INEN 294		
DESCRIPCIÓN	CARGA MÁXIMA	RESITENCIA MÁXIMA	PROMEDIO RESISTENCIA 5 UNIDADES
	(kN)	(Mpa)	(Mpa)
<b>1 - T</b>	373,89	8,09	<b>7,81</b>
<b>2 - T</b>	343,39	7,43	
<b>3 - T</b>	336,92	7,29	
<b>4 - T</b>	382,82	8,28	
<b>5 - T</b>	367,89	7,96	
<b>6 - T</b>	333,22	7,21	<b>7,49</b>
<b>7 - T</b>	338,77	7,33	
<b>8 - T</b>	362,80	7,85	
<b>9 - T</b>	364,19	7,88	
<b>10 - T</b>	330,91	7,16	
<b>PROMEDIO =</b>			<b>7,65</b>

**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

**TABLA N° 36.** Resistencia a compresión de ladrillos con lodo en sustitución del 5% de arcilla.

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>			
<b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA</b>			
<b>CARRERA INGENIERÍA CIVIL</b>			
<b>TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LADRILLOS TRADICIONALES Y LADRILLOS ELABORADOS A BASE DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA RED CASIGANA, COMO SUSTITUTO PARCIAL DE LA ARCILLA.</b>			
<b>RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LADRILLOS CON LODO EN SUSTITUCIÓN DEL 5% DE ARCILLA</b>			
<b>ORIGEN:</b>	Ladrillera La Casa de la Construcción		
<b>ENSAYADO POR:</b>	Egda. Mayra Reinoso		
<b>FECHA:</b>	18/Jul/2017		
<b>NORMA:</b>	NTE INEN 294		
DESCRIPCIÓN	CARGA MÁXIMA	RESITENCIA MÁXIMA	PROMEDIO RESISTENCIA 5 UNIDADES
	(kN)	(Mpa)	(Mpa)
1 - L5	311,04	6,73	<b>6,66</b>
2 - L5	301,80	6,53	
3 - L5	336,46	7,28	
4 - L5	292,55	6,33	
5 - L5	296,25	6,41	
6 - L5	281,46	6,09	<b>6,83</b>
7 - L5	322,59	6,98	
8 - L5	328,60	7,11	
9 - L5	320,75	6,94	
10 - L5	324,90	7,03	
<b>PROMEDIO =</b>			<b>6,75</b>

**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

**TABLA N° 37.** Resistencia a compresión de ladrillos con lodo en sustitución del 10% de arcilla.

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>			
<b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA</b>			
<b>CARRERA INGENIERÍA CIVIL</b>			
<b>TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LADRILLOS TRADICIONALES Y LADRILLOS ELABORADOS A BASE DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA RED CASIGANA, COMO SUSTITUTO PARCIAL DE LA ARCILLA.</b>			
<b>RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LADRILLOS CON LODO EN SUSTITUCIÓN DEL 10% DE ARCILLA</b>			
<b>ORIGEN:</b>	Ladrillera La Casa de la Construcción		
<b>ENSAYADO POR:</b>	Egda. Mayra Reinoso		
<b>FECHA:</b>	18/Jul/2017		
<b>NORMA:</b>	NTE INEN 294		
DESCRIPCIÓN	CARGA MÁXIMA	RESITENCIA MÁXIMA	PROMEDIO RESISTENCIA 5 UNIDADES
	(kN)	(Mpa)	(Mpa)
<b>1 - L10</b>	360,03	7,79	<b>7,79</b>
<b>2 - L10</b>	364,65	7,89	
<b>3 - L10</b>	334,15	7,23	
<b>4 - L10</b>	373,89	8,09	
<b>5 - L10</b>	367,89	7,96	
<b>6 - L10</b>	327,68	7,09	<b>7,37</b>
<b>7 - L10</b>	344,32	7,45	
<b>8 - L10</b>	353,56	7,65	
<b>9 - L10</b>	349,40	7,56	
<b>10 -L10</b>	328,60	7,11	
<b>PROMEDIO =</b>			<b>7,58</b>

