

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**ANÁLISIS DE LA RE-VALORIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS  
DE LA PTAR, EL PERAL, AMBATO, PARA INSUMO DE  
MAMPOSTERÍA**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**STEEVEN ALEXIS CUTI CUTY**

steeven.cuti@gmail.com

**ANDRÉS GUSTAVO URBINA POVEDA**

andres.urbina93@gmail.com

**DIRECTOR: ING. ANA LUCIA BALAREZO AGUILAR. PhD.**

ana.balarezo@epn.edu.ec

**CODIRECTOR: ING. MERCEDES VILLACÍS TRONCOSO. MSc.**

mercedes.villacís@epn.edu.ec

**Quito, Junio 2018**

## **DECLARACIÓN**

Nosotros, Steeven Alexis Cuti Cuty y Andrés Gustavo Urbina Poveda, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado previamente para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa vigente

---

**STEEVEN ALEXIS  
CUTI CUTY**

---

**ANDRÉS GUSTAVO  
URBINA POVEDA**

## CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Steeven Alexis Cuti Cuty y Andrés Gustavo Urbina Poveda, bajo nuestra supervisión.

---

**Ing. Ana Lucía Balarezo Aguilar, PhD**  
**DIRECTORA DEL PROYECTO**

---

**Ing. Mercedes Villacis Troncoso, MSc.**  
**CODIRECTORA DEL PROYECTO**

## AGRADECIMIENTO

A Dios por mostrarme su fidelidad durante toda mi carrera universitaria y mucho más durante el proceso de elaboración y presentación de este trabajo.

A mis padres, Verónica y René, por mostrarme su apoyo incondicional, amor, fortaleza, paciencia y cariño en cada una de mis decisiones y metas que me he propuesto alcanzarlas. Además, quiero agradecer a toda mi familia por estar pendiente de mí.

A todos los docentes de la institución, especialmente a la PhD. Ana Lucia Balarezo, y a nuestra codirectora, la ingeniera Mercedes Villacis, por el tiempo, dedicación, responsabilidad, guía, enseñanzas y apoyo brindado; y además, por percibir sus valores humanos y experiencias durante todo el desarrollo del presente trabajo de titulación.

A la Escuela Politécnica Nacional, por permitirme cumplir una más de mis metas por medio de la formación académica; al LEMSUR y DEMEX, de la EPN, por brindarnos la facilidad de realizar la etapa experimental en sus instalaciones.

Al Ing. Iván Lituma y a la Ing. Diana Endara, por su apoyo y ayuda en la fase experimental del trabajo.

Al Sr. Hernán Melo, y a toda su familia, por permitirnos usar la ladrillera en la que se elaboró los mampuestos para este trabajo.

A mi amigo y coautor de este trabajo, Andrés Urbina, por el esfuerzo, empeño y dedicación en la elaboración del trabajo. De ante mano espero que Dios te bendiga durante tu carrera como ingeniero y tu caminar sea el mejor.

Steeven Cuti

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por darme la oportunidad de alcanzar cada uno de mis objetivos, gracias por iluminarme y guiarme por tu sendero.

A la Escuela Politécnica Nacional, por abrirme sus puertas y brindar un ambiente propicio para mi desarrollo profesional y personal.

A todos los docentes de la institución, especialmente a la PhD. Ana Lucía Balarezo e Ing. Mercedes Villacís, por ser quienes me han brindado su apoyo, experiencia y sobre todo su amistad a lo largo de este proyecto.

Al Lemsur, Demex, por abrirme sus puertas para el desarrollo del presente trabajo.

A mis padres por su esfuerzo y sacrificio para que yo pudiera lograr mis sueños. A ustedes todo mi amor y agradecimiento.

A todos mis amigos que me han brindado su amistad desinteresada y con quienes hemos compartido varias experiencias en nuestra vida universitaria, y que de alguna manera contribuyeron a mi formación académica, especialmente a Steeven por ser parte de toda una vida universitaria y por haber logrado culminar este trabajo con éxitos.

Andrés Urbina

## **DEDICATORIA**

Este trabajo quiero dedicarlo a Dios, porque mi carrera universitaria estuvo en su voluntad para mi vida. Por ser el pilar fundamental durante mi caminar y además porque gracias a Él estoy cumpliendo unos de mis mayores metas.

A mis padres, René y Verónica, por creer y confiar en mí, por el gran esfuerzo que dedicaron para poder alcanzar una de mis grandes metas; por qué han sido de gran bendición en mi vida.

A mis tías Rosa Cuti y Beatriz Cuti por estar siempre al pendiente de mis estudios académicos.

Steeven Cuti

## **DEDICATORIA**

Esta tesis la dedico a Dios, sobre todo, por brindarme la fuerza, disciplina y sabiduría necesaria para luchar y cumplir mis sueños.

A mis padres Myriam y Gustavo, por ser mi ejemplo e impulso para alcanzar todas aquellas metas que me he planteado y enseñarme que cada objetivo en la vida se consigue con trabajo, esfuerzo, sacrificio y amor

A mi hermana Alexandra por ser mis más grande referente, un apoyo incondicional y mano amiga en cada momento de mi vida.

A todos mis familiares y amigos por motivación constante y apoyo moral.

A mis profesores por su valioso aporte en mi formación profesional y personal.

Andrés Urbina

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN .....	I
CERTIFICACIÓN .....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
DEDICATORIA.....	V
DEDICATORIA.....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIV
RESUMEN .....	XVI
ABSTRACT .....	XVII
SIGLAS .....	XVIII
PRESENTACIÓN .....	XIX
CAPÍTULO 1 .....	1
ASPECTOS GENERALES .....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3 OBJETIVOS.....	3
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
1.4 ALCANCE .....	3
CAPÍTULO 2 .....	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 AGUAS RESIDUALES.....	5
2.2 SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....	5
2.2.1 PRETRATAMIENTO .....	6
2.2.2 TRATAMIENTO PRIMARIO .....	6
2.2.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO .....	6
2.2.4 TRATAMIENTO TERCIARIO .....	7
2.3 LODOS RESIDUALES.....	8



2.3.1	LODOS PRIMARIOS.....	8
2.3.2	LODOS SECUNDARIOS.....	8
2.4	CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS RESIDUALES.....	9
2.4.1	CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS.....	9
2.4.2	CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS.....	11
2.5	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.....	12
2.5.1	MATERIALES CERÁMICOS.....	12
2.5.2	INICIATIVAS DE REUTILIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS.....	13
2.6	NORMATIVA TÉCNICA ECUATORIANA, INEN PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DE LOS LADRILLOS.....	14
CAPÍTULO 3.....		15
METODOLOGÍA.....		15
3.1	CARACTERIZACIÓN DEL SUELO.....	15
3.1.1	PROPIEDADES FÍSICAS.....	15
3.1.1.1	CONTENIDO DE HUMEDAD (%).....	15
3.1.1.2	ÍNDICE DE PLASTICIDAD.....	16
3.1.1.3	DENSIDAD DE SÓLIDOS.....	21
3.1.1.4	GRANULOMETRÍA.....	23
3.1.2	PROPIEDADES QUÍMICAS.....	28
3.1.2.1	DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX).....	28
3.1.2.2	FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX).....	29
3.2	CARACTERIZACIÓN DEL LODO.....	30
3.2.1	PROPIEDADES FÍSICAS.....	30
3.2.1.1	CONTENIDO DE HUMEDAD (%).....	30
3.2.1.2	ÍNDICE DE PLASTICIDAD.....	31
3.2.1.3	DENSIDAD DE SÓLIDOS.....	31
3.2.1.4	GRANULOMETRÍA.....	32
3.2.2	PROPIEDADES QUÍMICAS.....	34
3.3	CRETIB DEL LODO RESIDUAL.....	34
3.3.1	CORROSIVIDAD.....	34
3.3.2	REACTIVIDAD.....	35
3.3.3	EXPLOSIVIDAD.....	36

3.3.4 TOXICIDAD (TCLP) .....	36
3.3.5 INFLAMABILIDAD .....	37
3.3.6 BIOLÓGICO-INFECCIOSO.....	38
3.4 ELABORACIÓN DE LOS LADRILLOS DE MEZCLA.....	39
3.4.1 EXTRACCIÓN DEL SUELO.....	40
3.4.2 TAMIZADO.....	40
3.4.3 MOLIENDA.....	41
3.4.4 MEZCLADO .....	42
3.4.5 MOLDEADO Y CORTADO.....	43
3.4.6 SECADO .....	44
3.4.7 COCCIÓN .....	44
3.5 ENSAYOS DE LABORATORIO EN LADRILLOS DE MEZCLA:	
LODO-SUELO .....	45
3.5.1 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	45
3.5.2 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN .....	48
3.5.3 DETERMINACIÓN DE ABSORCIÓN MÁXIMA DE HUMEDAD .....	50
CAPÍTULO 4 .....	52
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
4.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL LODO Y SUELO.....	52
4.2 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL LODO Y SUELO.....	53
4.3 CRETIB DEL LODO.....	55
4.4 LADRILLO DE MEZCLA .....	56
4.4.1 REISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	56
4.4.2 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.....	58
4.4.3 ABSORCIÓN MÁXIMA DE HUMEDAD.....	59
4.5 LADRILLO DE MEZCLA ÓPTIMO.....	62
4.5.1 PORCENTAJE ÓPTIMO DE AGREGADO PARA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN .....	62
4.5.2 PORCENTAJE ÓPTIMO DE AGREGADO PARA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.....	64

4.5.3 PORCENTAJE ÓPTIMO DE AGREGADO PARA ABSORCIÓN DE HUMEDAD .....	64
4.6 TOXICIDAD (TCLP) DEL LADRILLO DE MEZCLA (5 %).....	64
4.7 USO DE LOS LADRILLOS DE MEZCLA EN ESTRUCTURAS NO SUJETAS A PRESIÓN .....	65
CAPÍTULO V .....	68
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	68
5.1 CONCLUSIONES .....	68
5.2 RECOMENDACIONES.....	70
BIBLIOGRAFÍA .....	71
ANEXOS .....	78
ANEXO N° 1: SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PTAR, EL PERAL, AMBATO.....	79
ANEXO N° 2: INFORMES EMITIDOS POR EL LEMSUR Y DEMEX.....	81
ANEXO N° 3: TABLA 2 DE LA NORMA MEXICANA NOM-052- SEMARNAT-2005.....	114
ANEXO N° 4: REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL TRABAJO.....	116
ANEXO N° 5: NORMATIVA NTE-INEN 294, 295, 296 y 297 .....	127

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1	Sistema combinado de tratamiento de aguas residuales, procesos unitarios.....	7
FIGURA 3.1	Tamizado de la muestra de suelo .....	17
FIGURA 3.2	Alisado y ranurado de la muestra de suelo en copa ASTM.....	18
FIGURA 3.3	Curva de fluidez del suelo .....	19
FIGURA 3.4	Amoldamiento de cilindros .....	20
FIGURA 3.5	Extracción de aire, densidad de solidos .....	22
FIGURA 3.6	Hidrómetro sumergido en agua destilada; solución de defloculante y suspensión de suelo .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
FIGURA 3.7	Tamizado de gruesos, a través de la serie Tyler Test Sieve .....	26
FIGURA 3.8	Curva granulométrica completa de la muestra de suelo. ....	27
FIGURA 3.9	Ensayo de DRX.....	28
FIGURA 3.10	Elaboración de perla fundida.....	29
FIGURA 3.11	Curva granulométrica completa de la muestra de lodo .....	33
FIGURA 3.12	Ensayo de corrosividad .....	35
FIGURA 3.13	Ensayo de reactividad .....	35
FIGURA 3.14	Ensayo de explosividad.....	36
FIGURA 3.15	Ensayo de inflamabilidad .....	37
FIGURA 3.16	Siembra de muestra de lodo sobre la caja petri .....	38

FIGURA 3.17	Incubación y formación de las colonias bacterianas.....	39
FIGURA 3.18	Tamizado del suelo .....	40
FIGURA 3.19	Proceso de elaboración de ladrillos de mezcla .....	41
FIGURA 3.20	Suelo molido.....	42
FIGURA 3.21	Mezclas suelo-lodo.....	42
FIGURA 3.22	Cortado de pasta de ladrillo.....	43
FIGURA 3.23	Secado del ladrillo .....	44
FIGURA 3.24	Cocción de ladrillos .....	44
FIGURA 3.25	Cortado de las muestras de ladrillos .....	46
FIGURA 3.26	Refrentado de los ladrillos .....	46
FIGURA 3.27	Ensayo de compresión.....	47
FIGURA 3.28	Posición de varillas de hierro en el ladrillo .....	49
FIGURA 3.29	Ensayo de resistencia a la flexión .....	49
FIGURA 3.30	Secado de ladrillos .....	50
FIGURA 4.1	Resistencia a la compresión de los ladrillos.....	57
FIGURA 4.2	Resistencia a la flexión de los ladrillos .....	59
FIGURA 4.3	Absorción máxima de humedad.....	60
FIGURA 4.4	Muestra de ladrillo con restos de caliza .....	62
FIGURA 4.5	Resistencia a la compresión de los ladrillos de mezcla.....	63

FIGURA 4.6 Esquema del ladrillo ..... 66

FIGURA 4.7 Estructura no sujeta a presión..... 66

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1	Parámetros fisicoquímicos de los lodos residuales.....	9
TABLA 2.2	Organismos patógenos típicos de lodos residuales.....	11
TABLA 2.3	Requisitos INEN para los ladrillos cerámicos. ....	14
TABLA 3.1	Contenido de humedad (%), muestra de suelo.....	16
TABLA 3.2	Contenido de humedad (%) en función del número de golpes del suelo .....	19
TABLA 3.3	Límite plástico del suelo.....	20
TABLA 3.4	Resumen de resultados, Índice de plasticidad del suelo .....	21
TABLA 3.5	Densidad del suelo .....	22
TABLA 3.6	Características específicas del hidrómetro .....	24
TABLA 3.7	Lectura del hidrómetro en el defloculante para corrección .....	25
TABLA 3.8	Granulometría de finos por el método del hidrómetro del suelo.....	25
TABLA 3.9	Granulometría de gruesos, muestra de suelo .....	26
TABLA 3.10	Contenido de humedad (%) del lodo .....	30
TABLA 3.11	Resumen de resultados Índice de plasticidad del lodo.....	31
TABLA 3.12	Densidad del sólido: lodo .....	31
TABLA 3.13	Lectura del hidrómetro en el defloculante para corrección .....	32
TABLA 3.14	Granulometría del material fino, hidrómetro, muestra de lodo.....	32

TABLA 3.15	Granulometría del material grueso, muestra de lodo .....	33
TABLA 3.16	Tipo y número de colonias bacterianas, muestra de lodo .....	39
TABLA 3.17	Mezclas porcentuales de materia prima: lodo y suelo .....	43
TABLA 3.18	Resistencia a la compresión.....	48
TABLA 3.19	Resistencia a la flexión.....	50
TABLA 3.20	Absorción máxima de humedad .....	51
TABLA 4.1	Caracterización del lodo y suelo .....	52
TABLA 4.2	Análisis Difracción de Rayos X .....	53
TABLA 4.3	Análisis Fluorescencia de Rayos X.....	54
TABLA 4.4	Análisis CRETIB del lodo.....	55
TABLA 4.5	Ensayo TCLP del lodo .....	56
TABLA 4.6	Resistencia mínima a la compresión de los ladrillos.....	56
TABLA 4.7	Resistencia mínima a la flexión de los ladrillos .....	58
TABLA 4.8	Absorción máxima de humedad de los ladrillos .....	60
TABLA 4.9	Metales presentes en el lixiviado TCLP del ladrillo (5%) .....	64
TABLA 4.10	Parámetros de ladrillos de 30% de agregado.....	65
TABLA 4.11	Peso generado en las secciones A y B de una pared .....	67



## RESUMEN

En el presente trabajo de titulación, se analizó una alternativa de re-valorización de lodos residuales de los procesos de depuración primario y secundario de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) El Peral, de la ciudad de Ambato, como sustituto porcentual del suelo para la elaboración de ladrillos cerámicos.

La parte experimental, se ejecutó en tres etapas, la primera inició con búsqueda de información bibliográfica técnica, relativa al tema y la normativa nacional NTE-INEN para mampuestos.

La segunda etapa inició con el muestreo de la materia prima, suelo y lodo residual, para su posterior caracterización, en laboratorio, por parámetros físicos y químicos; además, se realizó la caracterización CRETIB únicamente del lodo. Seguidamente, se procedió a la fabricación de 5 lotes de ladrillos de mezcla, con diferentes porcentajes de enmienda de lodo (5% al 30%). Los ladrillos fueron ensayados en laboratorio para determinar su calidad de acuerdo a la normativa nacional NTE-INEN 297.

En la tercera etapa, con los resultados de los ensayos mecánicos de los ladrillos de mezcla, se determinó que aquellos con el 5% de enmienda, cumplieron con la norma NTE-INEN 297, esto es: resistencia mínima a la compresión, resistencia mínima a la flexión y absorción máxima de humedad, y se clasificaron como ladrillos macizos tipo C.

Por interpolación, se infiere que los ladrillos de mezcla con el 8,6%, cumplieron con el parámetro de resistencia mínima a la compresión; sin embargo, estos ladrillos no pueden estar sujetos a cargas progresivas de flexión. Finalmente, se analizó un posible uso para los ladrillos de mezcla del 30%, para estructuras no sujetas a presión, especialmente de tipo ornamental.

Palabras claves: re-valorización, lodo residual, CRETIB y mampuestos.

## ABSTRACT

In this degree work, it was analyzed an alternative of re-valorization of residual sludge from the primary and secondary purification processes of the Wastewater Treatment Plant (PTAR) El Peral, of Ambato city, using them as a percentage substitute of the soil for the elaboration of ceramic bricks.

The experimental part was executed in three stages, the first one began with the analysis of bibliographic technical information related to the subject and the national NTE-INEN regulations for masonry.

The second phase began with the sampling of raw material, soil and residual sludge, for further characterization by physical and chemical parameters in the laboratory, in addition, the characterization of CRETIB was carried out only of the sludge to determine its dangerousness according to the Mexican norm NOM-052-SEMARNAT-2005. Then, we proceeded to the manufacture of 5 batches of bricks of mixture, with different percentages of sludge amendment, between 5% and 30%. These bricks were tested in the laboratory to determine their quality according to the national regulation NTE-INEN 297.

In the third phase, from the values obtained in the mechanical tests to the bricks of mixture, it was determined that the bricks made with 5% of amendment, fulfilled the parameters of minimum resistance to compression, minimum resistance to bending and absorption maximum humidity, according to the NTE-INEN 297 standard and classified as solid type C bricks.

By interpolation, it is inferred that the bricks of mixture with 8.6%, complied with the parameter of minimum resistance to compression; however, these bricks can not be subject to progressive bending loads. Finally, a possible use for the 30% mix bricks was analyzed, for structures not subjected to pressure, especially of ornamental type.

Keywords: re-valorization, residual sludge, CRETIB and masonry.

## SIGLAS

ASTM	Asociación Internacional para el Ensayo y Materiales
CRETIB	Corrosividad, Reactividad, Explosividad, Toxicidad, Inflamabilidad y Biológico-Infecioso
DBO	Demanda Biológica de Oxígeno
DEMEX	Departamento de Metalurgia Extractiva
DRX	Difracción de Rayos X
EP-EMAPA	Empresa Pública de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato
EPN	Escuela Politécnica Nacional
FICA	Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental
FRX	Fluorescencia de Rayos X
Gs	Gravedad específica
HR1	Medida del hidrómetro
LEMSUR	Laboratorio de Ensayo de Materiales, Suelos y Rocas
NA	No Aplica
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PTAR	Planta de Tratamiento de Agua Residual
$r_m$	Lecturas en la escala del menisco del hidrómetro
SUCS	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
TCLP	Procedimiento de Lixiviación para Caracterizar la Toxicidad

## PRESENTACIÓN

El presente trabajo de titulación está organizado en cinco capítulos.

El capítulo 1 presenta la introducción al tema propuesto, su justificación, objetivos generales y específicos, el alcance y los antecedentes.

El capítulo 2 comprende la revisión bibliográfica sobre: las aguas residuales, sistemas de tratamiento y los lodos generados. También, se describe algunos materiales de construcción elaborados con enmienda de lodo residual, y la normativa técnica ecuatoriana INEN-NTE aplicada al aseguramiento de la calidad de los ladrillos.

El capítulo 3 incluye la metodología y los procedimientos seguidos en la ejecución de los análisis físicos, químicos y biológicos de las muestras de suelo y lodo residual, seguido de la elaboración de ladrillos de mezcla y finalmente de los ensayos mecánicos aplicados a estos mampuestos.

El capítulo 4 presenta los resultados, análisis y discusión, tanto de los ensayos mecánicos de los mampuestos como de las gráficas comparativas de las características mecánicas versus las diferentes relaciones biosólidos-suelo.

El capítulo 5 muestra las conclusiones y recomendaciones alcanzadas en la presente investigación, considerando los objetivos propuestos en el plan de trabajo y los resultados obtenidos en la experimentación.

# CAPÍTULO 1

## ASPECTOS GENERALES

### 1.1 INTRODUCCIÓN

Según Mazzini (2016), uno de los problemas más importantes en el Ecuador y el mundo es el incesante aumento de la población, que provoca consecuencias negativas en el entorno, como: destrucción de ecosistemas, hambruna, disminución de la calidad de vida en las poblaciones, entre otros. Esto se debe a que las comunidades crecientes, en busca de satisfacer sus necesidades, han creado diversas actividades e industrias, responsables de la contaminación de los diferentes compartimientos de la naturaleza, principalmente el agua (Galvis & Rivera, 2013).

Una de las causas de dicha contaminación es la descarga de aguas residuales sin un tratamiento previo; anualmente, a nivel mundial, se vierten alrededor de 2212 km<sup>3</sup> de aguas residuales en los cuerpos hídricos (UNESCO, 2018).

Se plantea como una posible solución a esta problemática la construcción de Plantas de Tratamiento de Agua Residual (PTAR), lugares en los cuales existen procesos para su depuración; generalmente se conforman de tres etapas de operación: primaria, secundaria y terciaria, siendo las dos primeras donde se generan subproductos llamados lodos residuales o biosólidos (Metcalf & Eddy, 2004).

Según García N. (2006), los lodos residuales generalmente contienen tanto en suspensión como en solución: sólidos, carbohidratos, grasas, proteínas, metales pesados, óxidos de aluminio y hierro, además de organismos patógenos, generando otra problemática, ya que dicha composición hace que adquieran características corrosivas, explosivas, tóxicas, reactivas y biológicas infecciosas, que hacen compleja su disposición final.

De acuerdo a Donado (2013), la disposición no adecuada de los lodos crudos (sin tratamiento) generan: olores desagradables, presencia de vectores y contaminación al suelo, agua y aire; además, por el excesivo volumen en el que se generan hacen que los rellenos sanitarios colapsen en periodos cortos de tiempo, es decir, disminuyen su tiempo de vida útil. Todo esto da como resultado pérdidas económicas, riesgos a la salud humana y al ambiente en general.

Por lo anteriormente mencionado, es importante buscar otras alternativas para la gestión de los lodos residuales, siendo una de ellas la re-valorización, ya que, en su composición existen elementos valiosos a los que se puede dar un uso. Autores como Smol, et al. (2015), han demostrado la utilidad de los biosólidos en el sector de la agricultura, utilizándolos como materia prima en la elaboración del compostaje y vermicompostaje, para mejorar la calidad del suelo, no obstante está limitado por su calidad; por otro lado, Limón (2013), estudió el uso de biosólidos en el sector energético, mediante la producción de biogás como subproducto en la digestión anaerobia; y como una tercera alternativa, Baeza et al. (2014), han investigado y avalado su posible utilización en el sector de la construcción como un agregado en mezclas para: la producción de cemento y fabricación de todo tipo de cerámica.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

La generación de lodos residuales subproducto del proceso de tratamiento de agua residual produce problemas ambientales, además, se conoce que estos subproductos poseen materiales valiosos que pueden ser aprovechados en la industria, naciendo la necesidad de la implementación de diversas alternativas para su recuperación y disposición final. Es por ello que este trabajo técnico-experimental, propone una alternativa de gestión de biosólidos procedentes de la PTAR, El Peral de la ciudad de Ambato, empleándolos como sustituto porcentual en peso del suelo, para la elaboración de ladrillos cerámicos-macizos, lo que permitirá: reducir la cantidad de lodos dispuestos en los rellenos sanitarios alargando su vida útil, recuperación de materiales valiosos y disminución de pasivos ambientales.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Analizar la re-valorización ambiental de los biosólidos de la PTAR EL Peral, Ambato, a través de su caracterización, uso en la fabricación de ladrillos y ensayos mecánicos, para su utilización en mampostería.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar los biosólidos, física, química y biológicamente, mediante ensayos de caracterización de suelos y CRETIB, para determinar su composición y estabilidad, a fin de ser utilizado como sustitutivo porcentual en peso de la arcilla en la elaboración de ladrillos.
- Evaluar los ladrillos patrón y de mezcla (biosólidos-arcilla), mediante ensayos mecánicos de laboratorio, para verificar el cumplimiento de la NTE-INEN aplicados a estos materiales.
- Determinar la máxima proporción de mezcla en peso biosólidos-arcilla, mediante el análisis de resultados obtenidos en los ensayos mecánicos de laboratorio, para establecer la cantidad óptima de mezcla.

## **1.4 ALCANCE**

El presente estudio propone la re-valorización del lodo residual proveniente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Peral, de la ciudad de Ambato, manejada por la Empresa Pública de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato EMAPA-A, como sustituto porcentual en peso de la arcilla utilizada para la fabricación de ladrillos cerámicos macizos destinados a la mampostería.

En el desarrollo del estudio se plantearon tres etapas con las cuales se aseguró que los ladrillos sean fabricados, y ensayados de acuerdo a las normas NTE-INEN 294 “Ladrillos cerámicos, resistencia a la compresión”, 295: “Ladrillos cerámicos,

*determinación a la resistencia a la flexión*”, y 296: *“Ladrillos cerámicos, determinación de absorción de humedad”* finalmente catalogados según los requerimientos establecidos en la norma NTE-INEN 297 *“Ladrillos cerámicos, requisitos”*.

En la primera etapa, se recopiló y analizó información de investigaciones y trabajos relacionados al tema para la planificación de la fase experimental y minimización de errores en su ejecución; además, se consultó la normativa nacional NTE-INEN para ladrillos. Finalmente, se visitó la PTAR, El Peral, para identificar los procesos de tratamiento involucrados y tomar la muestra del lodo desde el lecho de secado, para la experimentación.

En la segunda etapa, se adquirió ladrillos en comercios de la ciudad de Ibarra, para ser ensayados en laboratorio, tomados como referencia para el control de calidad de los ladrillos de mezcla fabricados con agregado de lodo.

Para la fabricación de los ladrillos de mezcla fue necesario conocer las propiedades y composición, tanto del suelo como del lodo; los análisis realizados fueron: granulometría, índices de plasticidad, densidad de sólidos y el contenido de humedad (%); además de un barrido de Difracción de Rayos-X (DRX) y Fluorescencia de Rayos-X (FRX).

A partir de los datos obtenidos, se procedió a la fabricación, a escala industrial, de cinco lotes de ladrillos con porcentajes distintos de suelo-lodo. Estos lotes fueron ensayados en laboratorio según las normas ecuatorianas NTE-INEN 294: *“Ladrillos cerámicos, resistencia a la compresión”*, 295: *“Ladrillos cerámicos, determinación a la resistencia a la flexión”*, y 296: *“Ladrillos cerámicos, determinación de absorción de humedad”*

En la última etapa, los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio fueron comparados con lo definido en la norma NTE-INEN 297 *“Ladrillos cerámicos requisitos”*, para verificar si entran en una de las categorías especificadas. Finalmente, en el presente estudio no se consideró un análisis de viabilidad económica únicamente la factibilidad técnica.



## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 AGUAS RESIDUALES**

La mayor parte de las actividades realizadas por el ser humano involucra el uso del recurso agua, generando así residuos líquidos que han adquirido determinada carga contaminante, a este tipo de agua se la conoce como aguas residuales (Metcalf & Eddy, 2004). El PNUMA (2017), señala que las aguas residuales se componen del 1% en sólidos, donde aproximadamente el 70% es material orgánico y el 30% de material inorgánico. De acuerdo con Metcalf y Eddy (2004), el material orgánico está compuesto en esencia de carbohidratos (35%), proteínas (50%), grasas aceites (10%), y urea en bajas cantidades; Muñoz y Aldás (2017), argumentan que la materia inorgánica corresponde a otros elementos como sílice, sales y trazas de metales.

