

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES

COHORTE 2021

TEMA: Aprovechamiento del lodo producido por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Cantón Ambato como materia prima en la fabricación de ladrillo.

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del Título de Cuarto Nivel de Magister en Producción y Operaciones Industriales

Modalidad del Trabajo de Titulación: Proyectos de Desarrollo

Autor: Ingeniero Alex Gabriel Jarrín López

Director: Ingeniero Luis Alberto Morales Perrazo Magister

Ambato – Ecuador

2023

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

El Tribunal receptor del Trabajo de Titulación, presidido por la Ingeniera Elsa Pilar Urrutia Urrutia Magister, e integrado por los señores: Ingeniero Fernando Urrutia Urrutia Magister, e Ingeniera Daysi Margarita Ortiz Guerrero Magister, designados por la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “Aprovechamiento del lodo producido por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Cantón Ambato como materia prima en la fabricación de ladrillo” elaborado y presentado por el Ingeniero Alex Gabriel Jarrín López, para optar por el Título de cuarto nivel de Magíster en Producción y Operaciones Industriales; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación, el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.

Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia.Mg.

Presidente y Miembro del Tribunal

Ing. Fernando Urrutia Urrutia, Mg

Miembro del Tribunal

Ing. Daysi Margarita Ortiz Guerrero, Mg

Miembro del Tribunal

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: “Aprovechamiento del lodo producido por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Cantón Ambato como materia prima en la fabricación de ladrillo”, le corresponde exclusivamente a: Ingeniero Alex Gabriel Jarrín López, Autor bajo la Dirección de Ingeniero Alberto Morales Perrazo Magister, Director del Trabajo de Titulación, y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Alex Gabriel Jarrín López

c.c.:1804334413

AUTOR

Ing. Luis Alberto Morales Perrazo Mg.

c.c.: 1803485695

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ing. Alex Gabriel Jarrín López

c.c.:18044334413

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

1	Portada	i
	A la Unidad Académica de Titulación	ii
	CAPÍTULO I.....	15
	EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	15
1.1	Introducción.....	15
1.3	Objetivos	18
1.3.1	General	18
1.3.2	Específicos	18
2	CAPÍTULO II.....	19
	ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	19
2.1	Planta de tratamiento de aguas residuales	19
2.2	Lodos residuales y contaminación ambiental.....	22
2.3	Lodos primarios o lodos provenientes de tratamientos físico-químicos	23
2.4	Lodos secundarios	24
2.5	Caracterización de los tipos de lodos	24
2.6	Tratamientos y usos de los lodos.....	26
2.7	Planta de tratamiento de aguas residuales del cantón Ambato.....	28
2.8	Aspectos técnicos de la fabricación de ladrillos cerámicos.....	30
2.9	Desecho peligroso	35
2.10	Prueba estadística de Tukey	36
2.11	Antecedentes investigativos	37
3	CAPÍTULO III.....	39
	MARCO METODOLÓGICO.....	39
3.1	Ubicación.....	39
3.2	Equipos y materiales	39
3.3	Tipo de investigación	41
3.4	Prueba de Hipótesis - pregunta científica – idea a defender	41
3.5	Población o muestra:	42