**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

**TABLA N° 38.** Resistencia a compresión de ladrillos con lodo en sustitución del 15% de arcilla.

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>			
<b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA</b>			
<b>CARRERA INGENIERÍA CIVIL</b>			
<b>TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LADRILLOS TRADICIONALES Y LADRILLOS ELABORADOS A BASE DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA RED CASIGANA, COMO SUSTITUTO PARCIAL DE LA ARCILLA.</b>			
<b>RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LADRILLOS CON LODO EN SUSTITUCIÓN DEL 15% DE ARCILLA</b>			
<b>ORIGEN:</b>	Ladrillera La Casa de la Construcción		
<b>ENSAYADO POR:</b>	Egda. Mayra Reinoso		
<b>FECHA:</b>	18/Jul/2017		
<b>NORMA:</b>	NTE INEN 294		
DESCRIPCIÓN	CARGA MÁXIMA	RESITENCIA MÁXIMA	PROMEDIO RESISTENCIA 5 UNIDADES
	(kN)	(Mpa)	(Mpa)
<b>1 - L 15</b>	308,73	6,68	<b>6,51</b>
<b>2 - L15</b>	286,08	6,19	
<b>3 - L15</b>	278,69	6,03	
<b>4 - L15</b>	312,43	6,76	
<b>5 - L15</b>	318,43	6,89	
<b>6 - L15</b>	290,24	6,28	<b>6,44</b>
<b>7 - L15</b>	296,71	6,42	
<b>8 - L15</b>	281,46	6,09	
<b>9 - L15</b>	307,16	6,48	
<b>10 - L15</b>	319,36	6,91	
<b>PROMEDIO =</b>			<b>6,48</b>

**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

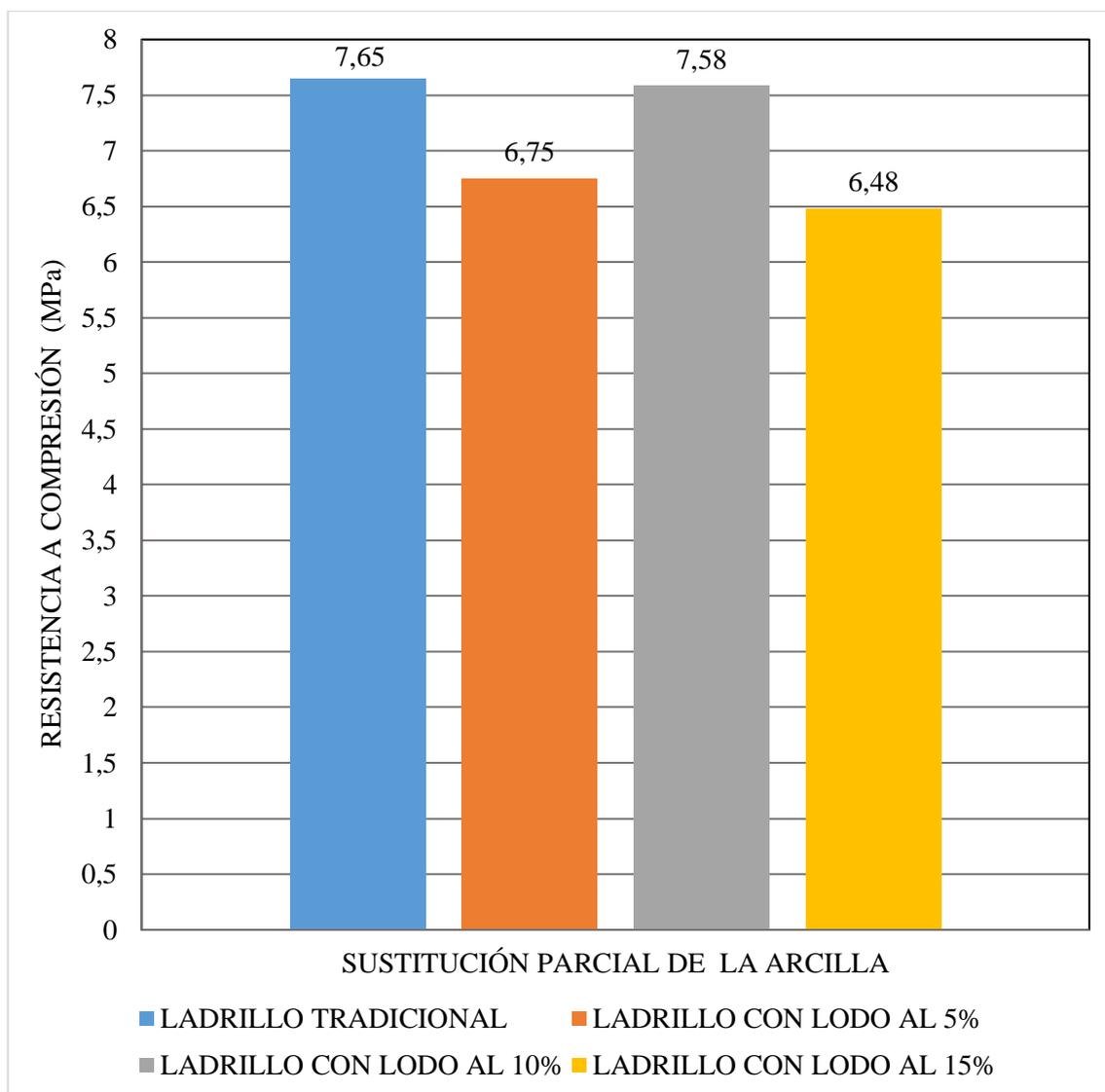
**TABLA N° 39.** Tabla de resumen de resultados de laboratorio.