Considerando la Constitución del Ecuador (2008), en el Título II, Capítulo II, Sección II, art. 14, “se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado”, declarando de interés público la preservación del ambiente, conservación de ecosistemas y biodiversidad. Valencia (2013), argumenta la importancia del tratamiento del agua residual previo a su vertido en otros cuerpos de agua.

#### **2.2 SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

Es un conjunto de procesos sistematizados que permite la depuración del agua residual, donde, se incluyen procesos físicos, químicos y biológicos, y cuyo efluente puede ser reutilizado en alguna otra actividad o descargado directamente a un cuerpo receptor (Valencia, 2013).

Los tratamientos pueden ser no convencionales o convencionales, los primeros se aplican a sectores rurales o no consolidados; éstos se caracterizan por su

simplicidad de construcción y bajo costo de operación, como por ejemplo: filtros verdes, sistemas lagunares y humedales construidos (Ministerio de Agricultura, 2016).

Para asentamientos poblacionales consolidados y más organizados se utilizan tratamientos convencionales, éstos son sistemas más complejos, de mayor especialización para su operación y mantenimiento, y se caracterizan por necesidades constructivas elevadas, mayores costos de implantación y operación. Los sistemas generalmente utilizados son los lodos activados y reactores anaerobios (Lizarazo y Orjuela, 2013). Dentro de estos sistemas de tratamiento se incluyen los siguientes procesos:

### **2.2.1 PRETRATAMIENTO**

Es un proceso previo que incluye operaciones físicas y mecánicas que permiten eliminar la mayor cantidad de sólidos gruesos para que no interfieran en los procesos posteriores del tren de tratamiento (Lizarazo y Orjuela, 2013); dentro de éste se incorpora la instalación de cribas, tamices estáticos, trituradores de canal, homogeneizadores o desarenadores.

### **2.2.2 TRATAMIENTO PRIMARIO**

Son procesos físico-químicos en los cuales se pretende eliminar la mayor cantidad de sólidos en suspensión y sedimentables, logrando reducir la DBO<sub>5</sub> hasta en un 20 % (Centa, 2008). Los procesos más utilizados son: sedimentación primaria, floculación, coagulación y flotación (Muñoz & Aldás, 2017).

### **2.2.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO**

Es la digestión aerobia o anaerobia de materia orgánica, en este proceso se reduce aproximadamente el 85% DBO y gran parte de los sólidos que no fueron removidos de los procesos anteriores (Lizarazo y Orjuela, 2013). Los procesos más utilizados son: lodos activados y sistemas de película biológica (Muñoz y Aldás, 2017). Al

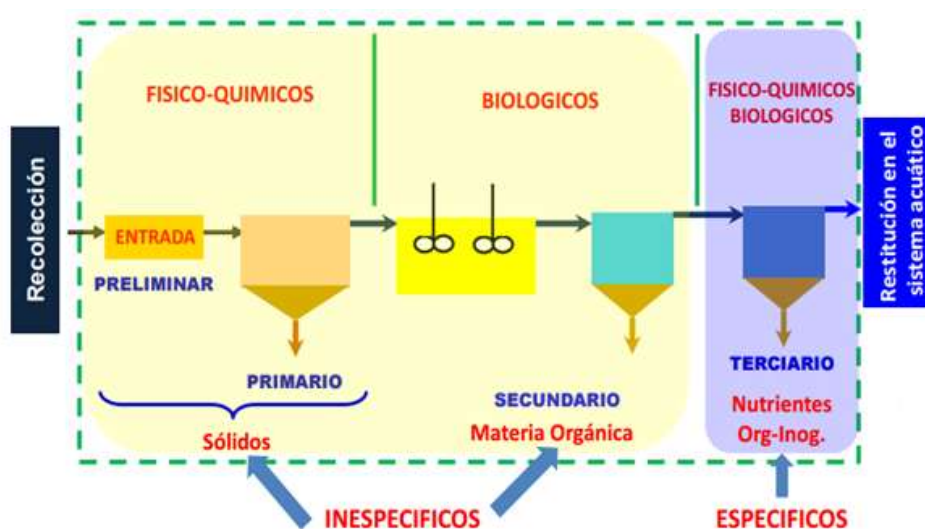
finalizar este proceso, generalmente se utiliza un sedimentador de partículas secundario (Centa, 2008).

#### 2.2.4 TRATAMIENTO TERCIARIO

Involucra procesos físico-químicos y/o biológicos, que permiten la eliminación de organismo patógenos (larvas, huevos de helminto, virus, bacterias, protozoarios, entre otros) y compuestos no eliminados de los procesos anteriores (Farías, 2018). Dentro de este proceso se incluye la coagulación, floculación y desinfección (Muñoz y Aldás, 2017).

La Figura 2.1 muestra un tren de tratamiento de aguas residuales, con procesos preliminar, primario, secundario y terciario. El Anexo 1 presenta el sistema de tratamiento de aguas residuales de la PTAR, El Peral, Ambato.

**FIGURA 2.1 Sistema combinado de tratamiento de aguas residuales, procesos unitarios.**



Fuente: Metcalf and Eddy, (2004)

## **2.3 LODOS RESIDUALES**

Autores como Baroutian, Eshtiaghi, & Gapes (2013), definen el lodo residual de las PTARs, (plantas depuradoras), como el desecho o subproducto indeseable generado en los procesos de tratamiento del agua residual tanto municipal como industrial, se produce en mayor volumen en las etapas primaria y secundaria; presentan un elevado costo en su manejo y disposición. El lodo residual es un material complejo de difícil caracterización y tratamiento; (Metcalf & Eddy, 2004).

En general, los lodos están compuestos por materia orgánica residual no descompuesta, microorganismos patógenos, compuestos no degradables, potencialmente tóxicos y sales inocuas (Ortiz, Gutierrez, & Sanchez, 1995). Además, éstos poseen características corrosivas, explosivas, tóxicas, radioactivas y biológico-infecciosas (CRETIB), es por ello que en ocasiones se los cataloga como un residuo peligroso (Oropeza, 2006).

### **2.3.1 LODOS PRIMARIOS**

Según Cordero (2010), es el resultante del tratamiento primario del agua residual. Estos lodos no han sido sometidos a ningún proceso de tratamiento y están formados por material orgánico e inorgánico particulado. También se los conoce como lodos crudos (Hernández, 2004).

### **2.3.2 LODOS SECUNDARIOS**

Hernández J. (2004), lo define como el resultante del tratamiento secundario del agua residual que fue sometida a procesos biológicos y una sedimentación secundaria, son más difíciles de espesar y deshidratar que los lodos primarios. Se denomina biosólidos a la mezcla tanto del lodo primario como secundario, manteniendo todas las características mencionadas anteriormente.

## 2.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS RESIDUALES

La caracterización de un lodo residual puede ser un procedimiento complejo, ya que varía según las características del agua residual que entra a la PTAR y de los procesos de tratamiento utilizados para su depuración, los cuales a su vez dependen de los hábitos de la población y grado de industrialización del sector que aporte al sistema de alcantarillado; así por ejemplo, entre más industrializada sea una ciudad, el agua residual tendrá mayores posibilidades de contener metales pesados, o en un sector doméstico la materia orgánica estará en mayor cantidad (Cordero, 2010).

### 2.4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

La Tabla 2.1 muestra los principales parámetros fisicoquímicos que caracterizan a los lodos residuales y sus respectivas fuentes bibliográficas.

**TABLA 2.1 Parámetros fisicoquímicos de los lodos residuales**

Propiedad	Parámetro	Descripción	Valor	Unidad	Fuente
Física	Color	Gris, pardo o negro	NA	NA	(Mendoza, 2012)
	Olor	Desagradable	NA	NA	(Espigares & Pérez, 1985)
	Peso específico	Peso de un volumen de lodo	1.02	g/cc	(Gonzales, 2015)
Química	Humedad	Agua presente en la muestra	95-99	%	(Metcalf & Eddy, 2004)
	Contenido de sólidos Totales	Resultado de la evaporación de la muestra	0.83-1.16	%	(Metcalf & Eddy, 2004)

Continuación

Propiedad	Parámetro	Descripción	Valor	Unidad	Fuente	
Química	Contenido de sólidos volátiles	Materia que puede ser incinerada	59-88	%	(Crites & Tchobanoglous, 2000) (Metcalf & Eddy, 2004)	
	Materia orgánica	Fuente: seres vivos	50-70	%	(Banegas, 2007)	
	Nutrientes	Nitrógeno		2.4-5	%	(De las Heras, 2009)
		Fosforo		1.2-4.8	%	(Hernández J. , 2004)
		Potasio		0.4-0.5	%	
	Proteínas	Presencia por organismos animal	32-41	%	(Metcalf & Eddy, 2004)	
	Aceites	Procedencia animal, vegetal o mineral por derivados del petróleo	0.5-12	%	(Metcalf & Eddy, 2004)	
	Grasas	Por contacto entre sustancias alcalinas con el hidróxido de sodio	1.100-1.700	mg/l (HAc)	(Espigares & Pérez, 1985)	
	Metales	Cd, Cu, Cr, Fe, Pb, Mn, Hg, Ni y Zn	NA	NA	(Cordero, 2010)	
	pH	Casi neutro	6.5-8	NA	(Rojas, 2000)	

En general los lodos residuales son de color oscuro, desde gris hasta negro, de olor desagradable, su contenido de humedad varía entre el 95 y 99%, la cantidad de materia orgánica depende del grado de estabilización que presentan estos lodos

y de la cantidad de sólidos volátiles, es decir mientras menor sea la cantidad de sólidos volátiles mayor es el grado de estabilización del lodo.

En ciertas muestras de lodos residuales se han encontrado trazas de metales como Cd, Cu, Cr, Fe, Pb, Mn, Hg, Ni y Zn; esto se debe, principalmente a su origen; éstos metales representan un alto riesgo a la salud humana y al ambiente (Cordero, 2010).

#### 2.4.2 CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS

La Tabla 2.2 presenta los organismos más comunes presentes en lodos residuales, éstos son indicadores biológicos del grado de contaminación del lodo residual y también de la efectividad del proceso de depuración al que fue sometido (Galvis & Rivera, 2013).

**TABLA 2.2 Organismos patógenos típicos de lodos residuales**

<b>Organismo</b>	<b>(número/ml)</b>
<i>Coliformes totales</i>	$10^5$ - $10^6$
<i>Coliformes fecales</i>	$10^4$ - $10^5$
<i>Streptococos fecales</i>	$10^3$ - $10^4$
<i>Enterococos</i>	$10^2$ - $10^3$
<i>Salmonella</i>	$10^0$ - $10^2$
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	$10^1$ - $10^2$
<i>Clostridium perfringens</i>	$10^1$ - $10^3$
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	Presentes
<i>Cistos de protozoos</i>	$10^1$ - $10^3$
<i>Huevos de helmitos</i>	$10^{-2}$ - $10^1$
<i>Virus entéricos</i>	$10^{-1}$ - $10^2$

Fuente: Galvis & Rivera, 2013

## **2.5 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Los materiales de construcción han sido de gran importancia a lo largo de la historia de la humanidad, son fundamentales para la elaboración de obras de infraestructura civil. Cada material de construcción posee características y propiedades específicas, además, deben cumplir con ciertos parámetros específicos establecidos en normativas nacionales; en el Ecuador la norma vigente es la INEN-NTE (Domínguez, 2000).

De acuerdo con Escobar (2013), los materiales de construcción se clasifican de acuerdo al campo de aplicación, en los siguientes grupos:

- Materiales pétreos
- Materiales aglomerantes y conglomerantes
- Morteros y hormigones
- Materiales cerámicos
- Fibra de vidrio

### **2.5.1 MATERIALES CERÁMICOS**

Para el presente proyecto es de interés el análisis de los materiales cerámicos los cuales son elaborados manualmente, por lo general, con materiales extraídos de la naturaleza como suelo arcilloso, agua, fundente (aserrín), desgrasante (reduce la plasticidad y retracción) y dependiendo de su aplicación se añade colorantes: rojo, amarillo, verde, azul, gris, negro o blanco (Escobar, 2013).

Según Malagón (2005), los materiales cerámicos se clasifican de acuerdo a su composición, como:

- Pastas modernas mejoradas
- Pastas basadas en compuestos húmicos
- Pastas tradicionales (ladrillos, refractarios, arcilla refractaria, alfarería, lozas, gres y porcelana)



### 2.5.2 INICIATIVAS DE REUTILIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS

Autores como Guerra, Luna y Barretero (2014), realizaron una investigación sobre el aprovechamiento de los biosólidos como abono orgánico para pastizales áridos y semiáridos. Se experimentó la dosificación de biosólidos sobre varias especies de pastizales, determinando que su aplicación en 1 Ton/ha (toneladas de biomasa disponible por hectárea) en la superficie del forraje del zacate navajita, produjo incremento cuadrático en la productividad de la biomasa durante el primer año de estudio. Además, se identificó la reducción (a cero) de la densidad, biodiversidad y riqueza de especies de plantas invasoras. Las limitaciones del estudio fueron: el contenido de humedad (<85%), no se puede aplicar sobre plantas amenazadas o en peligro de extinción y no se sobrepone sobre sitios inundados, congelados o cubiertos de nieve.

Otra forma de aprovechar los biosólidos es para obtener energía, en forma de biogás, por digestión anaerobia en reactores biológicos, de acuerdo con Limón (2013), la producción de biogás puede abastecer entre el 50% y 100% de la energía necesaria para un tratamiento biológico convencional. La producción de energía a partir de biogás ha resultado ser eficiente, económica y de bajo impacto sobre el ambiente. Según Metcalf & Eddy (2004), la generación de biogás en la digestión anaerobia de la materia orgánica de biosólidos contiene entre 45% a 75%<sub>v</sub> de CH<sub>4</sub> y 25% a 45%<sub>v</sub> de CO<sub>2</sub>, que son valores altos de potencial energético.

Finalmente, Alleman James E. & Berman Neil A. (1984), investigaron el manejo de los biosólidos para elaborar materiales de construcción. En este estudio se realizó la caracterización de los biosólidos y la elaboración de biobricks o bioladrillos, para determinar el porcentaje óptimo de mezcla suelo-biosólidos del cual se deseaba obtener un mampuesto que cumpla con lo establecido en la normativa INEN de resistencia a: la compresión, resistencia a la flexión y a la absorción de humedad; de éste estudio se obtuvo un resultado que varió en el rango del 25% al 30% de mezcla óptima de biosólidos. Además, éstos se han empleado en otras áreas de la construcción como por ejemplo: en mezcla de cemento-biosólidos para morteros (Monzo, Paya, Borrachero, & Corcoles, 1996), en mezclas de pavimentos asfálticos

en zonas calientes (Al Sayed, Madany, & Buali, 1995) y como material temporal de cobertura de vertedero (He, Li, Li, & Cui, 2015).

## 2.6 NORMATIVA TÉCNICA ECUATORIANA, INEN PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DE LOS LADRILLOS

Según la NTE-INEN 293, define a un ladrillo como una pieza de arcilla moldeada y cocida en forma de paralelepípedo o prisma regular, que se emplea en albañilería. La norma NTE-INEN 297 establece los requisitos que deben cumplir los ladrillos cerámicos empleados en la construcción, clasificándolos en diferentes categorías según los parámetros de calidad.

La Tabla 2.3 presenta los parámetros de calidad que deben cumplir los ladrillos cerámicos para su utilización en el sector de la construcción. El Anexo 5 presenta toda la normativa NTE-INEN utilizada en este estudio.

- La norma NTE-INEN 294: “LADRILLOS CERAMICOS REISTECNIA A LA COMPRESION”.
- La norma NTE-INEN 295: “LADRILLOS CERAMICOS DETERMINACION A LA RESTECNIA A LA FLEXION”.
- La norma NTE-INEN 296: “LADRILLOS CERÁMICOS. DETERMINACIÓN DE ABSORCIÓN DE HUMEDAD”.

**TABLA 2.3** Requisitos INEN para los ladrillos cerámicos.

Tipo de Ladrillo	Resistencia mínima a la compresión (MPa)		Resistencia mínima a la flexión (MPa)	Absorción máxima de humedad (%)
	Promedio de 5 unidades	Individual	Promedio de 5 unidades	Promedio de 5 unidades
<b>macizo tipo A</b>	26	20	4	16
<b>macizo tipo B</b>	16	14	3	18
<b>macizo tipo C</b>	8	6	2	25
<b>hueco tipo D</b>	6	5	4	16
<b>hueco tipo E</b>	4	4	3	18

Fuente: NTE INEN 297

MPa: Mega pascales.

## **CAPÍTULO 3**

### **METODOLOGÍA**

La muestra de suelo utilizada para elaborar los ladrillos de mezcla, fue extraída de una ladrillera de la ciudad de Ibarra, ubicada en el barrio el Tejar (coordenadas: latitud = 0,314888° y longitud = -781128°). Se realizó un muestreo directamente en campo, para lo cual se tomó una cantidad representativa de 5 kg previamente cuarteada y homogenizada, y posteriormente, recolectada en fundas plásticas PET, debidamente etiquetadas.

### **3.1 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO**

#### **3.1.1 PROPIEDADES FÍSICAS**

La caracterización física del suelo se realizó en base a la metodología y procedimientos establecidos en la American Standard of Testing Materials (ASTM). Los ensayos realizados fueron: contenido de humedad (%), granulometría de finos y gruesos, límite líquido, límite plástico y densidad de sólidos. Estos ensayos fueron desarrollados en el Laboratorio de Ensayo de Materiales Suelos y Rocas (LEMSUR) de la Escuela Politécnica Nacional (EPN).

##### **3.1.1.1 CONTENIDO DE HUMEDAD (%)**

Se determinó, el contenido de humedad, de acuerdo a las normas INEN 690 y ASTM D 2216-10; el procedimiento se basó en el cálculo de la diferencia de pesos de la muestra original y seca. El procedimiento incluyó los siguientes pasos:

1. En una balanza analítica, previamente encerada (Mettler, precisión  $\pm 0,005$  g), se registró el peso de una cápsula (metálica) vacía.
2. En la cápsula se colocó aproximadamente 25 g de muestra de suelo y se registró su peso.
3. La cápsula con la muestra de suelo fue llevada a un horno 110°C ( $\pm 5$  °C), por aproximadamente 24 horas.

4. Transcurrida las 24 horas, la cápsula se retiró del horno y se colocó en un desecador por 2 horas.
5. Finalmente, se registró el nuevo peso de la cápsula. La ecuación 3.1 permite determinar el contenido de humedad (%).

$$\% \text{ humedad} = \frac{(Cápsula+Peso.Hum)-(Cápsula+Peso.Seco)}{(Cápsula+Peso.Hum)-Cápsula} * 100 \quad (3.1)$$

El procedimiento descrito se ejecutó por duplicado para incrementar la confiabilidad de los valores obtenidos. La Tabla 3.1 presenta los valores registrados durante el ensayo y el resultado del cálculo del contenido de humedad (%).

**TABLA 3.1 Contenido de humedad (%), muestra de suelo.**

<b>Prueba No</b>	<b>Peso cápsula (g)</b>	<b>Peso húmedo (g)</b>	<b>Peso seco (g)</b>	<b>Humedad (%)</b>
Replica 1	9,57	30,57	26,86	21,45
Replica 2	9,57	31,5	27,76	21,19
<b>Promedio</b>				<b>21,32</b>

### 3.1.1.2 ÍNDICE DE PLASTICIDAD

Según López (2012), este índice es el resultado de la diferencia entre los límites de Atterberg, también llamados límites de consistencia, señalan la humedad a la cual el suelo presenta una transición entre los estados sólido, semisólido, plástico y líquido. Matemáticamente se determina mediante la ecuación 3.2.

$$IP = LP - LL \quad (3.2)$$

Donde:

IP: Índice de plasticidad (%)

LL: Limite líquido (%)

LP: Limite plástico (%)

El límite líquido y límite plástico fueron determinados mediante la metodología establecida en la norma ASTM D 4318-10. Los pasos seguidos fueron los siguientes:

### 3.1.1.2.1 LÍMITE LÍQUIDO

1. Se tomó 200 g de la fracción de muestra de suelo seco que pasa por el tamiz N° 40 (0,42 mm) del W. S. Tyler test Sieve. La Figura 3.1 indica el tamizado de la muestra de suelo.

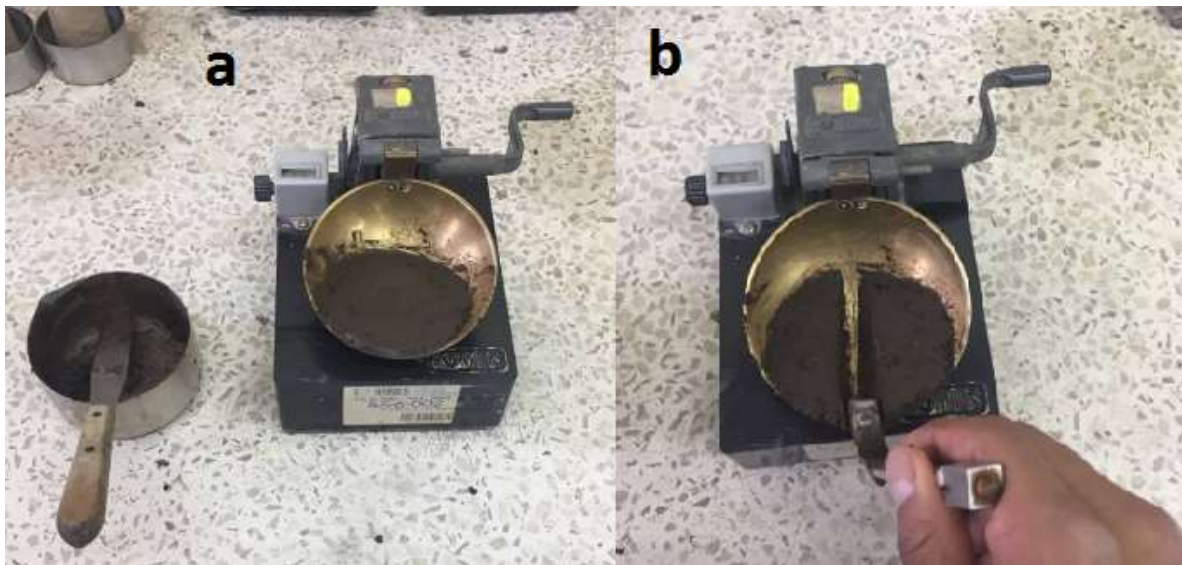
**FIGURA 2.2 Tamizado de la muestra de suelo**



2. Sobre la porción de muestra, y utilizando una piseta, se colocó agua destilada hasta conseguir una pasta homogénea sin exceso de humedad.
3. En una superficie lisa y plana se ubicó la Copa Casagrande (ASTM), previamente calibrada, sobre ésta se colocó aproximadamente 60 g de la pasta. Con una espátula, se alisó y niveló horizontalmente la superficie de la mezcla, ver Figura 3.2a, y se retiró el exceso de muestra sobre los bordes.
4. Se dividió la muestra a la mitad, con ayuda de un ranurador, tal como se indica en la Figura 3.2b. Se debe tener cuidado de que no haya desprendimiento de la pasta durante el procedimiento.

5. Se hizo girar la manija de la copa a razón de 2 golpes/seg, contando el número de golpes con los cuales la parte inferior de la ranura se cerró en una longitud aproximadamente de 1,3 cm.

**FIGURA 2.3 Alisado y ranurado de la muestra de suelo en copa ASTM**



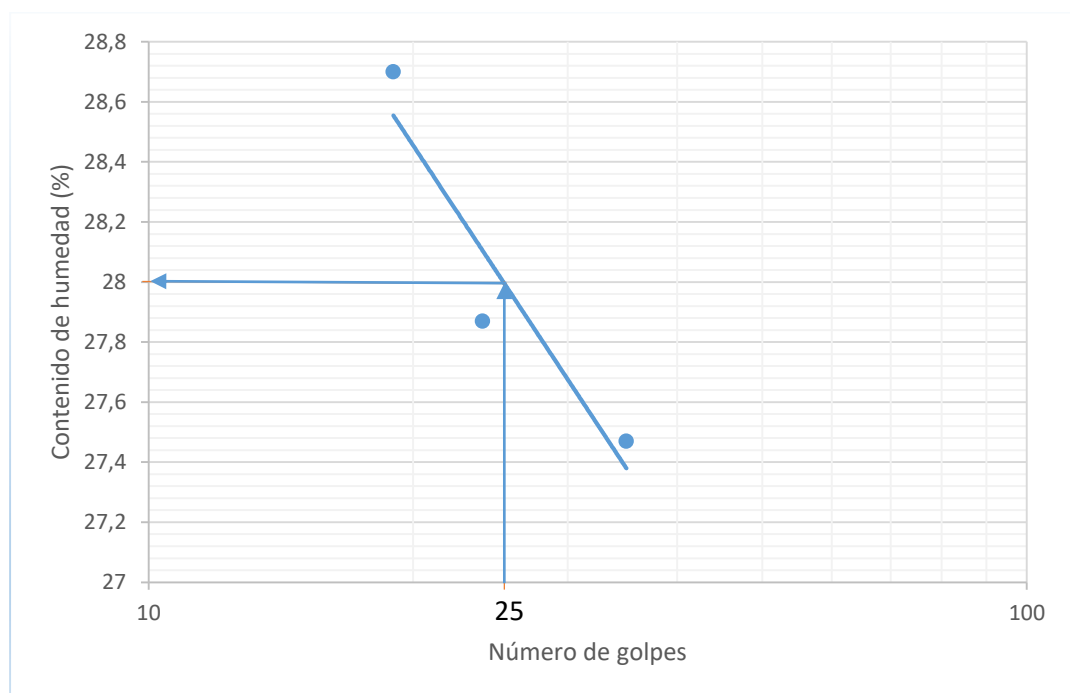
6. Se registró el número de golpes en la hoja de datos y se tomó una muestra de 20 g para determinar el contenido de humedad (%), de la misma forma que se realizó en el numeral 3.1.1.1.
7. Se repitió todo el procedimiento hasta obtener los siguientes intervalos de golpes: 15-25, 20-30 y 25-35, para lo cual se modificó la cantidad de agua utilizada.
8. Se realizó una gráfica semi-logarítmica, ver Figura 3.3, del número de golpes (abscisa, escala logarítmica) vs el contenido de humedad (%), obteniendo la curva de fluidez.
9. Finalmente, se determinó el límite líquido como el porcentaje de humedad (%) correspondiente a los 25 golpes intersecado con la curva de fluidez, ver figura 3.3.

La Tabla 3.2 muestra el número de golpes correspondiente a cada intervalo y su respectivo contenido de humedad (%).

**TABLA 3.2** Contenido de humedad (%) en función del número de golpes del suelo

Nº. Golpes	Peso cápsula (g)	Peso húmedo (g)	Peso Seco (g)	Humedad (%)
19	28,7	25,64	22,10	<b>28,70</b>
24	27,87	19,45	17,10	<b>27,87</b>
35	27,47	30,64	26,20	<b>27,47</b>
25	-	-	-	<b>28</b>

**FIGURA 2.4** Curva de fluidez del suelo



### 3.1.1.2.2 LÍMITE PLÁSTICO

1. Se tomó 50 g de la fracción de muestra de suelo seco que pasó por el tamiz N° 40 (abertura 0,42 mm) del W. S. Tyler test Sieve.
2. La muestra de suelo fue remojada con agua destilada para formar una pasta plástica esférica de aproximadamente 2 cm de diámetro.

3. Sobre una superficie limpia, lisa y plana se hizo rodar la pasta con las palmas de las manos y los pulgares para moldear cilindros de 3 mm de diámetro y 15 cm de largo. El cilindro no debe presentar agrietamientos ni se debe romper en segmentos, caso contrario se repite el procedimiento.
4. El cilindro fue cortado en fracciones de aproximadamente 5 cm de largo, tal como se muestra en la Figura 3.4, y se colocaron en cápsulas metálicas para determinar su contenido de humedad (%).
5. El contenido de humedad (%) de los cilindros se determinó tal como se describió en el numeral 3.1.1.1. Finalmente, el límite plástico corresponde al promedio del contenido de humedad (%) determinados en los cilindros.