3.6	Recolección de información.....	42
3.6.1.	Proceso de fabricación de ladrillos	43
3.6.2.	Ensayo resistencia mínima a la compresión	51
3.6.3.	Ensayo absorción máxima de agua.....	53
3.6.4.	Ensayo resistencia a la flexión.....	55
3.7	Procesamiento de la información y análisis estadístico:	57
3.8	Variables respuesta o resultados alcanzados	58
5	CAPÍTULO IV	59
6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
4.1.	Manejo actual de los lodos residuales producto de cada tratamiento.....	59
4.2.	Caracterización de lodos residuales (CRETIB).....	62
4.3.	Análisis de resistencia a la compresión	65
4.4.	Análisis del módulo de rotura a la flexión	67
4.5.	Análisis de absorción máxima de humedad	69
4.6.	Comprobación de la hipótesis	70
4.7.	Análisis económico y ambiental.....	83
4.7.1.	Análisis de Costos	83
4.7.2.	Beneficio ambiental	98
7	CAPÍTULO V	99
8	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS	99
5.1.	Conclusiones	99
5.2.	Recomendaciones.....	100
5.3.	Bibliografía.....	101
5.4.	Anexos.....	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Límites máximos permisibles la descarga a un cuerpo de agua dulce.....	21
Tabla 2.2: Valores Característicos de los Parámetros más Frecuentes de los Lodos.....	25
Tabla 2.3: Concentraciones permisibles de metales pesados.....	26
Tabla 2.4: Tratamiento de lodos residuales y métodos empleados.....	27
Tabla 2.5: Requisitos que deben cumplir los ladrillos cerámicos.....	34
Tabla 2.6: Parámetros CRETIB y sus propiedades.....	35
Tabla 2.7: Límites máximos permisibles en el extracto PECT	36
Tabla 3.1: Materiales y equipos necesarios para la investigación	40
Tabla 3.2: Instituciones requeridas para el desarrollo de la investigación.....	40
Tabla 3.3: Definición porcentajes de lodo para la experimentación.....	43
Tabla 3.4: Conceptualización variable independiente	58
Tabla 4.1: Caracterización del lodo residual en comparación con los parámetros CRETIB	63
Tabla 4.2: Resultados del análisis de compresión	66
Tabla 4.3: Resultados del análisis del módulo de rotura.....	68
Tabla 4.4: Resultados absorción máxima de humedad	70
Tabla 4.5: Comparaciones múltiples variable resistencia a la compresión.....	71
Tabla 4.6: Prueba de Tukey variable resistencia a la compresión	74
Tabla 4.7: Comparaciones múltiples variable módulo de rotura	75
Tabla 4.8: Prueba de Tukey módulo de rotura.....	78
Tabla 4.9: Comparaciones múltiples variable porcentaje de absorción.....	79
Tabla 4.10: Prueba de Tukey porcentaje de absorción	82
Tabla 4.11: Cálculo costos de materia prima para ladrillo común	83
Tabla 4.12: Cálculo costo energético proceso mezclado-extrusión para ladrillo común.....	84
Tabla 4.13: Cálculo costo energético proceso secado para ladrillo común	84
Tabla 4.14: Cálculo costo proceso quemado para ladrillo común	85
Tabla 4.15: Cálculo costo mano de obra directa para ladrillo común.....	85
Tabla 4.16: Cálculo costo transporte para ladrillo común	85
Tabla 4.17: Costo total para ladrillo común.....	86
Tabla 4.18: Cálculo costos de materia prima.....	86
Tabla 4.19: Cálculo costo energético proceso Mezclado-Extrusión.....	87
Tabla 4.20: Cálculo costo energético proceso secado.....	87
Tabla 4.21: Cálculo costo proceso quemado	88
Tabla 4.22: Cálculo costo mano de obra directa	88
Tabla 4.23: Cálculo costo transporte	88
Tabla 4.24: Costo Total.....	89

Tabla 4.25: Balance General	91
Tabla 4.26: Estado de resultados	92
Tabla 4.27: Estado de resultados (Continuación)	93
Tabla 4.28: Estado de Resultados Proyectado	94
Tabla 4.29: Flujo de Caja.....	94
Tabla 4.30: Punto de equilibrio.....	95
Tabla 4.31: Datos para el cálculo Tmar 1	96
Tabla 4.32: Datos para el cálculo de Tmar 2	96
Tabla 4.33. Análisis TMAR 1	96
Tabla 4.34. Análisis TMAR 2	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Decantación primaria	29
Figura 2: Reactor biológico.....	30
Figura 3: Decantador secundario	30
Figura 4: Ubicación de la PTAR tomada de Google Earth.....	39
Figura 5: Muestreo de lodos residuales	42
Figura 6: Área de secado de fangos	44
Figura 7: Fangos secos y húmedos	44
Figura 8: Reducción de material con zaranda.....	45
Figura 9: Mezcla de barro, aserrín y fangos	45
Figura 10: Humectación de material con agua	46
Figura 11: Mezcla de materiales	46
Figura 12: Preparación de muestra para macerado.....	47
Figura 13: Máquina trituradora.....	47
Figura 14: Bandas transportadoras a máquina de extrusión	48
Figura 15: Máquina de extrusión	48
Figura 16: Máquina cortadora de ladrillo	49
Figura 17: Señalización de ladrillos.....	49
Figura 18: Secado al ambiente en parihuelas.....	50
Figura 19: Cuarto de secado	50
Figura 20: Horno de leña	51
Figura 21: Corte de ladrillo.....	51
Figura 22: Refrentado superior e inferior	52
Figura 23: Máquina de compresión	52
Figura 24: Ensayo resistencia mínima a la compresión.....	53
Figura 25: Secado de ladrillo en horno.....	53
Figura 26: Peso del espécimen seco antes de la inmersión.....	54
Figura 27: Ladrillos sumergidos en agua.....	54
Figura 28: Peso de ladrillo húmedo	55
Figura 29: Señalización de ladrillos.....	55
Figura 30: Colocación de ladrillo a ensayar.	56
Figura 31: Configuración de datos de máquina de flexión.....	56
Figura 32: Ensayo con precarga máxima de 1KN	57
Figura 33: Medición de distancia promedio de falla	57
Figura 34: Espesador por gravedad y equipo de flotación de fangos.	59
Figura 35: Tanque de homogenización de lodos	59
Figura 36: Digestores anaerobios y calefacción de lodos.....	60
Figura 37: Depósito tampón.....	60