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>						
<b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA</b>						
<b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>						
<b>TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LADRILLOS TRADICIONALES Y LADRILLOS ELABORADOS A BASE DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA RED CASIGANA, COMO SUSTITUTO PARCIAL DE LA ARCILLA.</b>						
<b>TABLA RESUMEN DE RESULTADOS DE LABORATORIO</b>						
<b>ENSAYADO POR:</b> Egda. Mayra Reinoso						
<b>FECHA:</b> 28/09/2017						
<b>MATERIALES</b>	<b>ENSAYOS</b>	<b>ENSAYO N° 1</b>	<b>ENSAYO N° 2</b>	<b>ENSAYO N° 3</b>	<b>ENSAYO N° 4</b>	<b>ENSAYO N° 5</b>
		<b>Granulometría - Módulo de finura</b>	<b>Límite Líquido</b>	<b>Límite Plástico</b>	<b>Índice Plástico</b>	<b>Resistencia a Compresión (Mpa)</b>
Arena		2,74%	-	-	-	-
Arcilla		2,87%	37,64%	21,26%	16,38%	-
Lodo		-	44,38%	28,27%	16,11%	-
Arcilla con lodo al 5%		-	34,26%	18,37%	15,89%	-
Arcilla con lodo al 10%		-	36,66%	20,51%	16,15%	-
Arcilla con lodo al 15%		-	40,15%	24,48%	15,67%	-
Ladrillos Tradicionales		-	-	-	-	7,65
Ladrillos con lodo en sustitución del 5% de arcilla		-	-	-	-	6,75
Ladrillos con lodo en sustitución del 10% de arcilla		-	-	-	-	7,58
Ladrillos con lodo en sustitución del 15% de arcilla		-	-	-	-	6,48



## 4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

**GRÁFICO N° 42.** Resistencia a compresión de ladrillos tradicionales y ladrillos con lodo en sustitución del 5%, 10% y 15 % de arcilla.



**Elaborado por:** Mayra Jissela Reinoso Chicaiza

En los ladrillos elaborados con lodo en sustitución del 5%, 10% y 15 % de arcilla, la resistencia se reduce en un 11,76%, 0,92 y 15,29% respectivamente, en comparación con los ladrillos tradicionales.

### **4.3. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

Con este trabajo experimental se busca verificar la elaboración de ladrillos con lodo de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la red Casigana, como sustituto parcial de la arcilla.