**FIGURA 2.5 Amoldamiento de cilindros**



El procedimiento descrito se realizó por duplicado para verificar la confiabilidad de los datos. La Tabla 3.3 presenta los valores registrados en este ensayo.

**TABLA 3.3 Límite plástico del suelo**

<b>Prueba No</b>	<b>Peso Cápsula (g)</b>	<b>Peso Húmedo (g)</b>	<b>Peso Seco (g)</b>	<b>Humedad (%)</b>
Replica 1	5,41	6,38	6,24	16,87
Replica 2	5,43	6,63	6,45	17,65
<b>Promedio</b>				<b>17</b>

La Tabla 3.4 presenta un resumen de los límites de plasticidad del suelo y el Índice de Plasticidad (IP) calculado con la ecuación 3.2.



**TABLA 3.4 Resumen de resultados, Índice de plasticidad del suelo**

<b>Humedad</b>	<b>LP</b>	<b>LL</b>	<b>IP</b>
21%	17%	28%	<b>11%</b>

LP = Limite Plástico, LL = Límite Líquido y IP = Índice de plasticidad

El índice de plasticidad de la muestra de suelo, calculado con la ecuación 3,2, fue del 11% debido a que se tiene un límite líquido del 28% y un límite plástico del 17%.

### **3.1.1.3 DENSIDAD DE SÓLIDOS**

Su determinación se basó en las normas ASTM D6913-04 (2009), ASTM D7928-16 y ASTM D854-14; el procedimiento empleado fue el siguiente:

1. La muestra de suelo fue pasada por el tamiz N° 40 (0,42 mm) del W. S. Tyler test Sieve, hasta obtener una porción de 80 g de muestra.
2. En una balanza analítica previamente calibrada, (Mettler, precisión  $\pm 0,005$  g), se registró el peso de un matraz volumétrico (Simax) de 500 ml, aforado con agua destilada; se registró su temperatura en la parte baja media y alta, y después se desechó el agua.
3. La muestra de suelo fue colocada en un vaso de precipitación con 100 ml de agua destilada y se agitó por dos minutos a una velocidad de 500 rpm, con ayuda de un agitador de hélice.
4. La suspensión fue colocada en el matraz volumétrico, previamente pesado, y se agregó agua destilada hasta 1/3 de su volumen.
5. Con precaución, se colocó el matraz en posición inclinada ( $60^\circ$ ) y se introdujo la manguera de succión de la bomba de vacío, ver Figura 3.5, para retirar el aire retenido en los poros de la suspensión. La succión del aire se realizó en intervalos de 15 segundos por aproximadamente 10 minutos.
6. El procedimiento de succión fue realizado por 3 veces; en primer lugar, aumentando el volumen de agua en un tercio y finalmente hasta la marca de aforo como se observa en la Figura 3.5
7. Culminado el proceso de succión del aire, se registró el peso del matraz volumétrico con la suspensión de suelo, en la balanza analítica (Mettler).

**FIGURA 2.6 Extracción de aire, densidad de solidos**

8. Posteriormente, de esta suspensión, se determinó el peso seco tal como se realizó en el numeral 3.1.1.1; tomando en cuenta que para retirar toda la suspensión del matraz se utilizó agua destilada.

La Tabla 3.5 muestra los datos obtenidos durante el ensayo de densidad.

**TABLA 3.5 Densidad del suelo**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Volumen del matraz a 20°C	500	ml
Temperatura del ensayo	18	°C
Peso del matraz	159,7	g
Peso del matraz + agua	659	g
Peso suelo seco	78,2	g
Peso del matraz + agua + suelo	705,7	g
Gs* T°C	2,758	g/cm <sup>3</sup>
a = g T°C g 20°C	1,0004	
Gs 20°C promedio	<b>2,759</b>	g/cm <sup>3</sup>

Gs\*: Gravedad específica

De acuerdo a la clasificación de suelos por su densidad, la muestra de suelo analizada corresponde a una arcilla medianamente plástica, ya que el valor de  $G_s$  registrado del ensayo es de  $2,759 \text{ g/cm}^3$  (Ruiz, 2017).

#### **3.1.1.4 GRANULOMETRÍA**

La granulometría de la muestra de suelo se realizó tanto para partículas finas como para gruesas, que se separan por el tamiz N° 200 (0.074 mm). La granulometría de partículas finas ( $<0.074 \text{ mm}$ ) se determinó mediante el ensayo del hidrómetro, mientras que las partículas gruesas fueron ensayadas por tamizado del W. S. Tyler test Sieve.

##### **3.1.1.4.1 GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL FINO**

Se utilizó la metodología dictada por la norma ASTM D6913-04 (2009), ASTM D7928-16 y ASTM D854-14, para la determinación de tamaños de partícula menores al tamiz N° 200 (0.074 mm). En este ensayo se usó un hidrómetro ASTM 151H, que determina la cantidad de partículas (%) que van cayendo libremente a través de un fluido y aquellas que permanecen en suspensión en un tiempo definido. El procedimiento ejecutado fue el siguiente:

1. Previo a este ensayo, se registraron las características específicas del hidrómetro utilizado en este ensayo. La Tabla 3.6 muestra los valores especificados por el fabricante.
2. Se tomó aproximadamente 70 g de muestra de suelo.
3. Se preparó una solución de  $(\text{NaPO}_3)_6$  al 5 %<sub>w</sub>.
4. Se colocó la muestra en un matraz de 250 ml, se agregó 125 ml de la solución de  $(\text{NaPO}_3)_6$  y se dejó reposar por 12 horas.
5. Pasado ese tiempo, se transfirió toda la muestra a un vaso de precipitación (procurando pasar todos los residuos con agua destilada) y se mezcló durante 60 segundos.
6. Esta mezcla fue colocada en una probeta de 1000 ml y se aforó con agua destilada, posteriormente, con ayuda de un tapón se agitó vigorosamente por 60 segundos para poner nuevamente las partículas en suspensión.

7. Enseguida, se ubicó la probeta sobre una mesa y se introdujo lentamente el hidrómetro (ASTM 151H) en la suspensión. Simultáneamente se cronometró el tiempo y se registraron las lecturas del hidrómetro marcadas en el menisco, a los 1, 2, 4, 15, 30, 60, 120, 240, y 1440 minutos, tal como se indica en la Figura 3.6.

Nota: fue necesario determinar la corrección por menisco en el ensayo; para esto se introdujo el hidrómetro en la probeta de 1000 ml aforada con agua destilada y se registró la altura a la cual el menisco se levanta de la superficie del agua. Además, se realizó la corrección por defloculante ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub>, para lo cual se llenó otra probeta de 1000 ml aforada con agua destilada y la misma cantidad de defloculante que se utilizó para preparar la muestra. Se registró lecturas del hidrómetro y sus temperaturas.

**FIGURA 2.7 Determinación de densidad de finos por método del hidrómetro**



**TABLA 3.6 Características específicas del hidrómetro**

Tipo de Hidrómetro	H152	
<b>Características Específicas</b>	<b>Magnitud</b>	<b>Unidad</b>
Peso inicial de la muestra	70	G
Corrección por menisco	0,5	
Volumen del bulbo	60	MI
Hr1	18	Cm
Hr2	7,5	Cm
Lectura máxima (r1)	-5	
lectura mínima (r2)	60	
Área del cilindro de ensayo	30,17	cm <sup>2</sup>

La Tabla 3.7 presenta las lecturas registradas en el hidrómetro ensayadas con el defloculante y las temperaturas, para fines de corrección. Además, la Tabla 3.8

presenta los valores registrados en el ensayo del hidrómetro realizado con la muestra de suelo.

**TABLA 3.7 Lectura del hidrómetro en el defloculante para corrección**

Temperatura (°C)	Lectura $r_m$
18	9
19	8,5

**TABLA 3.8 Granulometría de finos por el método del hidrómetro del suelo**

Tiempo (min)	Lectura $r_m$	Temperatura (°C)	Caída efectiva $H_m$	Diámetro $D_m$	Peso pasante (%)
1	45	18	8,93	0,0429	<b>57,2</b>
2	41,3	18	9,53	0,0314	<b>51,7</b>
4	37,3	18	10,17	0,0229	<b>45,8</b>
15	31	18	11,19	0,0124	<b>36,4</b>
30	28	18	11,67	0,0090	<b>31,9</b>
60	25	18	12,16	0,0065	<b>27,4</b>
120	23	19	12,48	0,0046	<b>25,8</b>
240	21	19	12,81	0,0033	<b>22,8</b>
1440	16	18	13,61	0,0014	<b>14,0</b>

$r_m$ : lecturas en la escala del menisco del hidrómetro

#### 3.1.1.4.2 GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL GRUESO (ARENAS)

Se basó en la metodología de la norma ASTM D-422. El procedimiento ejecutado fue el siguiente:

1. Del ensayo del hidrómetro, se transfirió toda la suspensión sobre un tamiz N° 200 (0.074 mm), para su lavado hasta eliminar todas las partículas finas.
2. Se registró el peso de un recipiente (metálico) en una balanza analítica (Mettler, precisión  $\pm 0,005$  g) y sobre éste se colocó el material retenido en el tamiz N°200, para ser secado en un horno (temperatura  $110 \pm 5$  °C) por

24 horas. Posteriormente, el recipiente metálico fue colocado en un desecador por 2 horas.

3. Luego, se registró el peso inicial de la muestra seca en una balanza analítica.
4. Se ordenó sucesivamente, en forma ascendente, la serie de tamices del W. S. Tyler test Sieve de la siguiente manera: la bandeja de recolección, tamices N°200, N°100, N°40, N°20, N°10 y N°4, y sobre el tamiz N° 4 se transfirió toda la muestra de suelo seco, tal como se muestra en la Figura 3.7.

**FIGURA 2.8 Tamizado de gruesos, a través de la serie Tyler Test Sieve**



5. Se colocó la tapa en la parte superior de la serie de tamices y se agitó manualmente por 15 minutos para su separación por tamaños.
6. Transcurrido ese tiempo, se recogió las fracciones retenidas en cada uno de los tamices por separado y se registró el peso respectivo en una balanza analítica. La Tabla 3.9 presenta los valores experimentales y los resultados calculados de este ensayo.

**TABLA 3.9 Granulometría de gruesos, muestra de suelo**

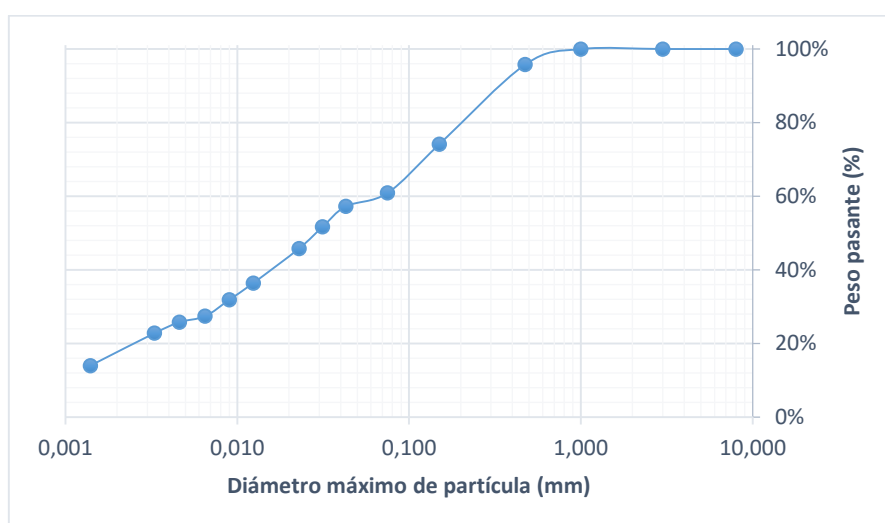
---

---

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Peso retenido (%)	P. Retenido acumulado (%)	Peso pasante (%)
4	4,75	0	0	0	100
10	2	0	0	0	100
20	0,85	0	0	0	100
40	0,425	2,93	4,2	4,2	95,8
100	0,15	15,23	21,8	25,9	74,1
200	0,075	9,2	13,1	39,1	60,9
Bandeja	--	42,64	60,9	100	0
<b>Total</b>		<b>70,00</b>			

La Figura 3.8 muestra la curva de distribución de tamaños de partículas completa, tanto de finos como de gruesos, donde se puede observar que el porcentaje de material fino de esta muestra representa el 60,90%, mientras que el 39,1% representa el material arenoso y limoso. Con estos valores se evidencia que la muestra corresponde a un material fino.

**FIGURA 2.9 Curva granulométrica completa de la muestra de suelo.**



### 3.1.2 PROPIEDADES QUÍMICAS

La caracterización química de la muestra de suelo se desarrolló en el Departamento de Metalurgia Extractiva (DEMEX) de la EPN. Se realizaron ensayos de Difracción de Rayos X (DRX) y Fluorescencia de Rayos X (FRX).

#### 3.1.2.1 DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)

La metodología utilizada para el ensayo está establecida en el Manual de Operación del Difractómetro de Rayos X (D8 ADVANCE); el procedimiento incorporó los siguientes pasos:

1. Se secó 50 g de muestra de suelo en una estufa ( $110 \pm 5$  °C) por 24 horas, posteriormente, se colocó en un desecador por 2 horas.
2. La muestra seca fue introducida en el pulverizador electrónico, limpio y seco (BLEULE-MILL). La pulverización de la muestra duró 1 minuto y enseguida se retiró del mismo, para ser colocada en una funda ziploc etiquetada.
3. Parte de la muestra pulverizada se colocó en un portamuestras de cuarzo con la ayuda de una espátula de laboratorio al ras y a nivel, como se indica en la Figura 3.9a
4. Finalmente, se introdujo el portamuestra en el Difractómetro de Rayos X (D8 ADVANCE) para su respectiva lectura, tal como se muestra en la Figura 3.9b.

**FIGURA 2.10** Ensayo de DRX





Del análisis del difractograma se concluye que existe alto porcentaje de minerales del grupo de plagioclasas (71%), corderita (13%) y muscovita (6%), cuyo informe se presenta en el Anexo 2.

### 3.1.2.2 FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX)

La metodología empleada para este ensayo fue tomada del manual GEO-QUANT M, del equipo de Fluorescencia de Rayos X (S8 Tiguer). El procedimiento para este análisis se detalla a continuación:

1. En un crisol cerámico, limpio y seco, se colocó aproximadamente 20 g de muestra de suelo seco y molido en un mortero de porcelana.
2. EL crisol con la muestra se introdujo en una mufla (SNOL), a 950°C por 30 minutos.
3. Posteriormente, la muestra de suelo se dejó enfriar en un desecador por 3 horas.
4. Sobre un plato de evaporación cerámico, se mezcló 6 g de muestra de suelo calcinado y 30 g de fundente ( $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  al 99,5%) y se colocó en un perlador, ver Figura 3.10, para obtener una perla fundida.
5. La perla fundida fue colocada en el equipo de Florescencia de Rayos X para su respectiva lectura.

**FIGURA 2.11 Elaboración de perla fundida**



Del espectro de fluorescencia resultante, se puede concluir que existe alta presencia de los siguientes materiales: Si (27,89%), SiO<sub>2</sub> (59,67%), Al (8,55%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (16,16%), Fe (3,95) y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (5,65%), cuyo informe se presenta en el Anexo 2.

## 3.2 CARACTERIZACIÓN DEL LODO

### 3.2.1 PROPIEDADES FÍSICAS

La muestra de lodo fue tomada del lecho de secado de la PTAR el Peral, previamente homogenizada y cuarteada. La cantidad de muestra de lodo que se tomó para el estudio experimental fue de 120 kg.

Los parámetros físicos tales como: contenido de humedad (%), densidad de sólidos, límite líquido y plástico, DRX y FRX fueron realizados utilizando la misma metodología para la muestra de suelo, detallada en el inciso 3.1.1. Todas las determinaciones se realizaron por duplicado para favorecer la confiabilidad de los resultados.

#### 3.2.1.1 CONTENIDO DE HUMEDAD (%)

La Tabla 3.10 presenta los valores registrados durante la determinación del contenido de humedad (%) de la muestra de lodo.

**TABLA 3.10 Contenido de humedad (%) del lodo**

<b>Prueba No</b>	<b>Peso cápsula (g)</b>	<b>Peso húmedo (g)</b>	<b>Peso seco (g)</b>	<b>Humedad (%)</b>
Replica 1	10,07	31,11	27,21	22,73
Replica 2	9,27	30,72	26,74	22,79
<b>Promedio</b>				<b>23,0</b>

### 3.2.1.2 ÍNDICE DE PLASTICIDAD

La realización de este ensayo en la muestra de lodo no fue posible debido a sus características. La tabla 3.11 presenta el resumen del resultado Índice de plasticidad para la muestra de lodo.

**TABLA 3.11 Resumen de resultados Índice de plasticidad del lodo**

Humedad	LP	LL	IP
23 %	NA	NA	<b>NA</b>

NA: no aplica, LP = limite plástico, LL =límite líquido y IP = Índice de plasticidad

Este material se considera como no plástico debido que no se pudo calcular sus límites de consistencia.

### 3.2.1.3 DENSIDAD DE SÓLIDOS

La Tabla 3.12 muestra los valores registrados durante el ensayo de densidad del sólido de la muestra de lodo.

**TABLA 3.12 Densidad del sólido: lodo**

Parámetro	Valor	Unidad
Volumen del matraz a 20°C	500	ml
Temperatura del ensayo	19,50	°C
Peso del matraz	163,40	g
Peso del matraz + agua	662,60	g
Peso suelo seco	71,24	g
Peso del matraz + agua + suelo	705,90	g
Gs T°C	2,550	g/cm <sup>3</sup>
a = g T°C g 20°C	1,0002	
Gs 20°C promedio	<b>2,550</b>	g/cm <sup>3</sup>

Gs\*: Gravedad específica

De acuerdo a la clasificación de suelos por su densidad, la muestra de lodo ensayada corresponde a suelo orgánico, ya que el valor de  $G_s$  es de  $2,55 \text{ g/cm}^3$  (Ruiz, 2017).

### 3.2.1.4 GRANULOMETRÍA

#### 3.2.1.4.1 GRANULOMETRÍA DE MATERIAL FINO

La Tabla 3.13 presenta las lecturas registradas en el hidrómetro para fines de corrección. La Tabla 3.14 presenta los datos obtenidos durante el ensayo del hidrómetro en la muestra de lodo.

**TABLA 3.13 Lectura del hidrómetro en el defloculante para corrección**

Temperatura (°C)	Lectura, $r_m$
17	9,5
18	9
19	8

**TABLA 3.14 Granulometría del material fino, hidrómetro, muestra de lodo**

Tiempo (min)	Lectura $r_m$	Temperatura (°C)	Caída efectiva $H_m$	Diámetro $D_m$	Peso Pasante (%)
1	45	18,5	8,69	0,0429	<b>31,9</b>
2	41,3	18,5	9,98	0,0314	<b>25,7</b>
4	37,3	18,5	11,11	0,0229	<b>20,2</b>
15	31	18,5	12,40	0,0124	<b>14,0</b>
30	28	18,5	12,97	0,0090	<b>11,2</b>
60	25	19	13,37	0,0065	<b>10,1</b>
120	23	20	13,53	0,0046	<b>10,4</b>
240	21	19,5	13,78	0,0033	<b>8,2</b>
1440	16	20	14,18	0,0014	<b>7,3</b>

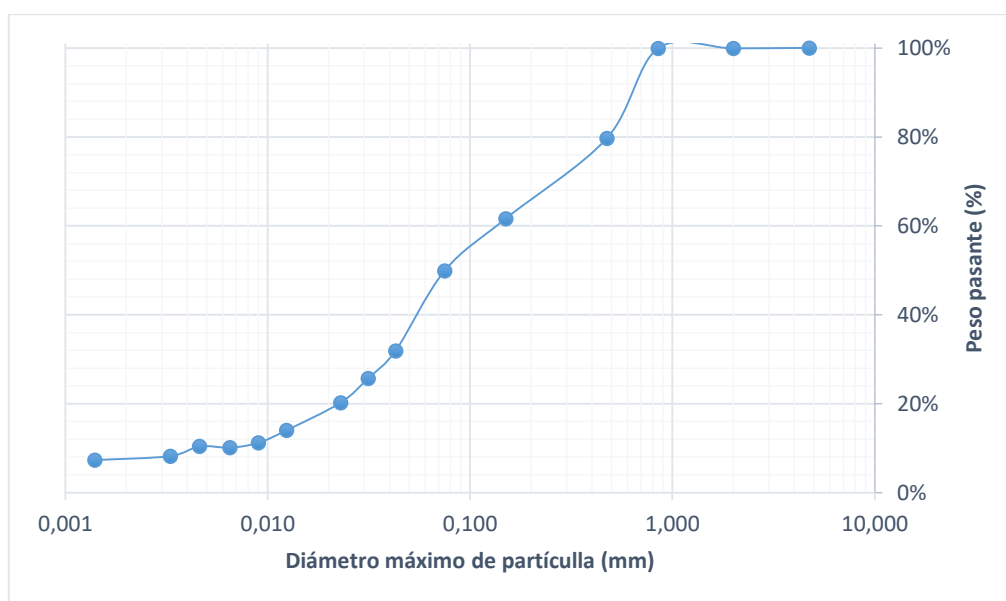
### 3.2.1.4.2 GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL GRUESO

La Tabla 3.15 presenta los valores obtenidos en el ensayo de granulometría de gruesos para la muestra de lodo. La Figura 3.11 muestra la curva granulométrica completa, tanto de finos como de gruesos.

**TABLA 3.15** Granulometría del material grueso, muestra de lodo

N° tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Peso retenido (%)	P. retenido acumulado (%)	Peso pasante (%)
4	4,75	0,00	0,0	0,0	100,0
10	2	0,07	0,1	0,1	99,9
20	0,85	0,00	0,0	0,1	99,9
40	0,425	26,53	20,3	20,3	79,7
100	0,15	23,71	38,4	38,4	61,6
200	0,075	15,35	50,1	50,1	49,9
Bandeja	--	65,34	100,0	100,0	0,0
Total		131,0			

**FIGURA 2.12** Curva granulométrica completa de la muestra de lodo



En la Figura 3.11 se puede observar que el porcentaje de material fino es del 49,90% mientras que el material arenoso y limoso representa el 50,10%.

### **3.2.2 PROPIEDADES QUÍMICAS**

El Anexo 2 presenta el reporte tanto del ensayo de DRX y FRX, de la muestra de lodo, emitido por el Departamento de Metalurgia Extractiva (DEMEX) de la Escuela Politécnica Nacional.

### **3.3 CRETIB DEL LODO RESIDUAL**

El análisis CRETIB del lodo se basó en la norma mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005. Este ensayo se realizó en el Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental (LDIA), de la Escuela Politécnica Nacional. El procedimiento empleado fue el siguiente:

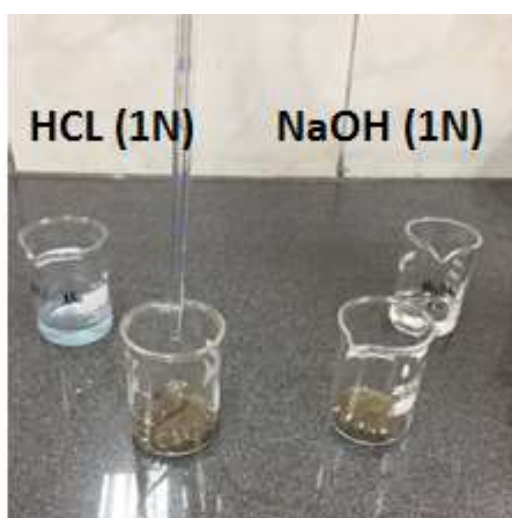
#### **3.3.1 CORROSIVIDAD**

1. En un vaso de precipitación de 200 ml, se colocó 20 g de muestra de lodo, molida y seca, y 80 mL de agua destilada (relación solido-agua 1:4).
2. La mezcla, fue agitada por dos minutos sobre un agitador magnético (Accuplate TM).
3. Sin parar la agitación, se registró el pH de la solución utilizando un pH-metro (OAKTON S10), tal como se muestra en la Figura 3.12. El valor de pH registrado por el equipo fue de 8.95 (a 19,5 °C). La norma mexicana establece que un residuo no es peligroso por su reactividad si en solución presenta  $2,0 < \text{pH} < 12,5$ .

**FIGURA 2.13** Ensayo de corrosividad

### 3.3.2 REACTIVIDAD

1. En un vaso de precipitación de 50 ml se colocó 5 g de muestra de lodo, junto con 5 ml de HCl [1N] (relación sólido-ácido 5:5), tal como se muestra en la Figura 3.13.
2. En otro vaso de precipitación se colocó 5 g de muestra de lodo y 5 ml de NaOH [1N] (relación sólidos-base 5:5), se esperó a que reaccione (ver Figura 3.13).

**FIGURA 2.14** Ensayo de reactividad

3. Observar si hay reacción leve, moderada o violenta, durante la adición del ácido o base, respectivamente. En este procedimiento no se visualizó reacciones químicas o características reactivas.

### 3.3.3 EXPLOSIVIDAD

1. Se colocó aproximadamente 100 g de muestra de lodo seco en un plato de evaporación cerámico y se introdujo en una incubadora (Memmeter), a 110 °C, sin ventilación y 1.03 kg/cm<sup>2</sup> de presión, por el lapso de 60 minutos, tal como se muestra en la Figura 3.14.

**FIGURA 2.15 Ensayo de explosividad**



2. Transcurrido ese tiempo, observar si la muestra presentaba una reacción explosiva o detonante. La muestra de lodo no presentó las características anteriormente mencionadas, en consecuencia, no tiene características de inflamabilidad.

### 3.3.4 TOXICIDAD (TCLP)

1. Se tomó 10 g de muestra de lodo, seco y molido, que ha pasado por el tamiz N° 3/8 (9,5 mm) del W. S. Tyler test Sieve.
2. En un vaso de precipitación, limpio y seco, se colocó los 10 g de muestra y se añadió 200 ml de solución de CH<sub>3</sub>-COOH a pH = 4,5 (relación sólido-



líquido 20:1), posteriormente se mezcló sobre un agitador magnético (Accuplate TM), por 24 horas a 30 rpm.

3. El lixiviado TCLP se filtró a través de fibra de vidrio de abertura 0,8  $\mu\text{m}$ .
4. En el filtrado extraído (extracto TCLP), se analizaron las concentraciones presentes de los siguientes metales: Cu, Zn y Ni, por el método de Absorción Atómica, (Espectrofotómetro Perkin, modelo Analyst 300). El reporte de este ensayo se presenta en el Anexo 2.

### 3.3.5 INFLAMABILIDAD

1. Se colocó 200 g de muestra de lodo seco en un mortero de porcelana y se introdujo una incubadora I (Memmeter), a 110 °C, sin ventilación por 60 minutos.
2. Seguidamente, utilizando el pistilo del mortero, se molió la muestra, generando fricción, tal como se muestra en la Figura 3.15.

**FIGURA 2.16** Ensayo de inflamabilidad



3. Observar si por la fricción se generan vapores o chispas que caracterizan la inflamabilidad. La muestra de lodo no presentó las características anteriormente mencionadas, en consecuencia, no tiene características de inflamabilidad.

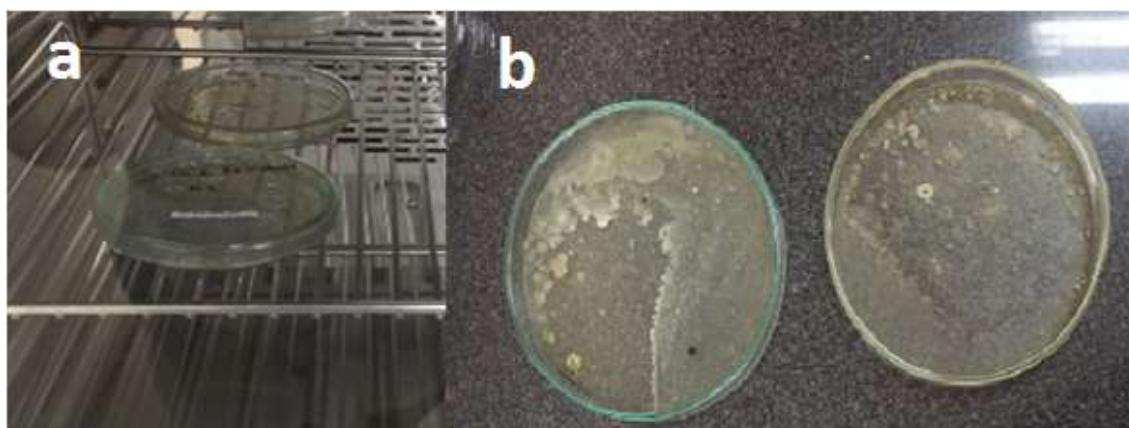
### 3.3.6 BIOLÓGICO-INFECCIOSO

1. Se preparó una suspensión de lodo colocando en un tubo de ensayo, limpio y estéril, 1 g de muestra de lodo con 8 mL de solución salina de NaCl al 0,9%. Agitar vigorosamente la suspensión por 30 segundos y dejar reposar.
2. Se colocó el sobrenadante en dos cajas Petri, 100  $\mu$ L en cada una, con agar previamente esterilizado.
3. Utilizando un asa de platino esterilizada, como se muestra en la Figura 3.16, se sembró el cultivo sobre toda la superficie del agar, moviendo el asa de izquierda a derecha.

**FIGURA 2.17 Siembra de muestra de lodo sobre la caja petri**



4. Después de la siembra, las cajas petri cultivadas, fueron tapadas, etiquetadas e incubadas a 37 °C por 48 horas en una incubadora (Memmeter), tal como se muestra en la Figura 3.17a.
5. Transcurrido ese tiempo, observar la formación de colonias, tal como se muestra en la Figura 3.17b, y registrar su número. La Tabla 3.16 presenta el número de colonias formadas en las dos replicas.

**FIGURA 2.18 Incubación y formación de las colonias bacterianas****TABLA 3.16 Tipo y número de colonias bacterianas, muestra de lodo**

Nombre	Tipo de colonia	Número de colonia
Réplica 1	<i>Penicillium fungus verde</i>	24
Réplica 2	<i>Penicillium fungus verde</i>	19

En las dos réplicas se observó la presencia de colonias de hongos verdes pertenecientes al género *Penicillium*, característicos de las aguas residuales. Estos microorganismos no se encuentran enlistados en la norma mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005.

### 3.4 ELABORACIÓN DE LOS LADRILLOS DE MEZCLA

En el Ecuador, la elaboración de los ladrillos sigue una metodología netamente empírica, que ha sido desarrollada durante décadas con resultados positivos. Estos resultados han sido comprobados en el presente estudio, puesto que para la elección de la ladrillera donde se elaboraron los ladrillos de mezcla experimentales, se adquirieron varios ladrillos comerciales y se verificó en laboratorio a través de ensayos, el cumplimiento o no de cada uno de los parámetros establecidos en la norma NTE-INEN 297.

La ladrillera que se eligió para la presente investigación, está ubicada en la ciudad de Ibarra (lugar del que se tomó la muestra de suelo) y como es de esperar, no

dispone de un documento técnico que detalle el proceso de elaboración del ladrillo, por lo que se realizó un levantamiento de información in situ sobre el proceso. La Figura 3.19 presenta el diagrama de flujo de las operaciones unitarias para la elaboración del ladrillo.

### **3.4.1 EXTRACCIÓN DEL SUELO**

Este proceso se realizó con una máquina excavadora que extrae la arcilla del yacimiento y se transporta en volquetas a la ladrillera.

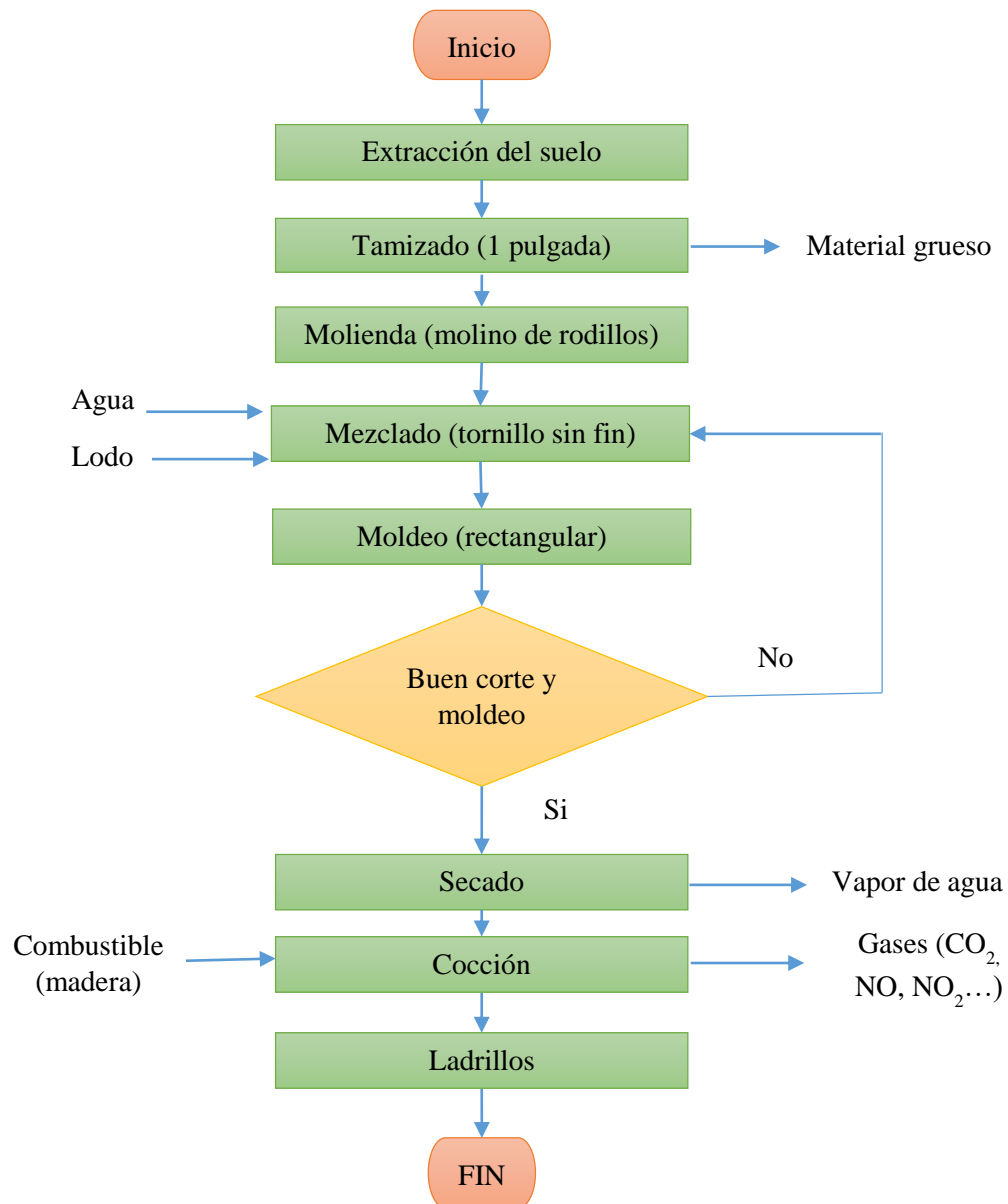
### **3.4.2 TAMIZADO**

En este proceso se separa el material fino del grueso; a través de un tamiz vibratorio inclinado, de 25,6 mm de abertura, tal como se muestra en la Figura 3.18.

**FIGURA 2.19 Tamizado del suelo**



**FIGURA 2.20** Proceso de elaboración de ladrillos de mezcla



### 3.4.3 MOLIENDA

El material tamizado pasa a un molino mecánico de rodillos, para reducir el tamaño de partícula hasta aproximadamente 4.7498 mm de diámetro. La Figura 3.20 muestra el material molido.

**FIGURA 2.21 Suelo molido**

#### 3.4.4 MEZCLADO

El suelo molido se separó en 5 fracciones, tal como se muestra en la Figura 3.21, para ser mezclado con los porcentajes de lodo residual presentados en la Tabla 3.17, columna 3. La mezcla se realizó manualmente, utilizando palas, asegurándose que el lodo quede distribuido homogéneamente. Fue necesario añadir agua, en cada montón, hasta obtener una pasta consistente con contenido de humedad aproximada del 40%.

**FIGURA 2.22 Mezclas suelo-lodo**

**TABLA 3.17 Mezclas porcentuales de materia prima: lodo y suelo**

Mezcla	Lodo (%)	Peso del lodo (kg)	Peso del suelo (kg)
A	5	5	95
B	10	10	90
C	15	15	85
D	20	20	80
E	30	30	70

### 3.4.5 MOLDEADO Y CORTADO.

El material húmedo fue colocado en la tolva, para pasar por un tornillo sin fin que empuja el material a través de una boquilla, generando un bloque rectangular de la mezcla a presión.

La pasta rectangular, que proviene del moldeado, fue cortada mediante un conjunto de cables, diseñados con las dimensiones características de los ladrillos, como se muestra en la Figura 3.22. Posteriormente, los ladrillos se separan y se transportan manualmente al área cubierta para el proceso de secado antes de su cocción.

**FIGURA 2.23 Cortado de pasta de ladrillo**

### 3.4.6 SECADO

Los ladrillos fueron ubicados en un lugar con cubierta, tipo invernadero, para su secado, por aproximadamente 21 días. La Figura 3.23 muestra el sitio del secado de los ladrillos, posteriormente éstos fueron almacenados previo a su cocción.

**FIGURA 2.24 Secado del ladrillo**



### 3.4.7 COCCIÓN

Para la cocción de los ladrillos, éstos fueron ubicados en el horno de combustión continua, de llama directa como se muestra en la Figura 3.24; como combustible se utilizó leña de eucalipto madura (19228 kJ/kg) que genera temperaturas de combustión mayores a 1000°C; la quema del ladrillo duró 94 horas y posteriormente se dejó enfriar *in situ* por 4 días.

**FIGURA 2.25 Cocción de ladrillos**





### **3.5 ENSAYOS DE LABORATORIO EN LADRILLOS DE MEZCLA: LODO-SUELO**

Una vez horneados los 5 lotes de ladrillos, éstos fueron transportados al LEMSUR de la EPN para determinar el grado de cumplimiento con la norma NTE-INEN 297, a través de los ensayos requeridos por esta norma, que clasifica y avala la utilidad de los ladrillos según los siguientes parámetros:

- *RESISTENCIA MÍNIMA A LA COMPRESIÓN*
- *RESISTENCIA MÍNIMA A LA FLEXIÓN*
- *ABSORCIÓN MÁXIMA DE HUMEDAD*

Antes de iniciar los ensayos, todas las muestras fueron etiquetadas, medidas, pesadas y posteriormente preparadas.

#### **3.5.1 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

Se siguió la metodología establecida por la norma NTE-INEN 294; los pasos ejecutados se describen a continuación:

##### Preparación

1. Utilizando una sierra eléctrica, maraca Diamond Cut, se cortaron 5 ladrillos secos y sin irregularidades, a la mitad por su ancho, como se observa en la Figura 3.25.
2. Posteriormente, se preparó una mezcla de cemento Portland, arena fina pasada por el tamiz N° 30 (relación peso 6:4) y agua, para refrentar las muestras de ladrillos en las dos caras mayores.
3. Sobre una superficie plana se colocó uniformemente aceite, como antiadherente. Después, con la ayuda de un bailejo, se colocó la mezcla refrentante al ras de la superficie y sobre ésta se ubicó el ladrillo, en su cara mayor, tal como se observa en la Figura 3.26.

**FIGURA 2.26 Cortado de las muestras de ladrillos**

4. Se retiró el exceso de mezcla refrentante de las aristas y se esperó 6 horas hasta su fraguado. Este procedimiento se repitió para el refrentado de su cara paralela.

**FIGURA 2.27 Refrentado de los ladrillos**

### Ensayo

1. Sobre la prensa hidráulica (CMH 120), encendida y calibrada, se colocó una placa metálica de mayor área que el ladrillo y sobre ésta se ubicó al ladrillo, centrado con respecto a la placa y rotula. Posteriormente, se colocó una segunda placa metálica centrada sobre el ladrillo como se muestra en la Figura 3.27a.

2. Con la ayuda del volante de la prensa se ajustó las placas y el ladrillo, se inició la aplicación de la carga hasta su ruptura (fallo del material), tal como se muestra en la Figura 3.27b. La ecuación 3.3 permite calcular el módulo de la resistencia a la compresión.

$$C = P/A \quad (3.3)$$

Donde:

C= resistencia a la compresión, en MPa

P= carga de rotura, en N

A= área de sección, en  $(\text{mm})^2$

**FIGURA 2.28 Ensayo de compresión**



La Tabla 3.18 presenta los valores registrados del ensayo de resistencia a la compresión del promedio de 5 unidades de ladrillos con los siguientes porcentajes de enmienda de lodo: 5%, 10%, 15%, 20% y 30%, así como el resultado del módulo de resistencia a la compresión de los ladrillos aplicando la ecuación 3.3.

**TABLA 3.18 Resistencia a la compresión**

Lodo (%)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área, A (mm) <sup>2</sup>	Carga de rotura, P (MPa)	Resistencia a la compresión, C (MPa)
5	174,7	164,5	83,2	28729,4	314897,52	<b>10,97</b>
10	174,5	164,6	83,3	28705,7	210980,28	<b>7,38</b>
15	174,4	164,6	83,2	28698,0	155841,56	<b>5,42</b>
20	174,4	164,6	83	28689,3	151529,56	<b>5,29</b>
30	174,2	164,4	82,9	28638,5	123846,52	<b>4,32</b>

### 3.5.2 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Para éste ensayo se siguió la metodología establecida en la norma NTE-INEN 295; la cual se basa en aplicar una carga progresiva de flexión a un ladrillo, hasta determinar su resistencia máxima admisible. El procedimiento empleado fue el siguiente:

#### Preparación

- Únicamente se necesita asegurarse que las muestras estén secas y sin defectos apreciables.

#### Ensayo

1. Sobre la máquina de flexión (TRITEST 50), previamente calibrada, se colocó el ladrillo sobre dos varillas de hierro de soporte situados en la cara mayor, según se muestra en la Figura 3.28.
2. La pieza superior de la prensa electrónica desciende aplicando una carga tal que la velocidad del cabezal no supere los 1,5 mm/s, hasta la rotura del ladrillo, tal como se muestra en la Figura 3.29. La ecuación 3.4 permite calcular el módulo de rotura de un ladrillo.

$$R = \frac{3 * G * l}{2 * b * D^2}$$

(3.4)

Donde:

R = módulo de rotura, en MPa.

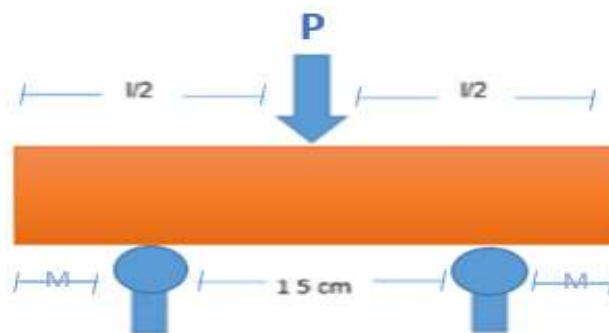
G = carga de rotura, en N.

l = distancia entre apoyos, en mm.

b = ancho de cara a cara de la muestra, en mm.

D = promedio del espesor de cara a cara de la muestra, en mm.

**FIGURA 2.29 Posición de varillas de hierro en el ladrillo**



**FIGURA 2.30 Ensayo de resistencia a la flexión**



La Tabla 3.19 muestra los valores registrados del ensayo de resistencia a la flexión del promedio de 5 unidades de ladrillos, con porcentajes de enmienda de lodo: 5%, 10%, 15%, 20% y 30%, así como el resultado del módulo de rotura aplicando la ecuación 3.4.

**TABLA 3.19 Resistencia a la flexión**

Lodo (%)	Ancho, b (mm)	Espesor, D (mm)	Distancia entre apoyos, $l$ (mm)	Carga de rotura, G (N)	Módulo de rotura (MPa)
5	162,6	81,1	148,4	10068	<b>2,09</b>
10	162,2	80,8	149,2	8194	<b>1,72</b>
15	162,4	80,6	149,6	6374	<b>1,36</b>
20	162,7	81,1	151,0	5418	<b>1,15</b>
30	163,1	81,3	151,8	5488	<b>1,16</b>

### 3.5.3 DETERMINACIÓN DE ABSORCIÓN MÁXIMA DE HUMEDAD

Se siguió la metodología establecida por la norma INEN NTE 296; se basa en determinar la diferencia del peso de un ladrillo seco y del mismo después de ser sumergido en agua por 24 horas. El ensayo se ejecutó siguiendo los pasos descritos a continuación:

1. Los ladrillos fueron colocados en un horno ( $110 \pm 5$  °C) por 24 horas, tal como se muestra en la Figura 3.30.

**FIGURA 2.31 Secado de ladrillos**



2. Utilizando una balanza de plato electrónica (Pesamatic), se registró el peso de los ladrillos.
3. Posteriormente, los ladrillos fueron sumergidos en agua durante 24 horas.
4. Seguidamente, los ladrillos fueron retirados del agua y secados con una toalla húmeda, para registrar su nuevo peso; todo este procedimiento no debe superar los 5 minutos en su ejecución. La ecuación 3.5 permite calcular la absorción máxima de humedad en un ladrillo.

$$\% \text{ Absorción} = \frac{P_2 - P_1}{P_1} \times 100 \quad (3.5)$$

Donde:

P<sub>2</sub>: Peso húmedo del ladrillo, en kg

P<sub>1</sub>: Peso seco del ladrillo, en kg

La Tabla 3.20 muestra los datos del ensayo de absorción de humedad, del promedio de 5 unidades de ladrillos con porcentajes de enmienda de lodo: 5%, 10%, 15%, 20% y 30%, así como el resultado de la absorción máxima de humedad determinada aplicando la ecuación 3.5.

**TABLA 3.20 Absorción máxima de humedad**

Lodo (%)	Peso seco, P <sub>1</sub> (kg)	Peso húmedo, P <sub>2</sub> (kg)	Absorción máxima de humedad (%)
5	7305,22	8227,8	<b>11,21</b>
10	7122,46	8387,0	<b>15,08</b>
15	6351,04	7488,8	<b>15,19</b>
20	6553,96	7856,5	<b>16,58</b>
30	6259,78	7833,0	<b>20,08</b>

El Anexo 4 contiene más evidencia del registro fotográfico que se realizó durante la ejecución de los diferentes ensayos.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL LODO Y SUELO

La Tabla 4.1 muestra los resultados obtenidos durante la caracterización tanto de la muestra de lodo como del suelo, para determinar la similitud o diferencia entre sí; fue necesaria esta información puesto que constituyen la materia prima para la elaboración de los ladrillos.

**TABLA 4.1 Caracterización del lodo y suelo**

Parámetro	Suelo	Lodo
Contenido de humedad (%)	21,32	23
Densidad de sólidos (g/cm <sup>3</sup> )	2,75	2,55
Índice de Plasticidad (%)	11	NA
Granulometría de finos (%)	60,90	49,10
Granulometría de gruesos (%)	39,10	50,90
SUCS	CL	OL

\* SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

De acuerdo a la caracterización de los materiales se puede observar que:

- La densidad determinada en laboratorio tanto de la muestra de suelo como de lodo fueron 2,758 g/cm<sup>3</sup> y 2,55 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente, de acuerdo con Ruiz (2017), se clasifican como arcilla poco plástica y suelo orgánico, respectivamente.
- El índice de plasticidad de la muestra de suelo fue del 11%, de acuerdo con Das (2013), sugiere que se trata de un material ligeramente plástico. De manera distinta en la muestra de lodo, no se pudo calcular este índice debido a que es un material que no presentó límites de consistencia.
- Del análisis granulométrico de la muestra de suelo, se puede observar que el mayor porcentaje del material corresponde a partículas de tamaño fino



(<0,075 mm), es decir arcillas y limos (60,90%), y en menor proporción las arenas (39,10%, >0,0075 mm), lo cual corrobora su utilidad en la fabricación de mampuestos. Por otro lado, la muestra de lodo presenta un mayor porcentaje de material grueso de 50,10% (>0,075 mm), que corresponde a las arenas, disminuyendo el porcentaje de arcillas y limos (49,90%), provocando reducción de la plasticidad, analizada en el punto anterior.

- Con la información antes detallada, se clasificó a las muestras de suelo y lodo según el Sistema Único de Clasificación de Suelos (SUCS), debido a que ésta se utiliza para cimentaciones. La muestra de suelo se encuentra en la clasificación de arcilla de baja plasticidad (CL), por tratarse de un material con más del 50% de partículas que pasaron la malla N° 200 (<0,075 mm), tiene un límite líquido menor al 50% y un límite plástico mayor al 7%. La muestra de lodo se clasificó como suelo orgánico de baja plasticidad (OL), siguiendo la misma metodología.

## 4.2 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL LODO Y SUELO

Las Tablas 4.2 y 4.3 presentan los resultados de los minerales y elementos obtenidos de los ensayos de DRX y FRX, tanto en la muestra de lodo como en la muestra de suelo.

**TABLA 4.2 Análisis Difracción de Rayos X**

<b>Mineral</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Contenido (%) M. lodo</b>	<b>Contenido (%) M. Suelo</b>
Grupo Plagioclasas	(Na,Ca)Al(Si,Al)Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	72	71
Caolinita	Al <sub>2</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )(OH) <sub>4</sub>	7	-
Corderita	Mg <sub>2</sub> Al <sub>4</sub> Si <sub>5</sub> O <sub>18</sub>	3	13
Moscovita	KAl <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>2</sub>	3	6
Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	2	4
Dolomita	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	12	-

\* M: muestra

**TABLA 4.3 Análisis Fluorescencia de Rayos X**

Elemento	Contenido (%)	Contenido (%)
	Lodo	Suelo
Si	19,65	27,89
Al	6,32	8,55
Fe	3,2	3,95
Ca	6,44	3,16
Na	2,09	2,32
Mg	1,19	0,97
K	1,89	0,87
Ti	0,35	0,36
Cl	-	0,06
Mn	0,05	0,08
Sr	0,05	0,06
P	0,17	0,04
S	0,15	--
Cu	0,02	0,01
Zn	0,03	0,01
Ni	79,17 ppm	--

De los resultados de los ensayos de DRX y FRX, de las muestras de lodo y suelo, se observa que están formadas por minerales y elementos similares, teniendo como principal constituyente al grupo de las plagioclasas en aproximadamente 71%, pero existen diferencias en otros minerales que pueden ser de influencia en la calidad del producto final de la experimentación, especialmente por las siguientes razones:

- La caolinita  $Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$ , que se encuentra únicamente en la muestra de lodo residual en 7% en peso, podría ser parte de insecticidas presentes en el agua residual por actividades productivas del sector central de Ambato.
- La dolomita  $[CaMg(CO_3)_2]$ , con el 12% en peso en el lodo y su ausencia en el suelo, podría atribuirse al proceso de estabilización del lodo en el lecho de secado en EP-EMAPA-A, en donde se usa de cal viva (CaO) impura, para subir el pH y la temperatura de esta suspensión, creando condiciones hostiles para la supervivencia de microorganismos y evitando el desarrollo normal de sus actividades metabólicas, que acompañado de la acción de la

radiación solar, ayudan a la eliminación de organismos infecciosos, reducción de olores objetables y vectores.

- La metamorfización de los suelos arcillosos, hace posible la formación de corderita  $Mg_2Al_4Si_5O_{18}$  en la muestra de suelo, en relación 3 a 1 comparado con la muestra de lodo.

### 4.3 CRETIB DEL LODO

Fue necesario descartar que el lodo residual, utilizado en el presente estudio, sea considerado como un residuo peligroso, por lo que se realizó su caracterización en cuanto a corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y biológico-infeccioso. La Tabla 4.4 presenta el resumen de la caracterización CRETIB realizado al lodo.

**TABLA 4.4 Análisis CRETIB del lodo**

<b>Característica</b>	<b>Lodo</b>
Corrosividad	Negativo
Reactividad	Negativo
Explosividad	Negativo
Toxicidad	Negativo
Inflamabilidad	Negativo
Infeccioso	<i>Penicillium fungus verde</i>

En el ensayo de corrosividad se evidenció que el pH del lodo fue de 8.95 (a 19,5 °C), valor menor a 12,5 establecido en la norma mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005. En el ensayo de reactividad no se pudo evidenciar reacción alguna tanto con la solución de HCl 1 N y NaOH 1N. En el ensayo de explosividad e inflamabilidad, bajo la presión de 1,03 kg/cm<sup>2</sup>, no se evidenció ignición alguna, el lodo en contacto con la cal viva reaccionó exotérmicamente ( $\approx 90^\circ\text{C}$ ), eliminando casi todos los elementos altamente volátiles. Se evidenció la presencia de colonias del hongo *Penicillium fungus verde*, debido al proceso de descomposición de la materia orgánica en el lodo, el cual no es considerado como un agente infeccioso. Para

analizar la toxicidad del lodo, se ejecutó el ensayo TCLP; la Tabla 4.5 presenta los analitos metálicos determinados en el lixiviado.

**TABLA 4.5 Ensayo TCLP del lodo**

<b>Analito</b>	<b>Lodo (mg/L)</b>
Zinc	0,05
Cobre	0,05
Níquel	0,44

De acuerdo con la Tabla 2 de la norma mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 (ver Anexo 3), que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos, se verificó que ninguno de los metales presentes en el lodo están en el listado de “LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS CONSTITUYENTES TÓXICOS EN EL EXTRACTO PECT”.

#### **4.4 LADRILLO DE MEZCLA**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia mínima a la flexión, resistencia mínima a la compresión y absorción máxima de humedad, aplicada a los ladrillos de mezcla, con sus respectivos análisis.

##### **4.4.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

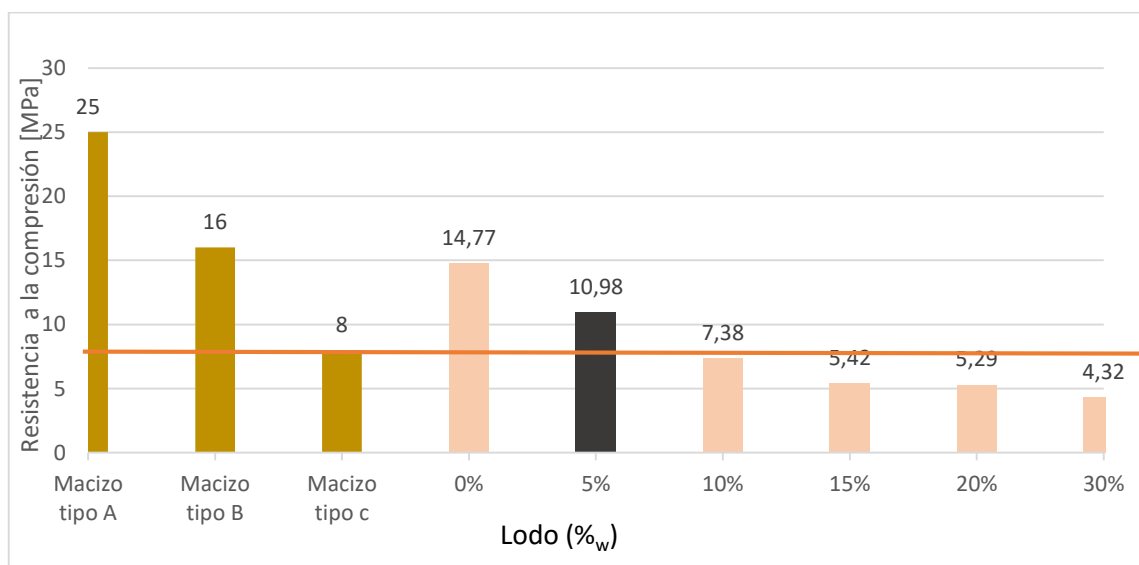
La Tabla 4.6 presenta los resultados del ensayo de resistencia a la compresión para el promedio de cinco unidades de ladrillos de mezcla, con los siguientes porcentajes de enmienda de lodo: 0% (patrón), 5%, 10%, 15%, 20% y 30%.

**TABLA 4.6 Resistencia mínima a la compresión de los ladrillos**

Enmienda de lodo (%)	Resistencia a la compresión (MPa)
Patrón	14,77
5	10,98
10	7,38
15	5,42
20	5,29
30	4,32

De los resultados de la Tabla 4.6, se puede observar que mientras mayor es el porcentaje de enmienda de lodo, su resistencia a la compresión baja; en los ladrillos de mezcla con el 5% de enmienda, la resistencia baja aproximadamente en 4 MPa, es decir 26% respecto al patrón; en los ladrillos de mezcla del 10% la resistencia baja a 7 MPa, la mitad del patrón, y para los tres últimos casos (15%, 20% y 30%) se obtiene resistencias muy bajas, aproximadamente a un tercio con respecto al patrón. La Figura 4.1, muestra barras con el valor de la resistencia a la compresión tanto de ladrillos macizos clase A, B y C como de los distintos lotes de ladrillos de mezcla elaborados en el presente estudio, según la norma NTE-INEN 297 y la resistencia.