Por lo que es necesario comparar hipótesis planteada: “La sustitución parcial de la arcilla en la elaboración de ladrillos con lodo de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la red Casigana influirá en su resistencia a compresión.”

A través de la recolección de datos, análisis de tablas y gráficos, se evidencia que la sustitución parcial de la arcilla por lodo al 5%, 10% y 15 %, incide en la disminución de la resistencia a compresión en comparación a los ladrillos tradicionales.

## **CAPÍTULO V**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### **5.1. CONCLUSIONES**

- En el análisis químico – microbiológico del Centro de Servicios Técnicos de Transferencia Tecnológica Ambiental se determinó que el lodo de la Planta de Tratamiento de Agua Potable red Casigana, no contiene metales pesados y está en los límites máximos permisibles de acuerdo con la Norma Técnica de Desechos Peligrosos y Especiales.
- El índice de plasticidad de la arcilla da como resultado un valor de 16,38% y la sustitución parcial de la arcilla por lodo al 5%, 10% y 15%, presenta valores entre: 15,67% y 16,15%.
- Al sustituir parcialmente la arcilla por lodo al 5%, se redujo el índice de plasticidad del 16,38% al 15,91%, con un decremento del 2,87%.
- Al sustituir parcialmente la arcilla por lodo al 10%, se redujo el índice de plasticidad del 16,38% al 16,15%, con un decremento del 1,40%.
- Al sustituir parcialmente la arcilla por lodo al 15%, se redujo el índice de plasticidad del 16,38% al 15,67 %, con un decremento del 4,33%.
- Los ladrillos tradicionales presentan mayor resistencia a compresión con un valor de 7,65 MPa, en relación con los ladrillos elaborados con lodo al 5%, 10% y 15%, los cuales presentan los siguientes valores: 6,75 MPa, 7,58 MPa y 6,48 MPa respectivamente.
- Al sustituir el 5%, 10 % y 15% de arcilla por lodo, se redujo la resistencia a la compresión de los ladrillos en un 11,76%, 0,92% y 15,29% respectivamente, en relación con los ladrillos tradicionales.

- Se evidencia que, al elevar el nivel de sustitución de la arcilla por lodo, representa una reducción en la resistencia a la compresión.
- Se observó que la resistencia a compresión no cumple en los ladrillos elaborados con lodos con respecto a los ladrillos tradicionales, posiblemente porque el mezclado fue realizado manualmente.
- Se determinó que el contenido de humedad del lodo es mayor que el de la arcilla, lo cual es un factor no muy favorable en la mezcla de los componentes para la pasta en la elaboración de ladrillo, ya que el contenido de humedad del lodo y arcilla debería ser iguales.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la utilización del lodo, porque no es un desecho contaminante, por lo cual puede ser utilizado sin inconveniente alguno en la elaboración de ladrillos.
- Los componentes como: arcilla y arena deben cumplir con las especificaciones de las normas INEN 696 - ASTM C33, para elaborar los ladrillos y garantizar el mejoramiento de la resistencia a compresión.
- La muestra de arcilla debe encontrarse completamente en estado seco al horno para la ejecución de los ensayos de laboratorio: granulometría, límite líquido y plástico.
- Es recomendable en la elaboración de los ladrillos, utilizar un molino mecánico para la mezcla de los componentes y así lograr una buena pasta homogénea.
- Humedecer el molde de madera para ladrillos con capacidad de 12 unidades antes de colocar la mezcla, así se evitará que el material se adhiera al momento de levantar el molde.
- Es importante colocar y retirar cuidadosamente los ladrillos del horno para evitar daños en los especímenes.
- Se recomienda seguir con estudios relacionados al tema con la finalidad de conocer nuevos porcentajes de sustitución de lodo para ver la influencia que pueda tener en la elaboración de los ladrillos.
- Se recomienda no utilizar el lodo en la elaboración de ladrillos, ya que no se cumple la hipótesis señalada.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] García. H, (2015). “La historia del ladrillo”. Internet: [http://www.proyectosalohogar.com/el\\_porque\\_de\\_las\\_cosas/historia\\_del\\_ladrillo.htm](http://www.proyectosalohogar.com/el_porque_de_las_cosas/historia_del_ladrillo.htm). Recuperado: [07-05-2017].
- [2] Torres. P, Hernández. D y Paredes. D, (2012, Jul). “Uso productivo de lodos de plantas de tratamiento de agua potable en la fabricación de ladrillo cerámicos.” *Revista Ingeniería de Construcción*. [Online]. Vol.27 N°3, pp 145-154. Disponible: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-50732012000300003](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732012000300003) Recuperado: [16-12-2017].
- [3] Bermeo. A y Idrovo. E, (Abr.26, 2015). “Aprovechamiento de lodos deshidratados generados en plantas de tratamiento de agua potable y residual como agregado para materiales de construcción”, Tesis de Titulo, Ing. Civil, Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Ecuador 2014. [En línea]. Disponible: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/20868/1/Tesis.pdf>. Recuperado: [18-12-2017].
- [4] Salazar. P, (Abr.26, 2015). “Fabricación de ladrillo cerámicos utilizando como aditivo rotura y lodos de la planta de tratamiento de agua de la empresa Edesa S.A”, Tesis de Titulo, Ing. Químico, Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Química, Ecuador 2015. [En línea]. Disponible: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/4514/1/T-UCE-0017-114.pdf>. Recuperado: [18-12-2017].
- [5] Gutiérrez. J y Ramírez. A, (Jul. 27, 2014). “Tratamiento de lodos generados en el proceso convencional de potabilización de agua.” *Revista Ingeniería de Construcción Universidad de Medellín*. [Online]. Vol.13 N°25, Disponible: <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v13n25/v13n25a02.pdf>. Recuperado: [6-01-2017].
- [6] NTE INEN 297:78. “Ladrillos cerámicos, requisitos.” Ecuador, 1978.
- [7] Plan Nacional del Buen Vivir. “Objetivo 7-Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental, territorial y global.” Quito, 2013.