**FIGURA 3.1 Resistencia a la compresión de los ladrillos**



En la Figura 4.1 se observa que los ladrillos sin enmienda de lodo (patrón) caen en la categoría de macizos tipo C, al igual que los ladrillos con el 5% de agregado de lodo, con módulo de resistencia a la compresión de 10,98 MPa, sobrepasando en 80% a lo indicado en la norma. Los ladrillos de mezcla con el 10%, 15%, 20% y 30%, no entraron bajo esta categoría, y la norma los clasifica como ladrillos huecos tipo D.

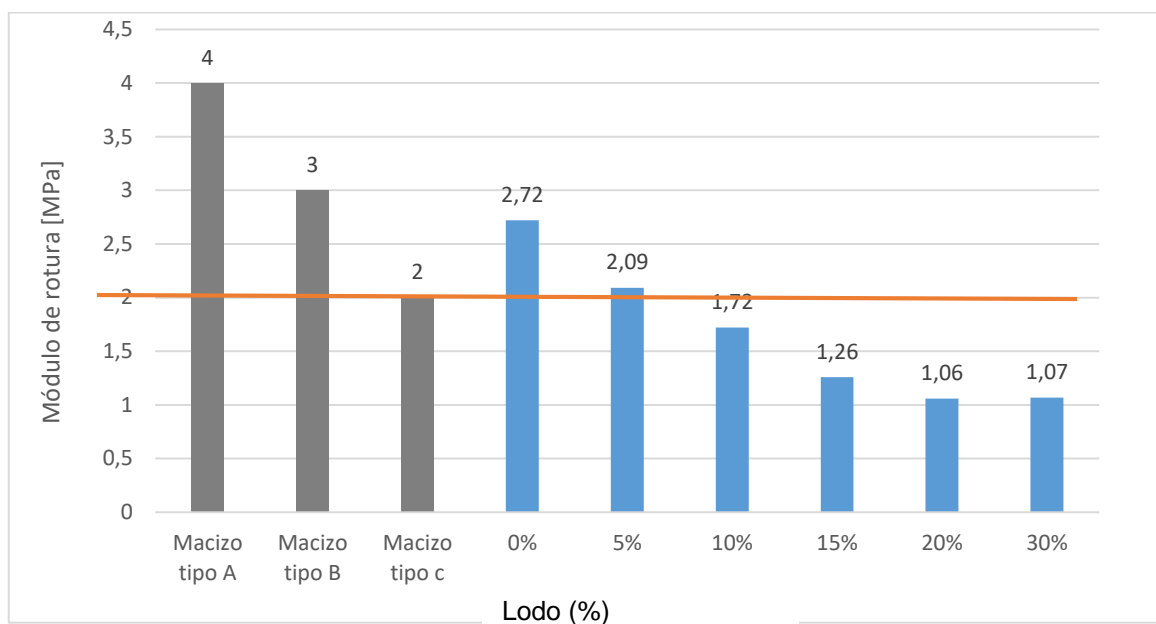
#### 4.4.2 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

La Tabla 4.7 muestra los resultados del ensayo de resistencia a la flexión para el promedio de cinco unidades de ladrillos de mezcla con porcentajes de agregado de lodo: 0% (patrón), 5%, 10%, 15%, 20% y 30%.

**TABLA 4.7 Resistencia mínima a la flexión de los ladrillos**

<b>Enmienda de lodo (%)</b>	<b>Resistencia a la flexión (MPa)</b>
Patrón	2,84
5	2,01
10	1,66
15	1,31
20	1,11
30	1,11

De los resultados de la Tabla 4.7 se observa que la carga disminuye con presencia del lodo, desde 2,84 MPa (0% lodo) hasta 1,11 MPa (30% lodo), es decir baja el 60%. Para el agregado del 5% de lodo, la resistencia a la flexión disminuye en casi 1 MPa, 30% en comparación con el ladrillo patrón, y hasta un tercio de su resistencia con el 20% y 30% de mezcla. En la Figura 4.2 se puede observar una gráfica de barras de los distintos lotes de ladrillos versus su valor de resistencia a la flexión, siendo las barras de color gris los estándares para clasificar un ladrillo según su resistencia a la flexión como macizos A, B o C.

**FIGURA 3.2 Resistencia a la flexión de los ladrillos**

De la Figura 4.2 se puede comprobar que los ladrillos de mezcla con el 5% de lodo cumplen con la normativa vigente, ya que presenta un módulo de rotura de 2,09 MPa, y se pueden denominar como ladrillo macizo tipo C. Los ladrillos de mezcla con el 10%, 15%, 20% y 30%, son catalogados según la norma como ladrillos hueco tipo D.

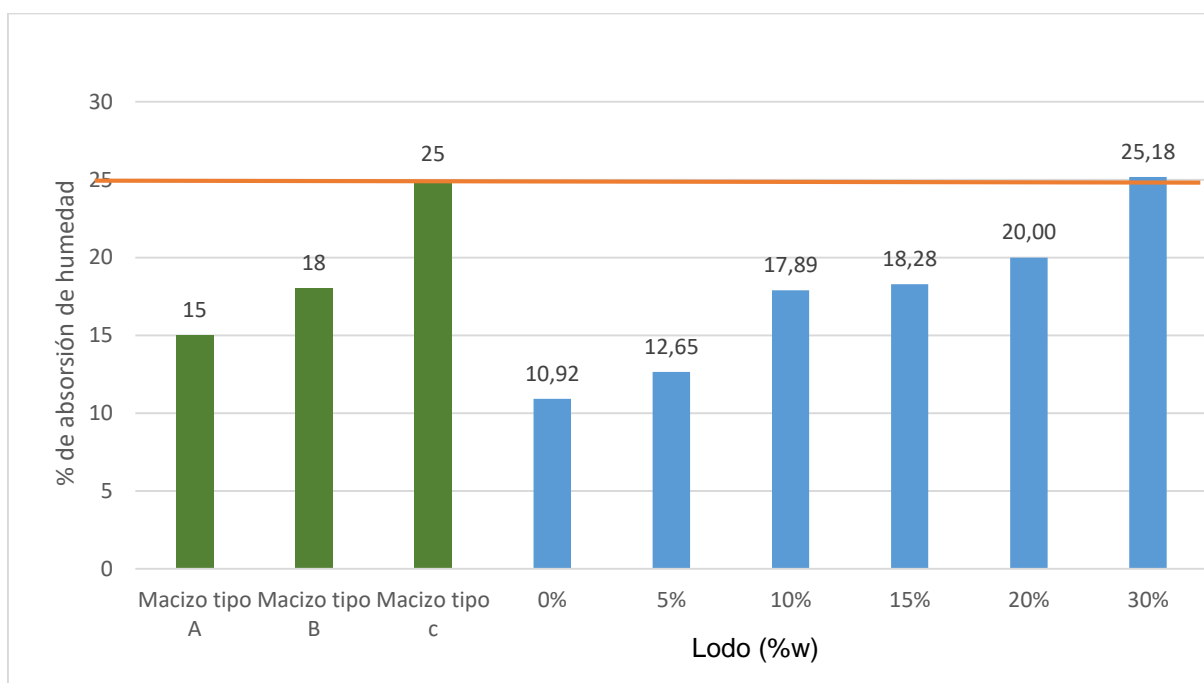
#### 4.4.3 ABSORCIÓN MÁXIMA DE HUMEDAD

La Tabla 4.8 presenta los resultados del ensayo de absorción de humedad, del promedio de 5 ladrillos de mezcla, con porcentajes de enmienda de lodo: 0% (patrón), 5%, 10%, 15%, 20% y 30%.

**TABLA 4.8 Absorción máxima de humedad de los ladrillos**

Enmienda de lodo (%)	Absorción de humedad (%)
Patrón	10,92
5	12,65
10	17,89
15	18,28
20	20,00
30	25,18

De la Tabla 4.8 se observa que la absorción de humedad en los ladrillos de mezcla aumenta a medida que se incrementa el agregado de lodo, lo que hace posible la aparición de microporos en donde se retiene la humedad, haciendo que aumente en 2,3 veces más para los ladrillos con el 30% de lodo con respecto al patrón.

**FIGURA 3.3 Absorción máxima de humedad**



En la Figura 4.3 se observa una gráfica de barras de los distintos lotes de ladrillos y su absorción de humedad, siendo los de color verde los porcentajes establecidos como macizos tipo A, B, y C, se evidenció que para los del 5% al 15% de enmienda pueden clasificarse como ladrillos macizos clase A; el del 20% como macizo clase B, y por último el del 30% como macizo clase C. Este ensayo es el único en el que cada uno de los lotes de ladrillos entra en una clasificación de ladrillo macizo tipo C de acuerdo con la norma NTE-INEN 297 con respecto a la absorción de humedad.

En resumen, se puede decir que únicamente los ladrillos con el 5% de agregado cumplen con todos los parámetros de calidad requeridos en la norma NTE-INEN 297: resistencia mínima a la compresión, resistencia mínima a la flexión y absorción de humedad, y se clasifican como macizos tipo C.

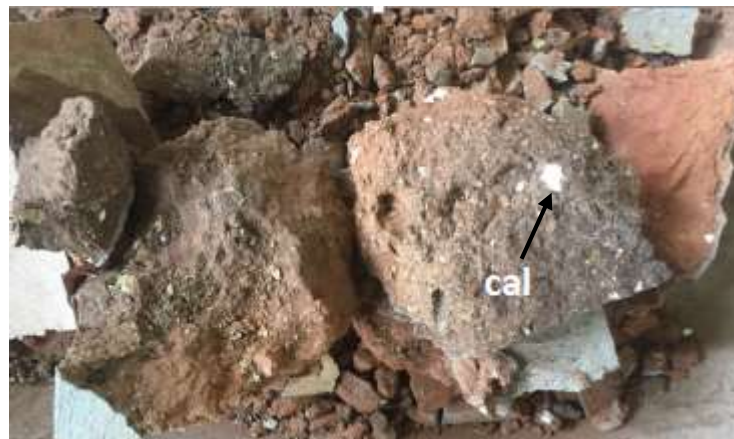
A pesar que el ensayo de absorción de humedad indica que los ladrillos del 5% son macizos de tipo A, los ensayos de resistencia a la compresión y flexión indican que son ladrillos tipo C, cayendo en ésta categoría inclusive los ladrillos patrón.

Se pudo evidenciar que la presencia de agregado de lodo bajó considerablemente la resistencia de los ladrillos y aumentó la absorción de humedad, lo que difiere con los resultados alcanzados en las investigaciones de Muñoz (2016) y Orellana (2015), quienes utilizaron lodos producto del tratamiento de agua residual y lodos del proceso de tratamiento de aguas crómicas, respectivamente; en estos estudios se determinó que la resistencia de los ladrillos de mezcla aumentó con la adición de hasta el 6% y 10% de enmienda, respectivamente, lo cual se justifica por:

- El tratamiento del lodo residual, en los estudios realizados por Orellana (2015) y por Muñoz (2016), se utilizaron lodos estabilizados a diferencia del presente trabajo, en el cual únicamente se añadió una capa de cal; esto influye básicamente en 2 aspectos:
  - a) La mayor cantidad de materia orgánica en los lodos residuales no estabilizados del presente trabajo, hizo posible la generación de espacios intersticiales y microporos, durante el proceso de cocción de los ladrillos

- b) La dolomita presente en la cal (comercial), utilizada para la estabilización de los lodos residuales tiene dureza baja, provocando una disminución de la resistencia de los ladrillos. Las incrustaciones de dolomita se pueden apreciar como puntos blancos en un ladrillo cocido, tal como se muestra en la Figura 4.4.

**FIGURA 3.4 Muestra de ladrillo con restos de caliza**



- La procedencia de los lodos residuales, en el estudio de Orellana (2015), provienen de una urbanización alejada de la ciudad, es decir de una zona residencial; mientras que el estudio de Muñoz (2016) del proceso de tratamiento de aguas crómicas; a diferencia de los lodos del presente estudio, cuyo origen radica en la zona centro de la ciudad de Ambato, teniendo la influencia de actividades domésticas, industriales y agrícolas; de aquí se justifica la presencia de caolinita presente en pesticidas e insecticidas, mineral de baja dureza, que a su vez provoca una disminución en la resistencia de los ladrillos.

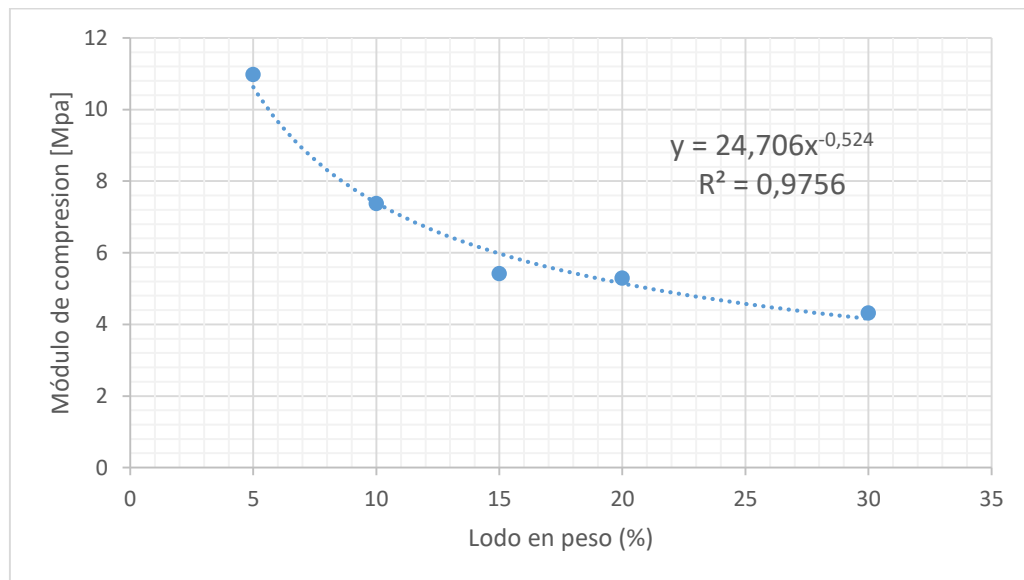
## **4.5 LADRILLO DE MEZCLA ÓPTIMO**

### **4.5.1 PORCENTAJE ÓPTIMO DE AGREGADO PARA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

La Figura 4.5 presenta la relación entre la resistencia a la compresión versus el porcentaje de enmienda en los ladrillos de mezcla, de esta gráfica se puede realizar

un ajuste lineal tipo exponencial (coeficiente de correlación “R<sup>2</sup>” de 0.97) para determinar la mezcla óptima de agregado. La ecuación 4.1 permite calcular el porcentaje óptimo de mezcla.

**FIGURA 3.5 Resistencia a la compresión de los ladrillos de mezcla**



$$y = 24,706x^{-0,524}$$

(4.1)

Donde:

y: módulo de compresión, en MPa

x: peso del lodo residual seco, (%)

El valor de “y” se sustituye en la ecuación 4.1 por el valor de 8 MPa (resistencia mínima a la compresión para un ladrillo tipo C, según la norma NTE INEN 297) para determinar el porcentaje de mezcla óptima de enmienda de lodo en peso.

$$8 = 24,706(X)^{-0,524}$$

$$X = 8,6 \%$$

#### **4.5.2 PORCENTAJE ÓPTIMO DE AGREGADO PARA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN**

De este ensayo no se pudo determinar la cantidad de mezcla de lodo óptimo para determinar el módulo de rotura máximo como fue en el caso del ensayo de resistencia a la compresión, ya que los ladrillos de mezcla del 5% se encuentran justo en el límite mínimo de la carga de 2,09 MPa que exige la normativa NTE-INEN 297 para ladrillos macizo tipo C.

#### **4.5.3 PORCENTAJE ÓPTIMO DE AGREGADO PARA ABSORCIÓN DE HUMEDAD**

Como se mencionó en el análisis del numeral 4.4.3, todos los porcentajes entran en la categoría de ladrillos macizos tipo C. El porcentaje del 8,6% calculado en el numeral 4.5.1 está dentro de lo establecido en la norma NTE-INE 297.

#### **4.6 TOXICIDAD (TCLP) DEL LADRILLO DE MEZCLA (5 %)**

Pese a que el lodo utilizado como materia prima para la elaboración de los ladrillos fue descartado como residuo peligroso, se consideró importante verificar que el producto final no contenga constituyentes tóxicos, para esto se realizó un análisis al lixiviado TCLP del ladrillo del 5% de mezcla (lodo-suelo), ya que éste fue el único que cumple con las exigencias de las normas NTE-NTE 297. La Tabla 4.9 se detalla los analitos metálicos y sus concentraciones determinadas en este ensayo.

**TABLA 4.9 Metales presentes en el lixiviado TCLP del ladrillo (5%)**

<b>Analito</b>	<b>Ladrillo (mg/L)</b>
Zinc	0,12
Cobre	3,00
Níquel	20,90

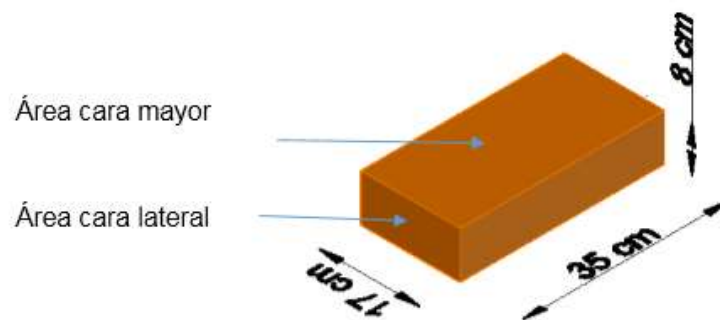
Los metales mencionados se encuentran en concentraciones bajas, además estos no están listados en la norma mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 (ver Anexo 3), por consiguiente, su uso no presenta riesgo de toxicidad.

#### **4.7 USO DE LOS LADRILLOS DE MEZCLA EN ESTRUCTURAS NO SUJETAS A PRESIÓN**

A pesar de que no todos los lotes de ladrillos realizados en el presente estudio cumplieron con lo establecido en la norma NTE INEN 297, se consideró avalar su aplicación en estructuras no sujetas a presión. A continuación, se detalla el cálculo de la presión máxima que puede soportar una pared de ladrillos de 3 m de altura, utilizando el resultado de los ladrillos para el 30% de agregado (máximo de enmienda investigado). Los datos utilizados para este cálculo se presentan en la Tabla 4.10; además, en la Figura 4.6 se presenta un esquema con las dimensiones y caras del ladrillo que se mencionaron en la Tabla 4.10.

**TABLA 4.10 Parámetros de ladrillos de 30% de agregado**

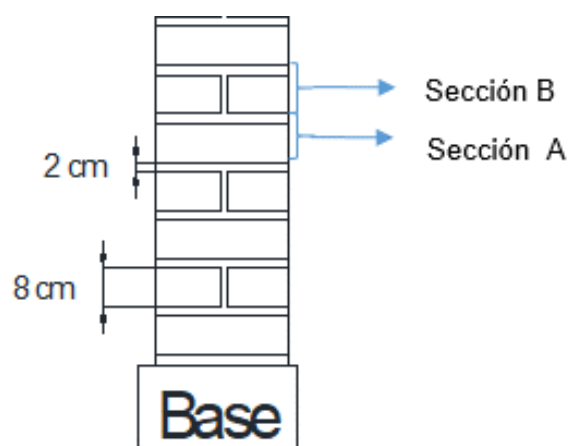
<b>Especificación</b>	<b>Magnitud</b>	<b>Unidad</b>
Peso promedio del ladrillo	7833	g
Largo	35	cm
Ancho	17	cm
Espesor	8	cm
Densidad del mortero	2	gr/cm <sup>3</sup>
Distancia entre ladrillos	2	cm
Área del ladrillo de la cara mayor	594,07	cm <sup>2</sup>
Volumen del mortero sobre la cara mayor	1188,14	cm <sup>3</sup>
Área del ladrillo de la cara lateral	137,18	cm <sup>2</sup>
Volumen del mortero sobre la cara lateral	274,34	cm <sup>3</sup>

**FIGURA 3.6 Esquema del ladrillo**

Se calculó el peso que se genera en 2 secciones distintas de ladrillos (A y B).

- La sección A corresponde a un ladrillo entero y una capa de mortero en la base.
- La sección B corresponde a la proporción de dos mitades de ladrillo, una capa de mortero que los une y una capa de mortero sobre las dos mitades del ladrillo, tal como se muestra en la Figura 4.7.

La Tabla 4.11 presenta los pesos de cada una de las secciones (A y B) determinadas a partir de los datos obtenidos en los ensayos realizados y utilizando los datos de la Tabla 4.10.

**FIGURA 3.7 Estructura no sujeta a presión**

**TABLA 4.11 Peso generado en las secciones A y B de una pared**

<b>Sección A</b>		<b>Unidad</b>
Peso ladrillo	7833,0	g
Peso del mortero sobre el área mayor	2376,68	g
<b>Peso total</b>	<b>10209,68</b>	<b>g</b>
<b>Sección B</b>		
Peso de dos mitades de ladrillo	7385,40	g
Peso del mortero sobre el área mayor	2376,68	g
Peso del mortero sobre el área lateral	548,72	g
<b>Peso total</b>	<b>10310,80</b>	<b>g</b>
<b>Peso total (A y B)</b>	<b>20,520</b>	<b>kg</b>

Las secciones A y B de los ladrillos forman una altura de 20 cm y generan 20,52 kg de peso. Proporcionalmente, para una pared de 3 m de altura el peso será de aproximadamente 307,8 kg.

Usando la ecuación 3.3 se calculó la carga que genera una pared de 3 m de altura sobre la base de la cara mayor de un ladrillo de área 594,07 cm<sup>2</sup>, la cual fue 0,5181 [kgf/cm<sup>2</sup>] equivalente a 0,0518 [MPa]. Esta carga es inferior a la máxima admitida por un ladrillo de 30% de agregado (4,32 MPa), justificando así su uso en estructuras no sujetas a presión y flexión, como por ejemplo: cerramientos, jardineras, paredes divisorias, distintos usos ornamentales, entre otros.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- Se verificó que los lodos residuales procedentes de la PTAR, El Peral de la ciudad de Ambato, si pueden ser reutilizados como materia prima para la elaboración de ladrillos, esto se ve corroborado por: la composición mineral (70% en plagioclasas), y por el porcentaje de partículas finas.
- Mediante el análisis de laboratorio se determinó que los lodos residuales de la PTAR, El Peral, no poseen características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas o biológica-infecciosas (CRETIB), por lo tanto, no se considera como un residuo peligroso.
- Los análisis de resistencia a la flexión, compresión y absorción de humedad, a los que fueron sometidos los ladrillos de mezcla elaborados con agregado de lodo del 5%, 10%, 15%, 20% y 30%, indicaron que los ladrillos con el 5% de mezcla (lodo-suelo) cumplieron con lo establecido en la NTE-INEN 297 y se clasifican como ladrillo macizo tipo C, abalando así su uso en la industria de la construcción.
- La línea de tendencia establecida para los resultados de resistencia a la compresión de los ladrillos de mezcla, indican que la proporción máxima de enmienda sería 8,6%, ya que la resistencia a la compresión excede el 37% respecto a lo establecido en la norma ITE-INEN 297, para macizo tipo C.
- El análisis realizado al lixiviado TCLP del ladrillo del 5% de mezcla (óptimo), verificó que el material no presentó características tóxicas de acuerdo a la norma mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005; además, durante el proceso de cocción se registraron temperaturas mayores a 1100 °C, lo cual descarta características de explosividad, inflamabilidad e infecciosas. Por último, no se evidenció reacción alguna y se registró pH neutro, por lo que se considera como un material no peligroso.



- Según el análisis realizado en el numeral 4.7, los ladrillos de mezcla del 30% (máximo estudiado), podrían ser utilizados en estructuras no sujetas a presión o muros sin soporte de carga, ya que su resistencia a la compresión fue de 4,32 MPa, mayor que los bloques perforados de hormigo (3 MPa).
- Durante la cocción de los ladrillos, la temperatura alcanzó valores de 1100 °C, por lo que colonias de microorganismos que pudieran estar presentes en el lodo residual, como los *Penicillium fungy verde*, son eliminados en este proceso.
- La estabilización parcial de los lodos residuales con cal (comercial), fue causante de la presencia de incrustaciones de dolomita en los ladrillos, mineral de baja dureza, que provocó disminución en la resistencia del producto final, el ladrillo de mezcla.
- La inestabilidad de los lodos residuales, determinada por el contenido de materia orgánica volátil, provocó que durante la cocción de los ladrillos de mezcla se generen espacios intersticiales, es decir porosidad, que causó reducción en la resistencia de los ladrillos.
- El color gris oscuro en los ladrillos de mezcla, también se debió a la presencia de materia orgánica volátil en el lodo residual, que durante el proceso de cocción se combustionó generando carbón y hollín.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Los ladrillos de mezcla con porcentajes de enmienda de lodo mayores al 10% podrían ser utilizados en otras áreas de la mampostería, como por ejemplo: jardineras, senderos y otro tipo de estructuras ornamentales, ya que en el análisis del numeral 4.7, se comprobó su aplicación en estructuras no sujetas a presión.
- Durante el proceso de estabilización de lodos, se recomienda la utilización de cal comercial de mayor calidad, de esta manera se disminuye la cantidad de dolomita presente, que fue causante de la disminución de la resistencia de los ladrillos.
- Realizar un estudio similar con lodos residuales parcialmente estabilizados con menor cantidad de materia orgánica, de esta forma se evitaría la formación de microporos durante la cocción de los ladrillos, lo que aumentaría la resistencia y también la preservación del color característico de los mismos.
- Antes del proceso de elaboración de los ladrillos de mezcla, los lodos residuales deberían ser previamente triturados en un molino de rodillos, para disminuir el tamaño de partícula.
- De acuerdo al análisis de las características CRETIB del lodo residual, se podría realizar investigaciones similares con diferentes tipos de materiales de construcción como, por ejemplo: morteros, bloques, tejas, adoquines, asfalto, entre otros.

## BIBLIOGRAFÍA

- Al Sayed, M. H., Madany, I. M., & Buali, A. (1995). Use of sewage sludge ash in asphaltic paving mixes in hot regions. *Construction and Building Materials*, 110(1),19–23.
- Alleman, J. E., & Berman, N. A. (1984). Constructive Sludge Management: Biobrick . *Journal of Environmental Engineering*, 110(2), 301-311.
- ASTM D2216-10, Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010. Recuperado el 14 de mayo de 2018, de "<https://www.astm.org/>" [www.astm.org](https://www.astm.org/)
- ASTM D4318-17e1, Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017. Recuperado el 14 de mayo de 2018, de "<https://www.astm.org/>" [www.astm.org](https://www.astm.org/)
- ASTM D6913-04(2009), Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2009. Recuperado el 14 de mayo de 2018, de "<https://www.astm.org/>" [www.astm.org](https://www.astm.org/)
- ASTM D7928-16, Standard Test Method for Particle-Size Distribution (Gradation) of Fine-Grained Soils Using the Sedimentation (Hydrometer) Analysis, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016. Recuperado el 14 de mayo de 2018, de "<https://www.astm.org/>" [www.astm.org](https://www.astm.org/)
- ASTM D854-14, Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.

Recuperado el 14 de mayo de 2018, de "<https://www.astm.org/>"  
[www.astm.org](http://www.astm.org)

Banegas. (2007). El compostaje anaerobio de lodos de aguas residuales usando dos proporciones de aserrín (tesis de grado). Universidad del Salvador. El Salvador.

Baeza, M. L., & Lenli, V. (2014). Guía técnica para el manejo y aprovechamiento de biogás en plantas de tratamiento de aguas residuales. Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México.

Baroutian, S., Eshtiaghi, N., & Gapes, D. (2013). Rheology of a primary and secondary sewage sludge mixture: dependency on temperature and solid concentration. *Bioresource Technology*, 227–233.

Centa. (2008). MANUAL DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS. Recuperado el 17 de febrero de 2018, de [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/28632CE6BFC3905505257DC6007FA19C/\\$FILE/1\\_pdfsam\\_MONOGRAFICO3.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/28632CE6BFC3905505257DC6007FA19C/$FILE/1_pdfsam_MONOGRAFICO3.pdf).