- [8] Tirado. A, (Dic, 2013). “Caracterización fisicoquímica y microbiológica de la calidad de agua que accede a la Planta de Tratamiento Casigana EP EMAPA-Ambato y estrategias para evitar su contaminación”, Tesis de Título, Ing. Bioquímica, Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos, Ecuador, 2013. [En línea]. Disponible: <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/6644/1/BQ%2051.pdf> Recuperado: [26-04-2017]
- [9] Ruiz. F, (Nov, 2011) “Utilización de los lodos generados en el proceso de potabilización del agua de la Planta de Tratamiento Casigana, como aditivo para suelos de cultivo”, Tesis de Título, Ing. Bioquímica, Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos, Ecuador, 2011. [En línea]. Disponible: <http://repo.uta.edu.ec/handle/123456789/1902>. Recuperado: [26-04-2017]
- [10] Cinética Química. “Policloruro de aluminio”, Internet. <http://www.policlorurodealuminio.com/policloruro-de-aluminio.html>. Recuperado: [28-05-2017]
- [11] Lenntech,. “Partículas coloides”, Internet: <http://www.lenntech.es/particulas-coloidales.htm>. Recuperado: [28-05-2017]
- [12] Norma Técnica de Desechos Peligrosos y Especiales, “Disposiciones Generales.” Quito, 2012
- [13] Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002.
- [14] NTE INEN 293:78. “Ladrillos cerámicos: clasificación, definición y condiciones generales”, Ecuador, 1978.
- [15] ASTM D 2487: Clasificación de Suelos para Propósitos de Ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)
- [16] Mantilla. F, Mecánica de Suelos Elemental en la Ingeniería Civil, Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil, 2013, pp 8.
- [17] Consistencia del suelo, “Grafico de plasticidad para suelos de grano fino”, Internet:[ftp://ftp.fao.org/fi/cdrom/fao\\_training/fao\\_training/general/x6706s/x6706s08](ftp://ftp.fao.org/fi/cdrom/fao_training/fao_training/general/x6706s/x6706s08.htm).htm. Recuperado: [08-06-2017]