Constitución de la República del Ecuador (2008). Ciudad Alfaró: Asamblea Constituyente.

Cordero, N. (2010). Mejoramiento de suelo con biosólidos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales de la UNAM (tesis de grado). Mexico DC. Mexico.

Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones (tesis de grado). Santafé de Bogotá .

- Das, B. (2013). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. México: Cengage Learning.
- De las Heras, A. (2009). Curso sobre tratamiento de aguas residuales y explotación de estaciones depuradoras. CEDEX .
- Domínguez, J. G. (2000). Manual del laboratorio de materiales de construcción. ITESM. Departamento de Ingeniería Civil
- Donado, R. (2013). PLAN DE GESTIÓN PARA LODOS GENERADOS EN LAS PTAR-D DE LOS MUNICIPIOS DE CUMARAL Y SAN MARTÍN DE LOS LLANOS EN EL DEPARTAMENTO DEL META (Tesis de maestría). Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- Escobar, S. (2013). Materiales de construcción para edificación y obra civil. Editorial Club Universitario.
- Espigares, M., & Pérez, J. (1985). Aspectos sanitarios del estudio de las aguas. Universidad de Granada. Servicio de Publicaciones.
- Farias, B. (2018). Conocimientos básicos sobre Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (Módulo IV). Recuperado el 17 de febrero de 2018, de <https://www.iagua.es/blogs/bettys-farias-marquez/conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-modulo-iv>
- Galvis, J., & Rivera, X. (2013). CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE LOS LODOS PRESENTES EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES (PTARI) DE LA

- EMPRESA JUGOS HIT DE LA CIUDAD DE PEREIRA (tesis de grado).  
Pereira, Colombia.
- García, N. (2006). Lodos residuales: estabilización y manejo. *Caos Conciencia*, 62-63.
- Gonzales, I. (2015). Generación, caracterización y tratamiento de lodos de EDAR. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba. 2016 , 34-55.
- Guerra, P., Luna, M., & Barretero, R. (2004). Aprovechamiento de biosólidos como abonos orgánico en pastizales áridos y semiáridos. *Téc Pecu.*
- He, J., Li, F., Li, Y., & Cui, X. (2015). Modified sewage sludge as temporary landfill cover material. *Water Science and Engineering*, 8(3), 257–262.
- Hernández, J. (2004). Uso de lodos residuales procedentes de la ciudad de Durango y su efecto en la productividad y concentración de metales en sorgo forragero (tesis de grado). México.
- INEN. (1977). INEN-NTE: 293; LADRILLOS CERÁMICOS. DEFINICIONES. CLASIFICACIÓN Y CONDICIONES GENERALES. Recuperado el 17 de febrero de 2018, de <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/293.pdf>.
- INEN. (1977). INEN-NTE: 294; LADRILLOS CERÁMICOS. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. Recuperado el 17 de febrero de 2018, de <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/294.pdf>.
- INEN. (1977). INEN-NTE: 294; LADRILLOS CERÁMICOS. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN. Recuperado el 17 de febrero de 2018, de: <http://www.normalizacion.gob.ec/wp->

content/uploads/downloads/2014/NORMAS\_2014/MAR/21112014/nte-inen-295-c.pdf.

INEN. (1977). INEN-NTE: 297; LADRILLOS CERÁMICOS. REQUISITOS.

Recuperado el 17 de febrero de 2018, de  
<http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/297-C.pdf>.

INEN. (2015). INEN-NTE: 296; LADRILLOS CERÁMICOS. DETERMINACIÓN DE ABSORCIÓN DE HUMEDAD. Recuperado el 17 de febrero de 2018, de  
[http://apps.normalizacion.gob.ec/files/2017/nte\\_inen\\_296-1.pdf](http://apps.normalizacion.gob.ec/files/2017/nte_inen_296-1.pdf)

Limón, J. (2013). LOS LODOS DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, ¿PROBLEMA O RECURSO? (tesis de grado). Guadalajara, Jalisco.

Lizarazo, J., & Orjuela, M. (2013). SISTEMAS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN COLOMBIA (tesis de grado). Universidad Nacional de Colombia.

Malagón, E. d. (2005). Materiales Ceramicos. Propiedades, Aplicaciones Y Elaboracion. UNAM.

Mazzini, A. (2016). La juventud opina. Obtenido de Sobre población: Un problema que no para de crecer. Recuperado el 17 de febrero de 2018, de  
<http://www.voicesofyouth.org/es/users/234450>

Mendoza, M. (2012). Evaluacion Fisico Quimica y Microbiológica de cuatro niveles de lodos ordlnarios en la elaboracion de compost. El Salvador.

Metcalf, & Eddy. (2004). Wastewater Engineering. Treatment and resource. McGraw Hill USA: Fourth Edition.

Ministerio de Agricultura, A. y. (2016). GUÍA PRÁCTICA para la depuración de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Confederación hidrográfica del Duero.

Monzo, J., Paya, J., Borrachero, M. V., & Corcoles, A. (1996). Use of Sewage Sludge Ash (ssa)-Cement Admixtures in Mortars. Cement and Concrete Research, 26(9).

Muñoz, M. (2016). PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS PROVENIENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS STARTWATER COMO MATERIA PRIMA EN LA FABRICACIÓN DE LADRILLO. FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA, 20-30.

Muñoz, M., y Aldás, M. (2017). SISTEMA DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES. Quito, Ecuador: EPN.

Orellana, X. (2015). Uso de los lodos, producto del tratamiento de aguas residuales, para la fabricación de ladrillos. UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL, 26-29.

Oropeza, N. (2006). Lodos residuales: estabilización y manejo. Caos Conciencia, 51-58.

Ortiz, L., Gutierrez, M., & Sanchez, E. (1995). Propuesta de manejo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de la Ciudad Industrial del Valle de



Cuernavaca, Estado de Morelos, México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental , 105-115.

PNUMA. (2 de enero de 2004). LINEAMIENTOS SOBRE EL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES. Recuperado el 17 de febrero de 2018, de [https://esa.un.org/iys/docs/san\\_lib\\_docs/lineamientos\\_sobre\\_el\\_manejo\\_spanish.pdf](https://esa.un.org/iys/docs/san_lib_docs/lineamientos_sobre_el_manejo_spanish.pdf)

Rojas, R. (2000). Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño (tesis de grado). Escuela Colombiana de Ingenierías.

Ruiz, G. (2017). Práctica densidad de sólidos . Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Aragón Ingeniería Civil.

Smol, M., Kulcycka, J., Henclik, A., Gorazda, K., & Wzorek, Z. (2015). The possible use of sewage sludge ash (SSA) in the construction industry as a way towards a circular economy . Journal of cleaner production, 52(1), 45-54.

UNESCO. (2018). Aguas Residuales el Recurso Desaprovechado. Recuperado el 17 de febrero de 2018, de <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002476/247647s.pdf>

Valencia, A. (2013). Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales de la cabecera parroquial de San Luis-Provincia de Chimborazo.

**ANEXOS**

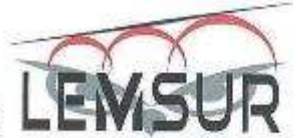
**6.1 ANEXO N° 1: SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PTAR, EL PERAL, AMBATO.**

Área m2	Pre tratamiento		Tratamiento primario Eliminación de una fracción de materia orgánica en suspensión y solidos sedimentables de		Tratamiento Secundario Eliminación de materia orgánica disuelta por acción biológica		Tratamiento secundario eliminación de materia orgánica biodegradable y sólidos en suspensión		Tratamiento Terciario Eliminación de sales disueltas, nutrientes, Patógenos y materia orgánica		Otros
	Proceso	Operación	Proceso	Operación	Proceso	Operación	Proceso	Operación	Proceso	Operación	
1287,31	Físico	Aliviadero, desarenador, trampa de grasas			Físico	Sedimentación digestión anaerobia fosa séptica	Biológico	Digestión anaerobia, filtro biológico	Químico	Desinfección	Secado de lodos

**6.2 ANEXO N° 2: INFORMES EMITIDOS POR EL LEMSUR Y  
DEMEX.**



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



GRANULOMETRÍA COMPLETA DE SUELOS

INF. No. 18-0096 -I

Quito, 15 de mayo de 2018

Hoja 1 de 3

SOLICITA: STEEVEN CUTI, ANDRÉS URBINA  
Atención: Steeven Cuti, Andrés Urbina  
Dirección: Ladrón De Guevara E11-253 Y Andalucía (Epn)

CONTRATISTA: \*\*\*

PROYECTO: TESIS - ANÁLISIS DE LA RE-VALORIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS DE LA PTAR EL PERAL, AMBATO, PARA INSUMOS DE MAMPOSTERÍA

FISCALIZADOR: \*\*\*

SITIO: \*\*\*

SONDEO: \*\*\*

MUESTRA: MUESTRA DE SUELO, ARCILLA

PROFUNDIDAD: \*\*\*

NORMA: ASTM D8913-04 (2009) ; ASTM D7928-16 ; ASTM D854-14

Método de Preparación:	Seca	
Peso Inicial Húmedo:	70.00	g.
Contenido de humedad:	0.0	%
Peso Inicial Seco:	70.00	g.
Pasante tamiz No. 200:	60.9	%

Tipo de Hidrómetro:	H152
Corrección por Menisco (C <sub>m</sub> ):	0.5
Gravedad Específica (G <sub>s</sub> ):	2.75 g/cm <sup>3</sup>
Cantidad de (NaPO <sub>3</sub> ) <sub>6</sub> :	5.00 g.

TAMIZ No.	APERTURA (mm)	PESO RET. (g)	PESO RET. (%)	PESO RET. ACUMULADO (%)	PESO PASANTE (%)
4	4.750	0.00	0.0%	0.0%	100.0%
10	2.000	0.00	0.0%	0.0%	100.0%
20	0.850	0.00	0.0%	0.0%	100.0%
40	0.425	2.93	4.2%	4.2%	95.8%
100	0.150	15.23	21.8%	25.9%	74.1%
200	0.075	9.20	13.1%	39.1%	60.9%
BANDEJA	-	42.64	60.9%	100.0%	0.0%
TOTAL		70.00			

TIEMPO (min)	LECTURA r <sub>n</sub>	TEMPERATURA T <sub>i</sub> (°C)	CAÍDA EFECTIVA H <sub>n</sub>	DIÁMETRO D <sub>n</sub>	PESO PASANTE N <sub>n</sub> (%)
1	45.5	18	8.93	0.0394	53.6%
2	41.8	18	9.53	0.0288	48.5%
4	37.8	18	10.17	0.0210	42.9%
15	31.5	18	11.19	0.0114	34.2%
30	28.5	18	11.67	0.0082	29.9%
60	25.5	18	12.16	0.0059	25.7%
120	23.5	19	12.48	0.0043	24.1%
240	21.5	19	12.81	0.0030	21.3%
1440	16.5	18	13.61	0.0013	13.2%

ING. MERCEDES VILLACIS  
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



### GRANULOMETRÍA COMPLETA DE SUELOS

INF. No. 18-0096 -I  
Hoja 2 de 3

Quito, 15 de mayo de 2018

**SOLICITA:** STEEVEN CUTI, ANDRÉS URBINA

Atención: Steeven Cuti, Andrés Urbina

Dirección: Ladrón De Guevara E11-253 Y Andalucía (Epn)

**CONTRATISTA:** \*\*\*

**PROYECTO:** TESIS - ANÁLISIS DE LA RE-VALORIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS DE LA PTAR EL PERAL, AMBATO, PARA INSUMOS DE MAMPOSTERÍA

**FISCALIZADOR:** \*\*\*

**SITIO:** \*\*\*


**SONDEO:** \*\*\*

**MUESTRA:** MUESTRA DE SUELO, ARCILLA

**PROFUNDIDAD:** \*\*\*

**NORMA:** ASTM D6913-04 (2009) ; ASTM D7928-16 ; ASTM D854-14



  
ING. MERCEDES-VILLACIS  
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609



### GRANULOMETRÍA COMPLETA DE SUELOS

INF. No. 18-0096 -I

Hoja 3 de 3

Quito, 15 de mayo de 2018

**SOLICITA:** STEEVEN CUTI, ANDRÉS URBINA

Atención: Steeven Cuti, Andrés Urbina

Dirección: Ladrón De Guevara E11-253 Y Andalucía (Epn)

**CONTRATISTA:** \*\*\*

**PROYECTO:** TESIS - ANÁLISIS DE LA RE-VALORIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS DE LA PTAR EL PERAL, AMBATO, PARA INSUMOS DE MAMPOSTERÍA

**FISCALIZADOR:** \*\*\*

**SITIO:** \*\*\*

**SONDEO:** \*\*\*

**MUESTRA:** MUESTRA DE SUELO, ARCILLA

**PROFUNDIDAD:** \*\*\*

**NORMA:** ASTM D6913-04 (2009) ; ASTM D7928-16 ; ASTM D854-14

DATOS DEL ENSAYO		
Código de identificación:	***	
Lébrado de ejecución:	A	
Método remoción del agua:	Vacíos	
Matraz No.:	4	
Volumen matraz a 20°C:	500.00	ml
Temperatura de ensayo:	18.00	°C
Peso matraz:	159.70	g
Peso matraz + agua:	661.90	g
Peso matraz seco:	70.60	g
Peso matraz + agua + suelo:	706.90	g
Gs 20°C:	2.758	g/cm <sup>3</sup>
G <sub>s</sub> 20°C G <sub>s</sub> 20°C:	1.0004	
Gs 20°C:	2.759	g/cm <sup>3</sup>
<b>Gs 20°C promedio:</b>	<b>2.759 g/cm<sup>3</sup></b>	

Observación: El muestreo y resultados de los ensayos son responsabilidad del testista.

ING. MERCEDES VILLACIS  
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609





# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



## CLASIFICACIÓN DE SUELOS

INF. No. 18 - 0998-I

Quito, 26 de enero de 2018

Hoja 01 de 02

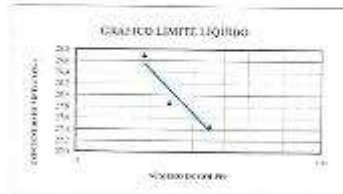
**SOLICITA:** STEEVEN CUTI ANDRÉS URBINA  
**Atención:** STEEVEN CUTI ANDRÉS URBINA  
**Dirección:** Ladrón De Guevara E11-253 Y Andalucía -Epi

**PROYECTO:** ANÁLISIS DE LA REVALORIZACIÓN DE BIOCÓLIDOS DE LA FTAR EL PERAL AMBATO, PARA INSUMOS DE MAESTRÍA.

**CONTRATISTA:** \*\*\***FISCALIZADOR:** \*\*\***MUESTRA:** MUESTRA DE SUELO ARELLA**UBICACIÓN:** \*\*\***PROFUNDIDAD:** \*\*\***NORMA:** ASTM D2487-11

GRANULOMETRÍA					
NORMA: ASTM D 421		ASTM D 422		PESO INICIAL: 110,79	
TAMIZ No.	ABERTURA TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE PASANTE (%)
No. 4	4,750	0,00	0,0	0,0	100,0
No. 10	2,000	0,00	0,0	0,0	100,0
No. 40	0,425	3,59	3,2	3,2	96,8
No. 100	0,150	12,45	13,6	16,8	83,2
No. 200	0,075	8,80	9,8	26,5	73,5
PASA 200	-	67,14	73,5	100,0	0,0
TOTAL		91,32			
LÍMITE LÍQUIDO					
NORMA: ASTM D 4318-10					
CAPSULA No.	No. GOLPES	PESO HÚMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CÁPSULA (gr)	% HUMEDAD
S145	19	25,84	22,10	9,77	28,70
S2	24	18,15	17,10	8,75	27,87
S73	35	30,64	26,20	10,07	27,47
LÍMITE PLÁSTICO					
NORMA: ASTM D 4318-10					
PRUEBA No.	CAPSULA No.	PESO HÚMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CÁPSULA (gr)	LÍMITE PLÁSTICO (%)
1	S48	6,38	6,24	5,41	16,87
2	S21	6,83	6,48	5,43	17,85
CONTENIDO DE HUMEDAD					
NORMA: INEN 690 ASTM D 2216-10					
PRUEBA No.	CAPSULA No.	PESO HÚMEDO (gr)	PESO SECO (gr)	PESO CÁPSULA (gr)	HUMEDAD NATURAL (%)
1	M16	30,57	28,66	9,57	21,45
2	N43	31,50	27,67	9,57	21,19
RESUMEN DE RESULTADOS					
W =	21	%	LP =	17	%
LL =	28	%	IP =	11	%

CLASIFICACIÓN SUCS: CL



Observación: El método y resultados de los ensayos son respetados con el testeo.

*Mercedes Vilacis*  
 Ing. Mercedes Vilacis  
 JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300  
 Ext.: 1609

CLA018-0004-I



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



GRANULOMETRÍA COMPLETA DE SUELOS

INF. No. 18-0097-1

Hoja 1 de 3

Quito, 22 de enero de 2018

SOLICITA: STEEVEN CUTI, ANDRÉS URBINA  
Atención: Steeven Cuti, Andrés Urbina  
Dirección: Ladrón De Guevara E11-253 Y Andalucía (Epr)

CONTRATISTA: \*\*\*

PROYECTO: TESIS - ANÁLISIS DE LA RE-VALORIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS DE LA PTAR EL PERAL. AMBATO.  
PARA INSUMOS DE MAMPOSTERÍA

FISCALIZADOR: \*\*\*

SITIO: \*\*\*

SONDEO: \*\*\*

MUESTRA: Lodo de PTAR

PROFUNDIDAD: \*\*\*

NORMA: ASTM D6913-04 (2009) - ASTM D7928-16 ; ASTM D854-14

Método de Preparación:	Seca	
Peso Inicial Húmedo:	131,00	g.
Contenido de humedad:	0,0	%
Peso Inicial Seco:	131,00	g.
Pasante tamiz No. 200:	49,9	%

Tipo de Hidrómetro:	H152	
Corrección por Menisco ( $C_m$ ):	0,5	
Gravedad Específica ( $G_s$ ):	2,55	g/cm <sup>3</sup>
Cantidad de (NaPO <sub>3</sub> ):	5,00	g.

TAMIZ No.	APERTURA (mm)	PESO RET. (g)	PESO RET. (%)	PESO RET. ACUMULADO (%)	PESO PASANTE (%)
4	4,750	0,00	0,0%	0,0%	100,0%
10	2,000	0,07	0,1%	0,1%	99,9%
20	0,850	0,00	0,0%	0,1%	99,9%
40	0,425	26,53	20,3%	20,3%	79,7%
100	0,150	33,71	18,1%	38,4%	61,6%
200	0,075	15,35	11,7%	50,1%	49,9%
BANDEJA	-	65,34	49,9%	100,0%	0,0%
TOTAL		131,00			

TIEMPO (min)	LECTURA $r_n$	TEMPERATURA $T_1$ (°C)	CAÍDA EFECTIVA $H_n$	DIÁMETRO $D_n$	PESO PASANTE $N_n$ (%)
1	47,5	18,5	8,69	0,0414	31,9%
2	39,5	18,5	9,98	0,0314	25,7%
4	32,5	18,5	11,11	0,0234	20,2%
15	24,5	18,5	12,40	0,0128	14,0%
30	21	18,5	12,97	0,0092	11,2%
60	18,5	19	13,37	0,0066	10,1%
120	17,5	20	13,53	0,0047	10,4%
240	16	19,5	13,78	0,0034	8,2%
1440	13,5	20	14,18	0,0014	7,3%

ING. MERCEDES VILLACÍS  
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300  
Ext.: 1609



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



### GRANULOMETRÍA COMPLETA DE SUELOS

INF. No. 18-0097-1

Hoja 2 de 3

Quito, 22 de enero de 2018

SOLICITA: STEEVEN CUTI, ANDRÉS URBINA

Atención: Steeven Cuti, Andrés Urbina

Dirección: Ladrón De Guevara E11-253 Y Andalucía (Epn)

CONTRATISTA: \*\*\*

PROYECTO: TESIS - ANÁLISIS DE LA RE-VALORIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS DE LA PTAR EL PERAL, AMBATO, PAR.

FISCALIZADOR: \*\*\*

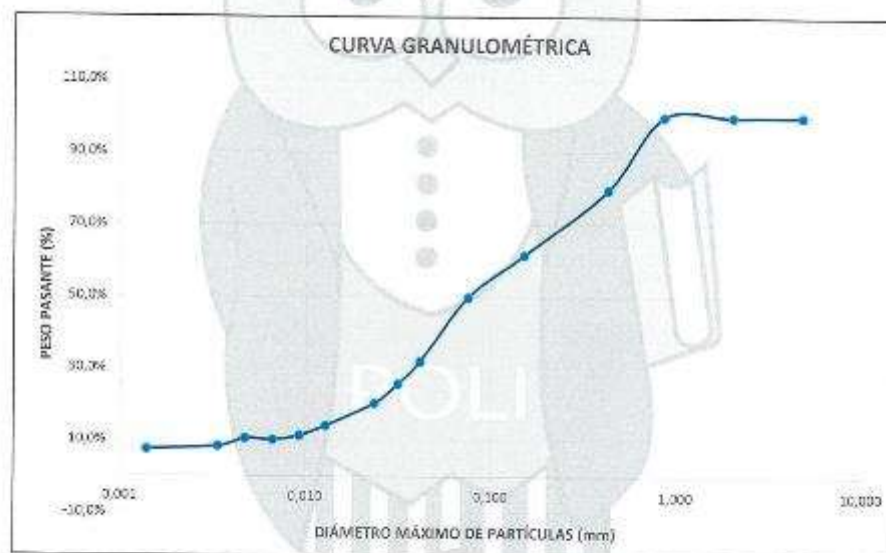
SITIO: \*\*\*


SONDEO: \*\*\*

MUESTRA: Lodo de PTAR

PROFUNDIDAD: \*\*\*

NORMA: ASTM D6913-04 (2009) ; ASTM D7928-16 ; ASTM D854-14



  
ING. MERCEDES VILLACIS  
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609



### GRANULOMETRÍA COMPLETA DE SUELOS

INF. No. 18-0097-1

Hoja 3 de 3

Quito, 22 de enero de 2018

SOLICITA: STEEVEN CUTI, ANDRÉS URBINA

Atención: Steeven Cuti, Andrés Urbina

Dirección: Ladrón De Guevara E11-253 Y Andalucía (Epn)

CONTRATISTA: \*\*\*

PROYECTO: TESIS - ANÁLISIS DE LA RE-VALORIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS DE LA PTAR EL PERAL, AMBATO, PARA INSUMOS DE MAMPOSTERÍA

FISCALIZADOR: \*\*\*

SITIO: \*\*\*

SONDEO: \*\*\*

MUESTRA: Lodo de PTAR

PROFUNDIDAD: \*\*\*

NORMA: ASTM D6913-04 (2009) ; ASTM D7928-18 ; ASTM D854-14

DATOS DEL ENSAYO		
Código de identificación:	***	
Método de ejecución:	A	
Método remoción del agua:	Vacío	
Muestra No.:	3	
Volumen matriz a 20°C:	500,00	ml
Temperatura de ensayo:	19,50	°C
Peso matriz:	163,40	g
Peso matriz - agua:	662,60	g
Peso matriz seco:	71,24	g
Peso matriz - agua - suelo:	705,90	g
Gs <sub>20°C</sub> :	2,550	g/cm <sup>3</sup>
n <sub>20°C</sub> / G <sub>20°C</sub> :	1,0002	
Gs <sub>20°C</sub> :	2,550	g/cm <sup>3</sup>
Gs <sub>20°C</sub> promedio:	2,550 g/cm <sup>3</sup>	

Observación: El muestreo y resultados de los ensayos son responsabilidad del testista.

  
ING. MERCEDES VILLACIS  
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



**RESISTENCIA A COMPRESIÓN LADRILLO**

INF. No. 18 - 0099-I  
Hoja 01 de 05

Quito, 15 de mayo de 2019.

**SOLICITA:** STEVEEN CUTI, ANDRÉS URBINA  
**Atención:** Steveen Cuti, Andrés Urbina  
**Dirección:** Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía (EPN)

**PROYECTO:** TESIS - ANÁLISIS DE LA RE-VALORIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS DE LA PTAR EL PERAL, AMBATO, PARA INSUMOS DE MAMPOSTERÍA

**CONTRATISTA:** \*\*\*\*\*  
**FISCALIZADOR:** \*\*\*\*\*  
**MUESTRA:** LADRILLOS PATRÓN  
**NORMA:** INEN 297, INEN 294

N.	CÓDIGO IDENTIFICACIÓN	FECHA FABRICACIÓN	DIMENSIONES ENSAYO (cm)					ÁREA PROM. (cm <sup>2</sup> )	P.ESPEC. (gr/cm <sup>3</sup> )	CARGA		f <sub>d</sub>	
			CARA SUPERIOR		CARA INFERIOR		ALTURA			[KN]	[Ton]	[Mpa]	[kg / cm <sup>2</sup> ]
			LARGO	ANCHO	LARGO	ANCHO							
1	0A	***	34,1	16,6	34,1	16,6	8,3	564,36	1,37	746,57	76,13	13,23	134,90
2	0B	***	34,8	16,0	34,8	16,0	8,4	582,06	1,29	882,34	89,97	15,16	154,58
3	0C	***	34,3	16,5	34,3	16,5	8,3	565,13	1,30	763,63	77,87	13,51	137,79
4	0D	***	34,7	16,6	34,7	16,6	8,4	575,19	1,36	805,47	82,14	14,00	142,80
5	0E	***	34,6	16,5	34,6	16,5	8,4	568,35	1,41	860,40	87,74	15,24	154,37
6	0F	***	34,3	16,5	34,3	16,5	8,4	565,95	1,38	896,18	91,39	15,84	161,47
<b>PROMEDIO:</b>									1,35	825,77	84,20	14,48	147,65

Observación: El muestreo y resultados de los ensayos son responsabilidad del tasista.

ING. MERCEDES VILLACÍS  
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
 LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



**RESISTENCIA A COMPRESIÓN LADRILLO**

INF. No. 18 - 0089-I  
 Hoja 02 de 08

Quito, 15 de mayo de 2016

**SOLICITA:** STEEVEN CUTI, ANDRÉS URBINA  
**Atención:** Steeven Cuti, Andrés Urbina  
**Dirección:** Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía (EPN)  
**PROYECTO:** TESIS - ANÁLISIS DE LA RE-VALORIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS DE LA PTAR EL PERAL, AMBATO, PARA INSUMOS DE MAMPOSTERÍA  
**CONTRATISTA:** \*\*\*\*\*  
**FISCALIZADOR:** \*\*\*\*\*  
**MUESTRA:** LADRILLOS 5%  
**NORMA:** INEN 292, INEN 294

N.	CÓDIGO IDENTIFICACIÓN	FECHA FABRICACIÓN	DIMENSIONES ENSAYO (cm)					ÁREA PROM. (cm <sup>2</sup> )	P.ESPEC. (gr/cm <sup>3</sup> )	CARGA		$f_b$	
			CARA SUPERIOR		CARA INFERIOR		ALFURA			(KN)	(Ton)	(Mpa)	(kg / cm <sup>2</sup> )
			LARGO	ANCHO	LARGO	ANCHO							
1	5-A	***	17,5	16,4	17,5	16,5	8,4	287,44	1,46	325,09	33,15	11,31	115,33
2	5-B	***	17,5	16,4	17,4	16,4	8,3	283,34	1,43	293,31	29,91	10,28	104,82
3	5-C	***	17,5	16,4	17,4	16,5	8,3	286,64	1,44	350,08	35,70	12,21	124,54
4	5-D	***	17,6	16,5	17,5	16,6	8,3	289,16	1,45	311,10	31,72	10,76	109,71
5	5-E	***	17,4	16,5	17,6	16,4	8,4	287,03	1,47	295,98	30,18	10,31	105,15
<b>PROMEDIO:</b>									1,46	318,11	32,13	10,87	111,91

Observación: El muestreo y resultados de los ensayos son responsabilidad del cliente.