- [18] NTE INEN 691. “Mecánica de suelos, Determinación del límite líquido, Método de casa grande”, Ecuador, 1982.
- [19] NTE INEN 692. “Mecánica de suelos, Determinación del límite plástico”, Ecuador, 1982.
- [20] Sowers. G. Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Identificación y descripción del suelo. Tercera Edición. Editorial Limusa - Wiley S.A. México 1972, pp. 111.
- [21] Materiales Pétreos Artificiales. “Definición Cerámicos”. Internet: [www6.uniovi.es/usr/fblanco/Tema4.2.MaterialesPetreosArtificiales.2P.PPT.pdf](http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Tema4.2.MaterialesPetreosArtificiales.2P.PPT.pdf)  
Recuperado: [14-06-2017]
- [22] Wikipedia. “Serrín”. Internet: <https://es.wikipedia.org/wiki/Serr%C3%ADn>.  
Recuperado: [14-06-2017]
- [23] Slide Share. “Ensayo de Materiales”, Internet: <https://es.slideshare.net/yahil350/ensayo-de-materiales-13447018>.  
Recuperado: [14-06-2017]
- [24] NTE INEN 696, Granulometría: Áridos finos y gruesos, Ecuador, 2011.
- [25] ASTM C - 33: Concrete Aggregates, 2003
- [26] ASTM C - 125: Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates, 2003
- [27] NTE INEN 694, Ladrillos cerámicos: Determinación de la resistencia a la compresión, Ecuador, 1982.
- [28] Hernández. R, Fernández. C y Baptista. P, (2007). Fundamentos de Metodología de la Investigación, España: McGraw - Hill Interamericana.
- [29] Herrera. L, Naranjo. G y Medina. A, (2007). Tutoría de la Investigación Científica, Quito: Diemerino Editores.

**ANEXOS**

**A. IMÁGENES DEL DESARROLLO DE TRABAJO EXPERIMENTAL**

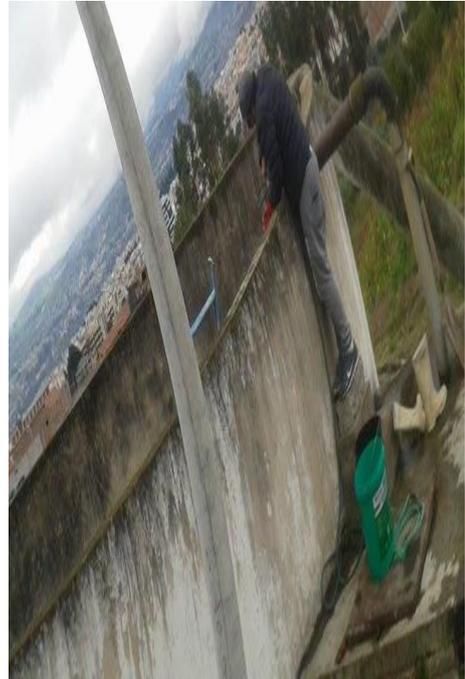


FOTO N°1. Obtención de lodos

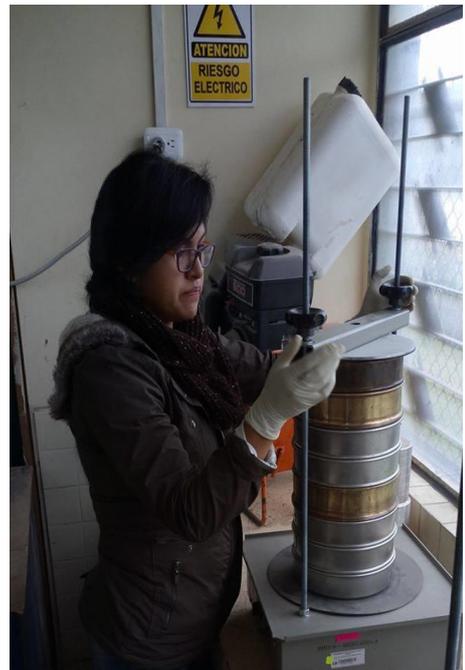


FOTO N°2. Granulometría agregado fino (arena y arcilla)



FOTO N°3. Materiales para Ensayo Límite Líquido y Plástico



FOTO N°4. Muestras para Ensayo Límite Líquido y Plástico



FOTO N°5. Peso de arcilla y lodo para Ensayo Límite Líquido y Plástico



FOTO N°6. Mezcla de arcilla con la sustitución parcial de lodo



FOTO N°7. Colocación de la muestra en la Copa Casagrande.