ING. MERCEDES VILLACÍS  
 JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300  
 Ext.: 1609

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 email: laboratoriocivilepn@yahoo.com



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS**



**RESISTENCIA A COMPRESIÓN LADRILLO**

INF. No. 18 - 0096-I  
 Hoja 03 de 08

Quito, 15 de mayo de 2016

**SOLICITA:** STERVEN CUTI, ANDRÉS URBINA  
**Atención:** Scceven Cuti, Andrés Urbina  
**Dirección:** Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía (EPN)  
**PROYECTO:** TESIS - ANÁLISIS DE LA RE-VALORIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS DE LA PTAR EL PERAL, AMBATO, PARA INSUMOS DE MAMPOSTERÍA  
**CONTRATISTA:** \*\*\*\*\*  
**FISCALIZADOR:** \*\*\*\*\*  
**MUESTRA:** LADRILLOS 10%  
**NORMA:** INEN 297, INEN 294

N°	CÓDIGO IDENTIFICACIÓN	FECHA FABRICACIÓN	DIMENSIONES ENSAYO (cm)					ÁREA PROM. (cm <sup>2</sup> )	P.ESPEC. (gr/cm <sup>3</sup> )	CARGA		f' b	
			CARA SUPERIOR		CARA INFERIOR		ALTURA			(KN)	(Ton)	(Mpa)	(kg / cm <sup>2</sup> )
			LARGO	ANCHO	LARGO	ANCHO							
1	10-A	***	17,4	16,6	17,4	16,5	8,4	287,12	1,40	223,82	22,82	7,80	79,49
2	10-B	***	17,4	16,4	17,4	16,5	8,3	285,39	1,44	201,71	20,57	7,07	72,07
3	10-C	***	17,4	16,4	17,5	16,5	8,2	285,77	1,55	204,93	20,90	7,17	73,12
4	10-D	***	17,6	16,4	17,4	16,4	8,3	285,74	1,49	190,12	19,39	6,65	67,85
5	10-E	***	17,6	16,5	17,4	16,3	8,3	286,16	1,51	235,04	23,97	8,21	83,75
<b>PROMEDIO:</b>									1,48	211,12	21,53	7,33	75,26

Observación: El muestreo y resultados de los ensayos son responsabilidad del lealista.

  
 ING. MERCEDES VILLACÍS  
 JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300  
 Ext.: 1609



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



RESISTENCIA A COMPRESIÓN LADRILLO

INF. No. 15 - 0096-I  
Hoja 04 de 06

Quito, 15 de mayo de 2018

SOLICITA: STEEVEN CUTI, ANDRÉS URBINA  
Atención: Steeven Cuti, Andrés Urbina  
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía (EPN)  
PROYECTO: TESIS - ANÁLISIS DE LA RE-VALORIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS DE LA PTAR EL PERAL, AMBATO, PARA INSUMOS DE MAMPOSTERÍA  
CONTRATISTA: \*\*\*\*\*  
FISCALIZADOR: \*\*\*\*\*  
MUESTRA: LADRILLOS 15%  
NORMA: INEN 294:78, INEN 297:2014

N.-	CÓDIGO IDENTIFICACIÓN	FECHA FABRICACIÓN	DIMENSIONES ENSAYO (cm)					ÁREA PROM. (cm <sup>2</sup> )	P.ESPEC. (gr/cm <sup>3</sup> )	CARGA		f <sub>b</sub>	
			CARA SUPERIOR		CARA INFERIOR		ALTURA			[KN]	[Ton]	[Mpa]	[kg/cm <sup>2</sup> ]
			LARGO	ANCHO	LARGO	ANCHO							
1	15-A	***	17,5	16,5	17,6	16,6	8,3	289,60	1,49	138,26	14,10	4,77	48,68
2	15-B	***	17,6	16,5	17,5	16,4	8,3	289,70	1,23	164,62	16,79	5,70	58,15
3	15-C	***	17,5	16,4	17,5	16,6	8,3	289,73	1,20	167,25	17,86	5,79	59,07
4	15-D	***	17,4	16,4	17,4	16,6	8,3	285,84	1,40	145,83	14,79	5,07	51,74
5	15-E	***	17,5	16,4	17,5	16,3	8,3	286,33	1,35	164,56	16,78	5,75	58,65
PROMEDIO:									1,33	155,95	15,90	5,42	56,28

Observación: El muestreo y resultados de los ensayos son responsabilidad del testista.



ING. MERCEDES VILLACÍS  
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofc. M15 email: laboratoriocivilepn@yahoo.com





**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
 LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



**RESISTENCIA A COMPRESIÓN LADRILLO**

INF. No. 18 - 0099-I  
 Hoja 05 de 06

Quito, 15 de mayo de 2018

**SOLICITA:** STEEVEN CUTI ANDRÉS URBINA  
**Atención:** Steeven Cuti, Andrés Urbina  
**Dirección:** Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía (EPN)  
**PROYECTO:** TESIS - ANÁLISIS DE LA RE-VALORIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS DE LA PTAR EL PERAL, AMBATO, PARA INSUMOS DE MAMPOSTERÍA.  
**CONTRATISTA:** \*\*\*\*\*  
**FISCALIZADOR:** \*\*\*\*\*  
**MUESTRA:** LADRILLOS 20%  
**NORMA:** INEN 294/78, INEN 297/2014

N.-	CÓDIGO IDENTIFICACIÓN	FECHA FABRICACIÓN	DIMENSIONES ENSAYO (cm)					ÁREA PROM. (cm <sup>2</sup> )	P.ESPEC. (g/cm <sup>3</sup> )	CARGA		f <sub>d</sub>	
			CARA SUPERIOR		CARA INFERIOR		ALTURA			(KN)	(Ton)	(Mpa)	(kg / cm <sup>2</sup> )
			LARGO	ANCHO	LARGO	ANCHO							
1	20-A	***	17,6	16,5	17,4	16,4	8,2	286,62	1,23	138,62	14,14	4,84	49,32
2	20-B	***	17,4	16,4	17,5	16,4	8,3	283,77	1,40	147,21	15,01	5,15	52,53
3	20-C	***	17,5	16,6	17,3	16,5	8,4	287,54	1,43	155,60	15,87	5,41	55,18
4	20-D	***	17,5	16,4	17,3	16,5	8,3	288,79	1,24	173,08	17,65	6,06	61,75
5	20-E	***	17,5	16,4	17,4	16,5	8,3	286,62	1,38	143,66	14,65	5,01	51,11
<b>PROMEDIO:</b>									1,34	151,83	15,46	5,29	53,96

Observación: El muestreo y resultados de los ensayos son responsabilidad del tesista.

ING. MERCEDES VILLACÍS  
 JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300  
 Ext.: 1609



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



RESISTENCIA A COMPRESIÓN LADRILLO

INF. No. 18 - 0099-I  
Hoja 05 de 06

Quito, 15 de mayo de 2018

SOLICITA: STEEVEN CUTI, ANDRÉS URBINA  
Atención: Steeven Cuti, Andrés Urbina  
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía (EPN)

PROYECTO: TESIS - ANÁLISIS DE LA RE-VALORIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS DE LA PEAR EL PERAL, AMBATO, PARA INSUMOS DE MAMPOSTERÍA

CONTRATISTA: \*\*\*\*\*  
FISCALIZADOR: \*\*\*\*\*  
MUESTRA: LADRILLOS 30%  
NORMA: INEN 294:78, INEN 297:2014

M.	CÓDIGO IDENTIFICACIÓN	FECHA FABRICACION	DIMENSIONES ENSAYO (cm)					ÁREA PROM. (cm <sup>2</sup> )	P.ESPEC. (gr/cm <sup>3</sup> )	CARGA		f' b	
			CARA SUPERIOR		CARA INFERIOR		ALTURA			(KN)	(Ton)	(Mpa)	(kg / cm <sup>2</sup> )
			LARGO	ANCHO	LARGO	ANCHO							
1	30-A	***	17,5	16,4	17,6	16,4	8,4	286,13	1,26	128,01	13,05	4,47	45,62
2	30-B	***	17,5	16,6	17,5	16,5	8,4	288,36	1,23	98,86	10,08	3,43	34,96
3	30-C	***	17,3	16,5	17,3	16,4	8,4	284,15	1,30	139,67	14,24	4,92	50,12
4	30-D	***	17,5	16,4	17,6	16,4	8,3	286,13	1,27	136,08	13,88	4,76	48,50
5	30-E	***	17,6	16,5	17,6	16,5	8,4	289,14	1,33	117,04	11,94	4,05	41,28
PROMEDIO:									1,28	123,93	12,64	4,32	44,09

Observación: El muestreo y resultados de los ensayos son responsabilidad del cliente.

  
ING. MERCEDES VILLACÍS  
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 email: laboratoriocivilepn@yahoo.com



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



**FLEXIÓN EN LADRILLO**

INF. No. 018 - 0100-1  
Hoja 01 de 06

Quito, 15 de mayo de 2018

**SOLICITA:** STEEVEN CUTI ANDRÉS URBINA

**Atención:** Steeven Cuti, Andrés Urbina

**Dirección:** Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía (EPN)

**PROYECTO:** TESIS - ANÁLISIS DE LA RE-VALORIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS DE LA PTAR EL PERAL, AMBATO, PARA INSUMOS DE MAMPOSTERÍA

**CONTRATISTA:** \*\*\*\*

**FISCALIZADOR:** \*\*\*\*

**MUESTRA:** LADRILLOS PATRÓN

**NORMA:** NTE INEN 296:2015/ NTE INEN 297:1977

N <sup>o</sup>	CÓDIGO IDENTIFICACIÓN	DIMENSIONES ENSAYO			DISTANCIA ENTRE APOYOS (mm)	CARGA DE ROTURA (G) (N)	MÓDULO DE ROTURA (R) (MPa)
		LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)			
1	1-P	353,50	177,00	80,60	148,00	16200,00	3,13
2	2-P	350,50	175,50	80,60	150,00	11380,00	2,25
3	3-P	341,50	178,50	82,00	148,00	13400,00	2,48
4	4-P	351,50	176,50	82,50	148,00	15100,00	2,79
5	5-P	352,50	177,00	79,55	148,00	14800,00	2,93
<b>PROMEDIO:</b>						14176,0	2,72

Observación: El muestreo y resultados de los ensayos son responsabilidad del testista.

  
ING. MERCEDES VILLACÍS  
JEFE DEL LABORATORIO



Tel.: 2976300  
Ext.: 1609



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



**FLEXIÓN EN LADRILLO**

INF. No. 018 - 0100-1  
Hoja 02 de 06

Quito, 15 de mayo de 2015

**SOLICITA:** STEEVEN CUTI, ANDRÉS URBINA  
**Atención:** Steeven Cuti, Andrés Urbina  
**Dirección:** Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía (EPN)

**PROYECTO:** TESIS - ANÁLISIS DE LA RE-VALORIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS DE LA PTAR EL PERAL, AMBATO, PARA INSUMOS DE MAMPOSTERÍA

**CONTRATISTA:** \*\*\*\*  
**FISCALIZADOR:** \*\*\*\*

**MUESTRA:** LADRILLOS 5%  
**NORMA:** NTE INEN 296:2015 / NTE INEN 297:1977

N.	CÓDIGO IDENTIFICACIÓN	DIMENSIONES ENSAYO			DISTANCIA ENTRE APOYOS (mm)	CARGA DE ROTURA (G) (N)	MÓDULO DE ROTURA (R) (MPa)
		LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)			
1	5-A	356,00	164,00	80,60	148,00	6540,00	1,36
2	5-B	351,00	162,50	80,60	150,00	8300,00	1,77
3	5-C	352,00	163,00	82,00	148,00	13200,00	2,67
4	5-D	351,50	161,00	82,50	148,00	11700,00	2,37
5	5-E	352,50	162,50	79,55	148,00	10600,00	2,29
<b>PROMEDIO:</b>						10068,0	2,09

Observación: El muestreo y resultados de los ensayos son responsabilidad del testista.

  
ING. MERCEDES VILLACÍS  
JEFE DEL LABORATORIO



Tel.: 2976300  
Ext.: 1609



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



### FLEXIÓN EN LADRILLO

INF. No. 018 - 0100-1  
Hoja 03 de 06

Quito, 15 de mayo de 2018

**SOLICITA:** STEEVEN CUTI, ANDRÉS URBINA  
**Atención:** Steeven Cuti, Andrés Urbina  
**Dirección:** Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía (EPN)

**PROYECTO:** TESIS - ANÁLISIS DE LA RE-VALORIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS DE LA PTAR EL PERAL, AMBATO, PARA INSUMOS DE MAMPOSTERÍA

**CONTRATISTA:** \*\*\*\*  
**FISCALIZADOR:** \*\*\*\*

**MUESTRA:** LADRILLOS 10%  
**NORMA:** NTE INEN 296:2015/ NTE INEN 297:1977

N°	CÓDIGO IDENTIFICACIÓN	DIMENSIONES ENSAYO			DISTANCIA ENTRE APOYOS (mm)	CARGA DE ROTURA (G) (N)	MÓDULO DE ROTURA (R) (MPa)
		LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)			
1	10-A	351,50	162,00	80,85	145,00	7800,00	1,60
2	10-B	350,50	163,50	81,75	146,00	10200,00	2,04
3	10-C	352,50	164,00	79,50	153,00	8140,00	1,80
4	10-D	350,00	163,00	80,40	151,00	8400,00	1,81
5	10-E	351,00	162,00	81,55	151,00	6430,00	1,35
<b>PROMEDIO:</b>						8194,0	1,72

**Observación:** El muestreo y resultados de los ensayos son responsabilidad del testista.

  
ING. MERCEDES VILLACÍS  
JEFE DEL LABORATORIO



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS**



**FLEXIÓN EN LADRILLO**

INP. No. 018 - 0100-1  
 Hoja 04 de 06

Quito, 15 de mayo de 2018

**SOLICITA:** STEEVEN CUTI, ANDRÉS URBINA  
**Atención:** Steeven Cuti, Andrés Urbina  
**Dirección:** Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía (EPN)  
**PROYECTO:** TESIS - ANÁLISIS DE LA RE-VALORIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS DE LA PTAR EL PERAL, AMBATO, PARA INSUMOS DE MAMPOSTERÍA  
**CONTRATISTA:** \*\*\*\*\*  
**FISCALIZADOR:** \*\*\*\*\*  
**MUESTRA:** LADRILLOS 15%  
**NORMA:** NTE INEN 296:2015/ NTE INEN 297:1977

N.º	CÓDIGO IDENTIFICACIÓN	DIMENSIONES ENSAYO			DISTANCIA ENTRE APOYOS (mm)	CARGA DE ROTURA (G) (N)	MÓDULO DE ROTURA (R) (MPa)
		LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)			
1	15-A	351,00	176,00	80,20	150,00	12600,00	2,50
2	15-B	350,68	176,50	81,05	150,00	5300,00	1,03
3	15-C	352,00	178,00	81,50	147,00	3800,00	0,71
4	15-D	341,50	178,50	79,35	151,00	5470,00	1,10
5	15-E	320,00	171,50	80,75	150,00	4700,00	0,95
<b>PROMEDIO:</b>						6374,00	1,26

Observación: El muestreo y resultados de los ensayos son responsabilidad del testista.



ING. MERCEDES VILLACÍS  
 JEFE DEL LABORATORIO



Telf.: 2976300  
 Ext.: 1609



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
 LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



**FLEXIÓN EN LADRILLO**


INF. No. 018 - 0100-1  
 Hoja 05 de 06

Quito, 15 de mayo de 2018.

**SOLICITA:** STEEVEN CUTI, ANDRÉS URBINA  
**Atención:** Steeven Cuti, Andrés Urbina  
**Dirección:** Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía (EPN)  
**PROYECTO:** TESIS - ANÁLISIS DE LA RE-VALORIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS DE LA PTAR EL PERAL, AMBATO, PARA INSUMOS DE MAMPOSTERÍA  
**CONTRATISTA:** \*\*\*\*  
**FISCALIZADOR:** \*\*\*\*  
**MUESTRA:** LADRILLOS 20%  
**NORMA:** NTE INEN 296:2015/ NTE INEN 297:1977

N°	CÓDIGO IDENTIFICACIÓN	DIMENSIONES ENSAYO			DISTANCIA ENTRE APOYOS (mm)	CARGA DE ROTURA (G) (N)	MÓDULO DE ROTURA (R) (MPa)
		LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)			
1	20-A	351,50	175,00	80,80	152,00	3030,00	0,60
2	20-B	350,50	175,50	81,55	151,00	4700,00	0,91
3	20-C	352,50	177,00	82,30	150,00	4900,00	0,92
4	20-D	351,50	177,50	80,50	152,00	4120,00	0,82
5	20-E	350,00	175,00	80,15	150,00	10340,00	2,07
<b>PROMEDIO:</b>						5418,0	1,065

Observación: El muestreo y resultados de los ensayos son responsabilidad del tesista.

  
 ING. MERCEDES VILLACÍS  
 JEFE DEL LABORATORIO



Telf.: 2976300  
 Ext.: 1609



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
 LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



**FLEXIÓN EN LADRILLO**

INF. No. 018 - 0100-I  
 Hoja 06 de 06

Quito, 15 de mayo de 2018

**SOLICITA:** STEEVEN CUTI, ANDRÉS URBINA  
**Atención:** Steeven Cuti, Andrés Urbina  
**Dirección:** Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía (EPN)

**PROYECTO:** TESIS - ANÁLISIS DE LA RE-VALORIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS DE LA PTAR EL PERAL, AMBATO, PARA INSUMOS DE MAMPOSTERÍA

**CONTRATISTA:** \*\*\*\*  
**FISCALIZADOR:** \*\*\*\*  
**MUESTRA:** LADRILLOS 30%  
**NORMA:** NTE INEN 296:2015/ NTE INEN 297:1977

N.º	CÓDIGO IDENTIFICACIÓN	DIMENSIONES ENSAYO			DISTANCIA ENTRE APOYOS (mm)	CARGA DE ROTURA (G) (N)	MÓDULO DE ROTURA (R) (MPa)
		LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)			
1	30-A	353,00	179,50	82,25	153,00	6320,00	1,19
2	30-B	353,50	177,00	80,25	150,00	6320,00	1,25
3	30-C	351,00	178,00	80,55	151,00	4700,00	0,92
4	30-D	353,00	177,00	81,55	152,00	5800,00	1,12
5	30-E	352,00	173,00	81,90	153,00	4300,00	0,85
<b>PROMEDIO:</b>						5488,0	1,068

Observación: El muestreo y resultados de los ensayos son responsabilidad del tesista.

  
 ING. MERCEDES VILLACÍS  
 JEFE DEL LABORATORIO



Tel.: 2976300  
 Ext.: 1609





**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



### ABSORCIÓN LADRILLOS

INF. No. 18 - 0101 - I

Quito, 15 de mayo de 2018

Hoja 01 de 06

**SOLICITA:** STEEVEN CUTI ANDRES URBINA  
**Atención:** Steeven Cuti, Andrés Urbina  
**Dirección:** Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía (EPN)  
**PROYECTO:** TESIS - ANÁLISIS DE LA RE-VALORIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS DE LA PTAR EL PERAL, AMBATO, PARA INSUMOS DE MAMPOSTERÍA  
**CONTRATISTA:** \*\*\*\*  
**FISCALIZADOR:** \*\*\*\*  
**MUESTRA:** LADRILLOS PATRÓN  
**NORMAS:** NTE INEN 295:1977 / NTE INEN 297:1977

MUESTRA	CÓDIGO IDENTIFICACIÓN	PESO SSS (gr)	PESO SECO (gr)	ABSORCIÓN %
1	1-P	8904,8	8089,6	10,08
2	2-P	9226,8	8289,5	11,31
3	3-P	7811,1	7098,4	10,04
4	4-P	8960,2	8064,9	11,10
5	5-P	8853,7	7898,3	12,10
PROMEDIO:				10,92

Observación: El muestreo y resultados de los ensayos son responsabilidad del testista.

  
Ing. Mercedes Villacis  
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300  
Ext.: 1609



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



### ABSORCIÓN LADRILLOS

INF. No. 18 - 0101 - 1

Quito, 15 de mayo de 2018

Hoja 02 de 06

**SOLICITA:** STEEVEN CUTI ANDRÉS URBINA  
**Atención:** Steeven Cuti, Andrés Urbina  
**Dirección:** Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía (EPN)  
**PROYECTO:** TESIS - ANÁLISIS DE LA RE-VALORIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS DE LA PTAR EL PERAL, AMBATO, PARA INSUMOS DE MAMPOSTERÍA  
**CONTRATISTA:** \*\*\*  
**FISCALIZADOR:** \*\*\*  
**MUESTRA:** LADRILLOS 5%  
**NORMAS:** NTE INRN 296:2015/ NTE INEN 297:1977

MUESTRA	CÓDIGO IDENTIFICACIÓN	PESO SSS (gr)	PESO SECO (gr)	ABSORCIÓN %
1	5-A	8299,3	7355,6	12,83
2	5-B	8144,3	7115,5	14,46
3	5-C	8333,3	7512,7	10,92
4	5-D	8229,5	7254,8	13,44
5	5-E	8132,5	7287,5	11,80
PROMEDIO:				12,65

Observación: El muestreo y resultados de los ensayos son responsabilidad del tesista.

Ing. Mercedes Villacís  
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300  
Ext.: 1609



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



### ABSORCIÓN LADRILLOS

INF. No. 18 - 0101 - 1

Quito, 15 de mayo de 2018

Hoja 03 de 06

**SOLICITA:** STEEVEN CUTI, ANDRÉS URBINA  
**Atención:** Steeven Cuti, Andrés Urbina  
**Dirección:** Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía (BPN)  
**PROYECTO:** TESIS - ANÁLISIS DE LA RE-VALORIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS DE LA PTAR EL PERAL, AMBATÓ, PARA INSUMOS DE MAMPOSTERÍA  
**CONTRATISTA:** \*\*\*  
**FISCALIZADOR:** \*\*\*  
**MUESTRA:** LADRILLOS 10%  
**NORMAS:** NTE INEN 296:2015/ NTE INEN 297:1977

MUESTRA	CÓDIGO IDENTIFICACIÓN	PESO SSS (gr)	PESO SECO (gr)	ABSORCIÓN %
1	10-A	8269,3	6790,5	22,07
2	10-B	8144,3	6987,8	16,55
3	10-C	8507,5	7634,7	11,43
4	10-D	8498,8	7189,7	18,21
5	10-E	8495,1	7009,6	21,19
PROMEDIO:				17,89

Observación: El muestreo y resultados de los ensayos son responsabilidad del testista.

  
Ing. Mercedes Villacís  
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
 LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



**ABSORCIÓN LADRILLOS**

INF. No. 18 - 0101 - I


Quito, 15 de mayo de 2018

Hoja 04 de 06

**SOLICITA:** STEEVEN CUTI ANDRÉS URBINA  
**Atención:** Steeven Cuti, Andrés Urbina  
**Dirección:** Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía (EPN)  
**PROYECTO:** TESIS - ANÁLISIS DE LA RE-VALORIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS DE LA PTAR EL PERAL, AMBATO, PARA INSUMOS DE MAMPOSTERÍA  
**CONTRATISTA:** \*\*\*  
**FISCALIZADOR:** \*\*\*  
**MUESTRA:** LADRILLOS 15%  
**NORMAS:** NTE INEN 296:2015/ NTE INEN 297:1977

MUESTRA	CÓDIGO IDENTIFICACIÓN	PESO SSS (gr)	PESO SECO (gr)	ABSORCIÓN %
1	15-A	7597,9	7108,7	6,68
2	15-B	7667,3	6039,9	26,84
3	15-C	7418,1	6029,6	23,03
4	15-D	7811,1	6511,9	19,95
5	15-E	6949,5	6065,1	14,58
<b>PROMEDIO:</b>				18,28

Observación: El muestreo y resultados de los ensayos son responsabilidad del tesista.

  
 Ing. Mercedes Villacis  
 JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300  
 Ext.: 1609



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



### ABSORCIÓN LADRILLOS

INF. No. 18 - 0101 - I

Hoja 05 de 06

Quito, 15 de mayo de 2018

**SOLICITA:** STEEVEN CUTI, ANDRÉS URBINA  
**Atención:** Steeven Cuti, Andrés Urbina  
**Dirección:** Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía (EPN)  
**PROYECTO:** TESIS - ANÁLISIS DE LA RE-VALORIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS DE LA PTAR EL PERAL, AMBAÍO, PARA INSUMOS DE MAMPOSTERÍA  
**CONTRATISTA:** \*\*\*  
**FISCALIZADOR:** \*\*\*  
**MUESTRA:** LADRILLOS 20%  
**NORMAS:** NTE INEN 296:2015 / NTE INEN 297:1977

MUESTRA	CÓDIGO IDENTIFICACIÓN	PESO SSS (gr)	PESO SECO (gr)	ABSORCIÓN %
1	20-A	7778,1	6243,5	24,58
2	20-B	7853,3	6530,4	20,26
3	20-C	8092,7	6998,8	15,63
4	20-D	7900,9	6389,5	23,65
5	20-E	7657,7	6607,6	15,89
PROMEDIO:				20,00

Observación: El muestreo y resultados de los ensayos son responsabilidad del tesista.

  
Ing. Mercedes Villacís  
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
 LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



**ABSORCIÓN LADRILLOS**

INF. No. 18 - 0101 - 1

Quito, 15 de mayo de 2018

Hoja 06 de 06

**SOLICITA:** STEEVEN CUTI, ANDRÉS URBINA  
**Atención:** Steeven Cuti, Andrés Urbina  
**Dirección:** Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía (EPN)

**PROYECTO:** TESIS - ANÁLISIS DE LA RE-VALORIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS DE LA PTAR EL PERAL, AMBATO, PARA INSUMOS DE MAMPOSTERÍA

**CONTRATISTA:** \*\*\*

**FISCALIZADOR:** \*\*\*

**MUESTRA:** LADRILLOS 30%

**NORMAS:** NTE INEN 296:2015/ NTE INEN 297:1977

MUESTRA	CÓDIGO IDENTIFICACIÓN	PESO SSS (gr)	PESO SECO (gr)	ABSORCIÓN %
1	30-A	7604,4	6243,5	21,80
2	30-B	7704,6	6040,7	27,54
3	30-C	7969,1	6198,8	28,56
4	30-D	7790,3	6208,4	25,48
5	30-E	8096,4	6607,5	22,53
<b>PROMEDIO:</b>				25,18

Observación: El muestreo y resultados de los ensayos son responsabilidad del testista.

  
 Ing. Mercedes Villacís  
 JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300  
 Ext.: 1609



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA



Resultados Análisis de Difracción de Rayos X

Solicitante : Srs. Steeven Cuti y Andrés Urbina / Ph.D. Ana Lucia Balarezo  
 No. Referencia : RM- 9201  
 Fecha : 18 - 01 - 2018  
 Muestras recibidas : Dos muestras sólidas denominadas:  
 Muestra 1 : M-Arcilla (*Código Registrado*)  
 Muestra 2 : M-Lodo (*Código Registrado*)


La determinación de los compuestos con cristalización definida presentes en las muestras se realizó empleando el Difractómetro D8 ADVANCE y el programa Diffrac plus (EVA Y TOPAS) para cualificación y semi-cuantificación. A continuación se detallan los resultados obtenidos del análisis.

Mineral	Fórmula	Muestra 1 Contenido (%)	Muestra 2 Contenido (%)
Grupo Plagioclasas (albita, andesina, anortita)	$(\text{Na,Ca})\text{Al}(\text{Si,Al})\text{Si}_2\text{O}_6$	72	72
Caolinita	$\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$	10	7
Cordierita	$\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$	7	3
Moscovita	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	3	3
Cuarzo	$\text{SiO}_2$	5	2
Dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	1	12
Montmorillonita	$(\text{Na,Ca})_{0,3}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	1	1
Estilbita	$\text{CaAl}_2\text{Si}_7\text{O}_{18} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	1	--

**NOTA:** El límite de detección del equipo empleado es del 1% para compuestos con cristalización definida. Las muestras presentan importante presencia de material amorfo no cuantificado por esta técnica de análisis.

  
 Ing. Alicia Guevara Ph.D.  
 Jefe de Departamento



  
 MSc. Evelyn Criollo  
 Jefe de Laboratorio

  
 Ing. Kieber Collantes  
 Responsable



## ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

### Resultados de Análisis

Solicitante: Srs. Esteeven Cuti y Andrés Urbina / PhD. Ana Lucia Balarezo

Referencia: RM - 9201

Fecha: 18/01/2018

Muestras recibidas: Dos muestras sólidas denominadas:

Muestra 1: M-Arcilla (Código Registrado)

Muestra 2: M-Lodo (Código Registrado)

#### Resultados pérdidas por calcinación

La calcinación se la realizó en una mufla marca: SNOL durante media hora, a la temperatura de 950 grados centígrados. Los resultados obtenidos se detallan a continuación:


	Valor
Muestra 1	9,39 %
Muestra 2	13,40 %

#### Resultados Análisis Fluorescencia de Rayos X

El análisis químico de las muestras se determinó en el equipo de Fluorescencia de rayos X S8 Tiger, con el programa Spectra Pluss. A continuación se detallan los resultados obtenidos del análisis:

Elemento	Muestra 1	Muestra 2
	Contenido	Contenido
Si	22,86 (%)	19,65 (%)
Al	7,57 (%)	6,32 (%)
Fe	3,80 (%)	3,20 (%)
Ca	2,92 (%)	6,44 (%)
Na	2,22 (%)	2,09 (%)
Mg	0,92 (%)	1,19 (%)
K	0,82 (%)	1,89 (%)
Ti	0,34 (%)	0,35 (%)
Ba	0,10 (%)	---
Mn	0,07 (%)	0,05 (%)
Sr	0,06 (%)	0,05 (%)
P	0,05 (%)	0,17 (%)
S	0,02 (%)	0,15 (%)
V	0,02 (%)	---
Cu	0,02 (%)	0,02 (%)
Zn	0,01 (%)	0,03 (%)
Ni	81,90 ppm	79,17 ppm

  
 Ing. Alicia Guevara Ph.D.  
 Jefe de Departamento

  
 MSc. Evelyn Cuollo  
 Jefe de Laboratorio

  
 Ing. Kléber Collantes  
 Responsable





**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**



Resultados Análisis de Difracción de Rayos X

Solicitante : Srs. Steeven Cuti Y Andrés Urbina / Ing. German Luna.  
 No. Referencia : RM- 9292  
 Fecha : 20 - 04 - 2018  
 Muestras recibidas : Una muestra sólida denominada:  
 Muestra 1 : Muestra de suelo (Código Registrado)

La determinación de los compuestos con cristalización definida presentes en la muestra se realizó empleando el Difractómetro D8 ADVANCE y el programa Diffrac plus (EVA Y TOPAS) para cualificación y semi-cuantificación. A continuación se detallan los resultados obtenidos del análisis.

Mineral	Fórmula	Muestra 1 Contenido (%)
Grupo Plagioclasas (albita, andesina, anortita)	$(\text{Na}, \text{Ca})\text{Al}(\text{Si}, \text{Al})\text{Si}_2\text{O}_6$	71
Cordierita	$\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$	13
Muscovita	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	6
Cuarzo	$\text{SiO}_2$	4
Andradita	$\text{Ca}_3(\text{Fe}^{2+})_2(\text{SiO}_4)_3$	2
Hematita	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	2
Leucita	$\text{KAlSi}_2\text{O}_6$	1
Mordenita	$(\text{Na}, \text{Ca}, \text{K})_4(\text{Al}_8\text{Si}_{40})\text{O}_{96} \cdot 28\text{H}_2\text{O}$	1

NOTA: El límite de detección del equipo empleado es del 1% para compuestos con cristalización definida. La muestra presenta gran contenido de material amorfo no cuantificado por esta técnica de análisis.

  
 Ing. Alicia Guevara-Ph.D.  
 Jefe de Departamento



MSc. Evelyn Criollo  
 Jefe de Laboratorio

  
 Ing. Kléber Collantes  
 Responsable



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

**Resultados de Análisis**

Solicitante: Srs. Steeven Cuti Y Andrés Urbina / Ing. German Luna.

Referencia: RM - 9292

Fecha: 20/04/2018

Muestras recibidas: Una muestra sólida denominada:

Muestra 1: Muestra de suelo (Código Registrado)

**Resultados pérdidas por calcinación**

La calcinación se la realizó en una mufla marca: SNOI, durante media hora, a la temperatura de 950 grados centígrados. Los resultados obtenidos se detallan a continuación:

	Valor
Muestra 1	8,81 %

**Resultados Análisis Fluorescencia de Rayos X**

El análisis químico de las muestras se determinó en el equipo de Fluorescencia de rayos X S8 Tiger, con el programa Spectra Plus. A continuación se detallan los resultados obtenidos del análisis:

Elemento	Muestra 1	Óxidos	Muestra 1
	Contenido (%)		Contenido (%)
Si	27,89	SiO <sub>2</sub>	59,67
Al	8,55	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,16
Fe	3,95	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,65
Ca	3,16	CaO	4,41
Na	2,32	Na <sub>2</sub> O	3,13
Mg	0,97	MgO	1,61
K	0,87	K <sub>2</sub> O	1,05
Ti	0,36	TiO <sub>2</sub>	0,59
Mn	0,08	MnO	0,11
Ce	0,07	CeO <sub>2</sub>	0,09
Sr	0,06	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,08
P	0,04	SrO	0,06
Zn	0,01	ZnO	0,02
Cu	0,01	CuO	0,01
Cl	0,06		

  
Ing. Alicia Guevara Ph.D.  
Jefe de Departamento



MSc. Evelyn Criollo  
Jefe de Laboratorio

  
Ing. Kleber Collantes  
Responsable



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**



**Resultado de análisis por Espectrometría de Absorción Atómica**

**Solicitante:** Steeven Cuti y Andrés Urbina  
**Referencia:** RM - 9294  
**Fecha:** 20-04-18  
**Muestra:** Una muestra de lodo residual  
**Método:** Una muestra de ladrillo de mezcla  
 Se realiza una lixiviación del material en relación 1:20 sólido/ líquido, se controla el pH inicial con ácido acético hasta 4.5, se agita durante 24 horas, se determina la concentración de los elementos de interés.  
 de absorción atómica.

La cuantificación de los metales se lo realizó empleando el espectrómetro de Absorción Atómica marca Perkin Elmer modelo Aanalyst 300. A continuación los resultados:

Muestra	Determinación	Resultados
Lodo residual de la PTARM	Zinc Cobre Níquel	0,05 mg/L 0,05 mg/L 0,44 mg/L

  
 Ing. Alicia Guevara C. Ph.D.  
 Jefe de Departamento



  
 MSc. Evelyn Criollo T.  
 Jefe de Laboratorio



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**



**Resultado de análisis por Espectrometría de Absorción Atómica**

**Solicitante:** Steeven Cuti y Andrés Urbina  
**Referencia:** RM - 9291  
**Fecha:** 20-04-18  
**Muestra:** Una muestra de ladrillo de mezcla  
**Método:** Se realiza una lixiviación del material en relación 1:20 sólido/ líquido, se controla el pH inicial con ácido acético hasta 4.5, se agita durante 24 horas, se determina la concentración de los elementos de interés.

La cuantificación de los metales se lo realizó empleando el espectrómetro de Absorción Atómica marca Perkin Elmer modelo Aanalyst 300. A continuación los resultados:

Muestra	Determinación	Resultados
M- ladrillo	Zinc Cobre Niquel	0,12 mg/L 3,00 mg/L 20,90 mg/L

  
 Ing. Alicia Guevara C. PhD.  
 Jefe de Departamento



  
 MSc. Evelyn Criollo T.  
 Jefe de Laboratorio



**6.3 ANEXO N° 3: TABLA 2 DE LA NORMA MEXICANA NOM-052-SEMARNAT-2005**

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-052-SEMARNAT-2005, QUE ESTABLECE LAS CARACTERÍSTICAS, EL PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y LOS LISTADOS DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS.

---

**TABLA 2**  
**LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA LOS CÓNSTITUYENTES TOXICOS EN EL**  
**EXTRACTO PECT**

No. CAS <sub>1</sub>	Contaminante	(mg/L)
<b>CÓNSTITUYENTES INORGÁNICOS (METALES)</b>		
7440-38-2	Arsénico	5.0
7440-39-3	Bario	100.0
7440-43-9	Cadmio	1.0
7440-47-3	Cromo	5.0
7439-97-6	Mercurio	0.2
7439-92-1	Plata	5.0
7 439-92-1	Plomo	5.0
7782-49-2	Selenio	1.0

## **6.4 ANEXO N° 4: REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL TRABAJO**



## PTAR, El Tejar



Fotografía 1. Filtro Biológico.



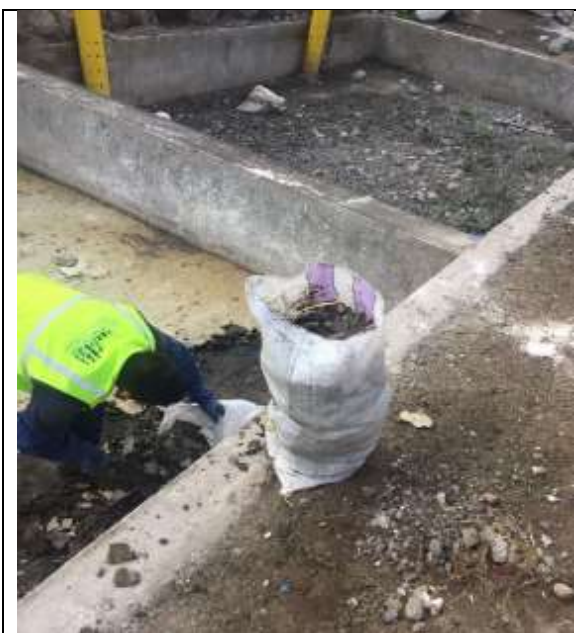
Fotografía 2. Tanque de Coloración.



Fotografía 3. Fosa Séptica.



Fotografía 4. Lecho de secado.



Fotografía 5. Recolección de la muestra de lodo.

## Ladrillera



Fotografía 7. Preparación de los materiales.



Fotografía 8. Cocción de ladrillos.



Fotografía 9. Secado de ladrillos de mezcla.



Fotografía 10. Extracción del suelo



Fotografía 11. Maquinaria para elaborar ladrillos.



Fotografía 12. Identificación de los ladrillos de mezcla.



Fotografía 13. Ladrillos de mezcla cocidos.





Fotografía 14. Ladrillos de mezcla recocho.



Fotografía 15. Equipo de trabajo.

**Análisis de laboratorio**

	
<p>Fotografía 16. Determinación del contenido humedad (%)</p>	<p>Fotografía 17. Preparación del hexametafosfato de sodio al 5%.</p>
	
<p>Fotografía 18. Determinación del índice de plasticidad.</p>	<p>Fotografía 19. Densidad de sólidos.</p>



Fotografía 20. pH de la muestra de lodo.



Fotografía 21. Muestra de suelo para el ensayo de hidrómetro



Fotografía 22. Ensayo del hidrómetro.



Fotografía 23. Tamizado de la muestra de lodo.



Fotografía 24. Muestra de lodo y de suelo para ensayo de DRx y FRx.



Fotografía 25. Muestra de lodo para ensayo TCLP.



Fotografía 26. Preparación del medio nutritivo Agar.



Fotografía 27. Desesterilización del medio de cultivo.



Fotografía 28. Perlador.



Fotografía 29. Difractor de Rayos X.



Fotografía 30. Espectrofotómetro de Florescencia de Rayos X S8 Tiger.



Fotografía 31. Pulverizador BLEULER-MILL.



## Pruebas mecánicas a los ladrillos



Fotografía 32. Identificación de los ladrillos.



Fotografía 33. Pesado de los ladrillos



Fotografía 34. Medición de las dimensiones del ladrillos



Fotografía 35. Secado de los ladrillos cocidos



Fotografía 36. Revestido de los ladrillos para el ensayo de compresión



Fotografía 37. Ensayo de flexión



Fotografía 38. Material después del ensayo de flexión



Fotografía 39. Ladrillos de mezcla con diferente proporción de lodo

## **6.5 ANEXO N° 5: NORMATIVA NTE-INEN 294, 295, 296 y 297**

CNU 691-431

C0102-01-311

**IEN**

Norma Técnica Ecuatoriana	<b>LADRILLOS CERÁMICOS DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN</b>	<b>NIEN 294 1977-05</b>
<b>1. OBJETO</b>		
1.1 Esta norma tiene por objeto establecer el método de ensayo de ladrillos cerámicos que se empujan en alfilereta para determinar su resistencia a la compresión.		
<b>2. ALCANCE</b>		
2.1 Esta norma comprende los ladrillos cerámicos fabricados en arcilla moldeada y cocida. No comprende a los ladrillos refractarios o fabricados con materiales sílico-carbáceos.		
<b>3. RESUMEN</b>		
3.1 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.		
<b>4. DISPOSICIÓN ESPECÍFICA</b>		
4.1 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 van a actuar sobre él en las construcciones. En caso de duda, esta dirección corresponderá a la menor dimensión del ladrillo.		
<b>5. MÉTODO</b>		
<b>5.1 Instrumental</b>		
5.1.1 Puede usarse cualquier máquina de compresión provista de plato con rola de segmento esférico, siempre que las superficies de contacto de los apoyos sean iguales o mayores que las muestras de prueba.		
<b>5.2 Preparación de las muestras</b>		
5.2.1 Las muestras a utilizarse consisten en mitades de ladrillos con caras planas y paralelas, obtenidas de cinco ladrillos secos, enteros y sin defectos apreciables, cortados mediante herramientas adecuadas, para evitar que se deterioren las aristas.		
5.2.2 En caso de que las muestras presenten irregularidades de forma o sus caras tengan estrías o ranuras, se someterán al siguiente tratamiento de preparación:		
a) Se resquebrajan las caras de la muestra, que van a estar en contacto con la máquina, con una capa compuesta por una mezcla que contenga azufre en proporción de 40 a 60% o (en masa) con arcilla, ceniza volcánica u otro material fuerte. La aplicación de esta capa se hará de la manera indicada en el Anexo A.		

(Continúa)

-1-

1077-00005

b) Una vez aplicadas las capas de la mezcla de azufre, se dejará enfriar durante un tiempo mínimo dos horas.
c) Cuando la superficie de la muestra presente coqueadas, se limpiarán con pasta de cemento Portland, que se dejará fraguar durante 24 horas, después de las cuales se procederá a la aplicación de la capa.
<b>5.3 Procedimiento</b>
5.3.1 Las muestras se ensayan centrándolas con respecto a la rola y de manera que la carga se aplique en la dirección de su menor dimensión.
5.3.2 Aproximadamente hasta la mitad de la carga máxima probable, se aplica ésta a cualquier velocidad. La carga restante se aplica gradualmente, en un tiempo no inferior a un minuto ni superior a dos.
<b>5.4 Cálculos</b>
5.4.1 La resistencia a la compresión se calcula por la ecuación siguiente:
$C = \frac{P}{A}$
Siendo:
C = La resistencia a la compresión, en Megapascuales.
P = La carga de rola, en Newtons.
A = Área de la sección en milímetros cuadrados.
5.4.2 La superficie A se calcula por la ecuación siguiente:
$A = a \times l$
Siendo:
a = ancho de la muestra, en milímetros.
l = largo de la muestra, en milímetros.
<b>5.5 Expresión de los resultados</b>
5.5.1 El promedio de los valores obtenidos en cinco muestras representa la resistencia a la compresión del lote de ladrillos sometidos a ensayo.

(Continúa)

-2-

1077-00005

<p>b) Una vez aplicadas las capas de la mezcla de azufre, se dejara enfriar durante un tiempo minimo dos horas.</p> <p>c) Cuando la superficie de la muestra presente coqueadas, se llenaran con pasta de cemento Portland, que se dejara fraguar durante 24 horas, despues de las cuales se procederá a la aplicacion de la capas.</p> <p><b>5.3 Procedimiento</b></p> <p>5.3.1 Las muestras se ensayan centradas con respecto a la roblita y de manera que la carga se aplique en la direccion de su menor dimension.</p> <p>5.3.2 Aproximadamente, hasta la mitad de la carga maxima probable, se aplica esta a cualquier velocidad. La carga restante se aplica gradualmente, en un tiempo no inferior a un minuto ni superior a dos.</p> <p><b>5.4 Calculos</b></p> <p>5.4.1 La resistencia a la compresion se calcula por la ecuacion siguiente:</p> $C = \frac{P}{A}$ <p>Siendo:</p> <p>C = La resistencia a la compresion, en Megapascuales.</p> <p>P = La carga de rotura, en Newtones.</p> <p>A = Area de la seccion en milímetros cuadrados.</p> <p>5.4.2 La superficie A se calcula por la ecuacion siguiente:</p> $A = a \times l$ <p>Siendo:</p> <p>a = ancho de la muestra, en milímetros.</p> <p>l = largo de la muestra, en milímetros.</p> <p><b>5.5 Expresion de los resultados</b></p> <p>5.5.1 El promedio de los valores obtenidos en cinco muestras representa la resistencia a la compresion del lote de ladrillos sometidos a ensayo.</p>	<p style="text-align: center;"><b>ANEXO A</b></p> <p><b>A.1 Colocacion de las capas de mezcla de azufre</b></p> <p>A.1.1 Colocar cuatro barras de acero de seccion transversal cuadrada de 25 mm de lado, sobre una lamina metalica previamente impregnada en aceite, para formar un molde rectangular, aproximadamente 12 mm mayor que las dimensiones de las aristas de la muestra.</p> <p>A.1.2 Calentar la mezcla de azufre en un recipiente controlado termostaticamente, hasta una temperatura suficiente para mantener la fluidez por un periodo de tiempo razonable, despues del contacto con la superficie que se esta cubriendo. Debe evitarse el sobrecalentamiento y agriarse el liquido en el recipiente inmediatamente antes de usarlo.</p> <p>A.1.3 Llenar el molde con la mezcla derretida. Colocar rapidamente la cara de la muestra que se este abisando en el liquido y acomodarla de tal manera que sus ejes formen angulos rectos con la superficie cubierta. Repetir la operacion para la cara opuesta.</p> <p>A.1.4 El espesor de las dos capas debera ser aproximadamente el mismo y debera permitirse que la muestra permanezca sin perturbaciones hasta la solidificacion completa de las mismas.</p>
--	---

-3-

19/7-2003

(Continúa)

-3-

19/7-2003

(Continúa)



Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 295:1977

FECHA DE CONFIRMACIÓN: 2014-11-21

**LADRILLOS CERÁMICOS,  
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN**

**DETERMINACION DE LA**

Primera edición

CERAMIC BRICKS. DETERMINATION OF BENDING STRENGTH

First edition

DESCRIPCIONES: Ladrillos cerámicos, resistencia, flexión  
 CO 02.07-302  
 COU 097.441  
 ISO 81.100.25

COE 401.421



CO 02.07-302

<p>Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria</p>	<p>LADRILLO CERÁMICOS DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA FLEXION</p>	<p>INEN 295 1977-05</p>
<p><b>1. OBJETO</b></p> <p>1.1 Esta norma tiene por objeto establecer el método de ensayo de los ladrillos cerámicos empleados en alfarería para determinar su resistencia a la flexión.</p>		
<p><b>2. ALCANCE</b></p> <p>2.1 Esta norma comprende los ladrillos cerámicos fabricados de arcilla molida y cocida. No comprende a los ladrillos refractarios o fabricados con materiales sílico-calceos.</p>		
<p><b>3. RESUMEN</b></p> <p>3.1 El procedimiento descrito en esta norma se basa en la aplicación de una carga progresiva de flexión a una muestra de ladrillo, hasta determinar su resistencia máxima admisible.</p>		
<p><b>4. MÉTODO</b></p>		
<p><b>4.1 Instrumental</b></p> <p>4.1.1 Puede usarse cualquier máquina de las empleadas para ensayos de flexión, siempre que los apoyos tengan una longitud por lo menos igual al ancho de la muestra de prueba y aseguren su cortado total y permanentemente con la misma.</p>		
<p><b>4.2 Preparación de las muestras</b></p> <p>4.2.1 Las muestras a utilizarse consistirán en cinco ladrillos secos, enteros y sin defectos apreciados.</p>		
<p><b>4.3 Procedimiento</b></p> <p>4.3.1 Colocar el ladrillo de muestra con su cara mayor sobre los apoyos, asegurando una separación de 15cm entre estos. Hacer descender la pieza superior hasta obtener un contacto directo con la superficie en el centro de la luz. Las tres líneas de contacto se marcarán paralelas. Aplicar la carga hasta la rotura de la muestra.</p>		
<p>4.3.2 La velocidad de aplicación de la carga será tal que el cabezal de la máquina no avance más de 1,5 mm por minuto.</p>		
<p><b>4.4 Cálculo</b></p> <p>4.4.1 El módulo de rotura se calcula con la ecuación siguiente:</p> $R = \frac{3ML}{b d^2}$		
<p>Siendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>R = módulo de rotura, en Megapascas.</li> <li>G = carga de rotura, en Newtons.</li> <li>L = distancia entre apoyos en milímetros.</li> <li>B = ancho de cara a cara de la muestra, en milímetros.</li> <li>D = promedio del espesor de cara a cara de la muestra en milímetros.</li> </ul>		
<p><b>4.5 Exposición de los resultados</b></p> <p>4.5.1 El promedio de los valores obtenidos en cinco muestras representa la resistencia a la flexión del lote de ladrillos sometidos a ensayo.</p>		

(Continúa)



<p>Norma Técnica Estándar Voluntaria</p>	<p><b>LADRILLO CERÁMICOS DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA FLEXION</b></p>	<p><b>INEN 295</b> 1977-05</p>
<p><b>1. OBJETO</b></p>		
<p>1.1 Esta norma tiene por objeto establecer el método de ensayo de los ladrillos cerámicos empleados en alfarería para determinar su resistencia a la flexión.</p>		
<p><b>2. ALCANCE</b></p>		
<p>2.1 Esta norma comprende los ladrillos cerámicos fabricados de arcilla moldeada y cocida. No comprende a los ladrillos refractarios o fabricados con materiales sílico-calcareos.</p>		
<p><b>3. RESUMEN</b></p>		
<p>3.1 El procedimiento descrito en esta norma se basa en la aplicación de una carga progresiva de flexión a una muestra de ladrillos, hasta determinar su resistencia máxima admisible.</p>		
<p><b>4. MÉTODO</b></p>		
<p><b>4.1 Instrumental</b></p>		
<p>4.1.1 Puede usarse cualquier máquina de los empalmados para ensayos de flexión, siempre que los apoyos tengan una longitud por lo menos igual al ancho de la muestra de prueba y aseguren su contacto total y permanente con la misma.</p>		
<p><b>4.2 Preparación de las muestras</b></p>		
<p>4.2.1 Las muestras a utilizarse consisten en cinco ladrillos secos, enteros y sin defectos apreciables.</p>		
<p><b>4.3 Procedimiento</b></p>		
<p>4.3.1 Colocar el ladrillo de muestra con su cara mayor sobre los apoyos, asegurando una separación de 15cm entre estos. Hacer descender la pieza superior hasta obtener un contacto directo con la superficie en el centro de la luz. Las tres líneas de cortado se mantendrán paralelas. Aplicar la carga hasta la rotura de la muestra.</p>		
<p>4.3.2 La velocidad de aplicación de la carga será tal que el cabezal de la máquina no avance más de 1,5 mm por minuto.</p>		
<p><b>4.4 Cálculo</b></p>		
<p>4.4.1 El módulo de rotura se calcula con la ecuación siguiente:</p>		
$R = \frac{3W \cdot G}{L \cdot b^2 \cdot T}$		
<p>Siendo:</p>		
<p>R = módulo de rotura, en Megapascas.              G = carga de rotura, en Newtons.              L = distancia entre apoyos en milímetros.              b = ancho de cara a cara de la muestra, en milímetros.              T = promedio del espesor de cara a cara de la muestra en milímetros.</p>		
<p><b>4.5 Expresión de los resultados</b></p>		
<p>4.5.1 El promedio de los valores obtenidos en cinco muestras representa la resistencia a la flexión de lote de ladrillos sometidos a ensayo.</p>		

(Continúa)

**APÉNDICE Y**

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

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

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

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

(Continúa)



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

**NORMA  
TÉCNICA  
ECUATORIANA**

**NTE INEN 296**  
Primera revisión  
2015-12

**LADRILLOS CERÁMICOS. DETERMINACIÓN DE ABSORCIÓN DE HUMEDAD**

**CERAMIC BRICKS. DETERMINATION OF MOISTURE ABSORPTION**

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

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

#### 1. OBJETO

#### 2. REFERENCIAS NORMATIVAS

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

NTE INEN 292, Ladrillos cerámicos. Maestro

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

#### 3. DEFINICIONES

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

#### 4. MÉTODO DE ENSAYO

##### 4.1 Generalidades

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

##### 4.2 Equipo

Los equipos que se deben utilizar son los siguientes:

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

##### 4.3 Preparación de las muestras

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



NTE INEN 296

2015-12

#### 4.4 Procedimiento

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

#### 4.5 Cálculo

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

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

donde

$P_1$  es la masa de la muestra desecada.

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

#### 4.6 Expresión de los resultados

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



Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 297:1977

FECHA DE CONFIRMACIÓN: 2014-06-03

COE: 601421



CO 02:07-401

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	LADRILLOS CERÁMICOS REQUISITOS	INEN 297 1977-05
--------------------------------------	--------------------------------	------------------

1. OBJETO

1.1 Esta norma tiene por objeto establecer los requisitos que deben cumplir los ladrillos cerámicos empleados en la construcción.

2. ALCANCE

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

3. CLASIFICACION

3.1 Para los efectos de esta norma, los ladrillos cerámicos se clasifican en macizos y huecos.

3.2 Los ladrillos macizos se clasifican, de acuerdo a su calidad, en tres tipos: tipo A, tipo B y tipo C.

3.3 Los ladrillos huecos se clasifican, de acuerdo a su uso, en tres tipos: tipo D, tipo E y tipo F.

4. REQUISITOS

4.1 De acuerdo a la clasificación del numeral 3, los ladrillos cerámicos macizos deberán cumplir con las siguientes características fundamentales:

4.1.1 El tipo A, será ladrillo repretensado, de color rojo uniforme, con ángulos rectos y aristas rectas. No tendrá manchas, eflorescencias, quemados ni desdoblados aparentes en caras y aristas.

4.1.2 El tipo B, será ladrillo de máquina, de color rojo, con ángulos rectos y aristas rectas, diferenciándose del tipo A, en que puede tener pequeñas imperfecciones en sus caras exteriores, así como variaciones de rectitud en sus aristas hasta de 5 mm.

4.1.3 El tipo C, será semejante al tipo B, diferenciándose de él en que puede, además, ser fabricado a mano y tener imperfecciones en sus caras exteriores, así como variaciones de rectitud en sus aristas hasta de 8 mm.

4.2 De acuerdo a la clasificación del numeral 3, los ladrillos cerámicos huecos deberán ser ladrillos de máquina, de color rojo, con ángulos rectos y aristas rectas.

4.3 De acuerdo a la clasificación del numeral 3, los ladrillos cerámicos huecos se emplearán en los siguientes usos estructurales.

4.3.1 El tipo D, podrá emplearse en la construcción de muros soportantes, tabiques divisorios no soportantes y relleno de losas alivianadas de hormigón armado.

LADRILLOS CERÁMICOS. REQUISITOS

Primera edición

CERAMIC BRICKS. REQUIREMENTS

First edition

Instituto Ecuatoriano de Normalización  
 CO 02:07-401  
 QUITO 001 401  
 ICB: 01 100,25

(Continúa)

4.3.2 El tipo E, podrá emplearse únicamente en la construcción de tabiques divisorios no soportantes y rellenos de losas alivianadas de hormigón armado.

4.3.3 El tipo F, podrá emplearse únicamente en el relleno de losas alivianadas de hormigón armado.

4.4 De acuerdo a la clasificación del numeral 3, los ladrillos cerámicos deberán cumplir con los requisitos que se indican en la Tabla 1.

Tabla 1. Requisitos de resistencia mecánica y absorción de la humedad que deben cumplir los ladrillos cerámicos.

Tipo De Ladrillo	Resistencia mínima a la compresión MPa* (Ver nota 1)		Resistencia mínima a la flexión MPa* (Ver nota 1)	Promedio de 5 unidades	Absorción máxima de humedad %
	Promedio de 6 unidades	Individual			
mazca tipo A	25	20	4	4	15
mazca tipo B	16	14	3	3	18
mazca tipo C	8	6	2	2	25
hueco tipo D	6	5	4	4	15
hueco tipo E	4	4	3	3	18
hueco tipo F	3	3	2	2	25
Método de ensayo	INEN 294		INEN 295		INEN 296

#### 5. SELECCIÓN DE MUESTRAS

5.1 Las muestras de ladrillo se seleccionarán de acuerdo a la Norma INEN 292, Ladrillos cerámicos, Muestreo.

NOTA 1: 1 MPa = 10 kg/cm<sup>2</sup>