FOTO N°8. División de la muestra de la copa con el ranurador



FOTO N°9. Ejecución de la copa Casagrande



FOTO N°10. División de la muestra para el ensayo de límite líquido.



FOTO N°11. Peso de la muestra húmeda.



FOTO N°12. Ensayo Límite Plástico



FOTO N°13. Muestras al horno a 110°C



FOTO N°14. Muestras secas después de 24 horas



FOTO N°15. Digitación de medidas de los ladrillos en la máquina de compresión



FOTO N°16. Colocación del ladrillo en la máquina de compresión

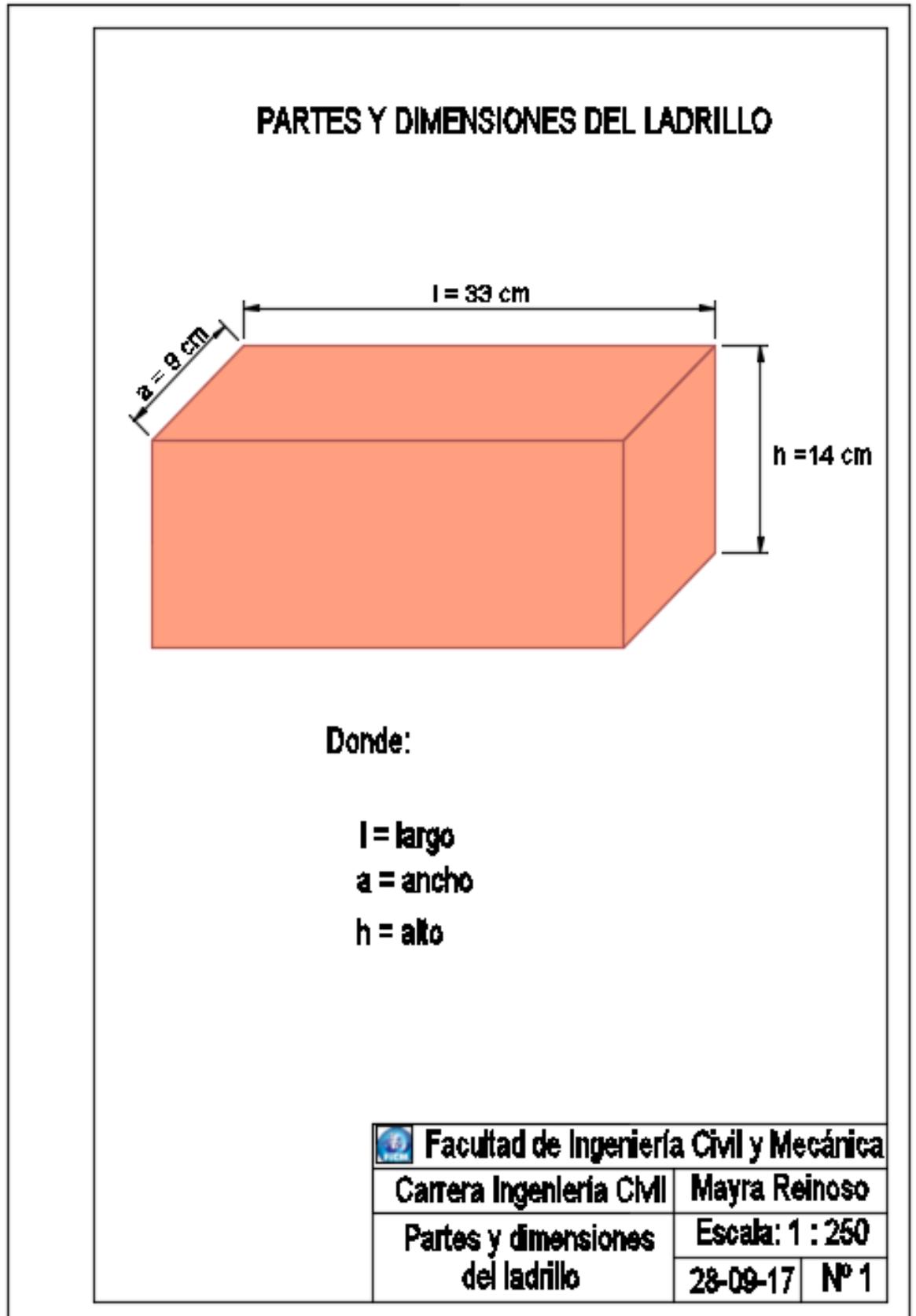


FOTO N°17. Ensayo a compresión del ladrillo



FOTO N°18. Datos de carga máxima y resistencia máxima del ladrillo.

## B. PLANO DE PARTES Y DIMENSIONES DEL LADRILLO



## C. ANÁLISIS QUÍMICO - MICROBIOLÓGICO DEL LODO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA RED CASIGANA.



### CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL

**DEPARTAMENTO :  
SERVICIOS DE LABORATORIO**

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)  
RIOBAMBA - ECUADOR  
Telefax: (03) 3013183

**INFORME DE ENSAYO No:**

**ST:**

**Nombre Peticionario:**

**Atn.**

**Dirección:**

RS- 13-17

012 - 17 ANÁLISIS DE RESIDUOS SÓLIDOS

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

Egda. Mayra Reinoso

Huachi Chico

Ambato - Tungurahua

**FECHA:**

23 de Mayo del 2017

**NUMERO DE MUESTRAS:**

1

**FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:**

2017/05/11 - 15:28

**FECHA DE MUESTREO:**

2017/04/29 - 08:00

**FECHA DE ANÁLISIS:**

2017/05/11 - 2017/05/23

**TIPO DE MUESTRA:**

Residuo Sólido

**CÓDIGO CESTTA:**

LAB-RS 13-17

**CÓDIGO DE LA EMPRESA:**

NA

**PUNTO DE MUESTREO:**

Planta de tratamiento de agua potable Ambato - Casigan

**ANÁLISIS SOLICITADO:**

Químico - Microbiológico

**PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:**

Egda. Mayra Reinoso

**CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:**

T máx.: 25.0 T mín.: 15.0 °C

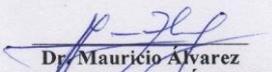
#### RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Arsénico	EPA 200.7 / EPA 3015a ICP	mg/L	<0,01	75
Cadmio	EPA 200.7 / EPA 3015a ICP	mg/L	<0,004	85
Níquel	EPA 200.7 / EPA 3015a ICP	mg/L	<0,05	57
Plomo	EPA 200.7 / EPA 3015a ICP	mg/L	<0,01	4300
Cromo	EPA 200.7 / EPA 3015a ICP	mg/L	<0,01	3000
Zinc	EPA 200.7 / EPA 3015a ICP	mg/L	<0,25	420
Mercurio	EPA245.7/EPA 3015 <sup>a</sup>	mg/L	<0,001	840
Salmonella SP	AOAC 960801	----	Ausencia	10 <sup>3</sup> /g
Coliformes Fecales	AOAC 991.14	UFC/g	7*10 <sup>2</sup>	2x10 <sup>6</sup> NMP o UFC/g ST
Huevos de Helminto	Observación Microscópica	----	Ausencia	15/g

#### OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.
- La columna marcada con (■) corresponde al Límite máximo permitido indicado en la tabla 2 y en la tabla 3 de la Norma Técnica de Desechos Peligrosos y Especiales. Solicitado por el cliente.
- Por pedido del cliente la muestra ingresa después de las 24h de muestreo.

#### RESPONSABLE DEL INFORME:

  
**Dr. Mauricio Alvarez**  
**RESPONSABLE TÉCNICO**



Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.

Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados

MC01-16

Página 1 de 1  
Edición 0