Figura 38: Deshidratación de fangos mediante centrifuga	61
Figura 39: Silo de almacenamiento de fangos deshidratados	61
Figura 40. Lecho de secado de lodos	62
Figura 41: Comparación de costos.....	90

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ser mi guía y mi camino

A mis padres por brindarme su amor y apoyo incondicional

A mis hermanos quienes siempre me apoyan a cada momento.

A mi tutor por su apoyo y su valioso conocimiento en el desarrollo de este proyecto.

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a mis padres Marcelino y Angelita, por brindarme todo su amor y apoyo incondicional para poder lograr todas mis metas personales y profesionales; por ser ese ejemplo de lucha y superación, por creer en mí y ayudarme a seguir superándome cada día.

A mis hermanos, Kevin y Jonathan porque han sido un pilar en mi vida, apoyándome en cada paso que doy en mi vida.

A mi familia, por su cariño, amor y apoyo en cada momento.

Alex Jarrín López

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES

COHORTE 2021

TEMA:

APROVECHAMIENTO DEL LODO PRODUCIDO POR LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CANTÓN AMBATO COMO MATERIA PRIMA EN LA FABRICACIÓN DE LADRILLO

MODALIDAD DE TITULACIÓN: Proyectos de desarrollo

AUTOR: Ingeniero Alex Gabriel Jarrín López

DIRECTOR: Ingeniero Luis Alberto Morales Perrazo Magister.

FECHA: 26 de septiembre de 2023

RESUMEN EJECUTIVO

El manejo y la disposición final adecuada de los lodos residuales en el mundo, se ha convertido en un proceso complejo debido a las consecuencias ambientales que se derivan de su composición. Es por ello que se recalca la importancia de realizar una investigación cuyo objetivo general es evaluar el aprovechamiento del lodo producido por la planta de tratamiento de aguas residuales del Cantón Ambato como materia prima en la fabricación de ladrillo. La investigación se caracteriza por tener un enfoque cuantitativo, y ser de tipo descriptiva y experimental, se ha realizado la caracterización de lodos residuales mediante el análisis CRETIB, en donde el residuo no se considera como desecho peligroso, de igual forma se ha determinado el porcentaje adecuado de lodo en la fabricación de ladrillos artesanales mediante la revisión bibliográfica, los mismos que fueron de 10 y 20% de lodo seco y húmedo respectivamente, así mismo se ha comparado la calidad de los ladrillos artesanales obtenidos con los ladrillos presentes en el mercado mediante ensayos de resistencia a la compresión, resistencia mínima a la flexión y absorción máxima de humedad bajo la Norma INEN 297. Como resultados se obtuvieron que el ladrillo compuesto por el 20% de lodo seco tiene un promedio de resistencia mínima a la compresión de 3.16MPa, una resistencia a la flexión de 3.165MPa y un porcentaje de absorción de humedad del 24.63% los cuales se acercaron a los valores establecidos en la Norma INEN 297, de igual manera en el análisis económico se obtuvo un menor costo al involucrar este lodo ya que se redujo a 0.14ctvs en comparación con el costo del ladrillo común de 0.18ctvs. Al realizar la prueba de Tukey para diferencias significativas se aceptó

la hipótesis nula concluyendo que los lodos provenientes de la PTAR sirven para la elaboración de ladrillos artesanales, y es una alternativa viable para su aprovechamiento.

Descriptor: aprovechamiento, construcción, ladrillo, lodo, residuo

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

El manejo y la disposición final adecuada de los lodos residuales en el mundo, se ha convertido en un proceso complejo debido a las consecuencias ambientales que se derivan de su composición físico química y microbiológica [1]. Si bien es cierto existen varias investigaciones que muestran que estos residuos pueden ser utilizados con fines agrícolas, creación de carbón activado, entre otros, también hay investigaciones en donde es empleado como material de construcción, en la fabricación de material cerámico, producción de concreto, construcción de carreteras y edificaciones [2].

Los usos de lodos residuales para la elaboración de material de construcción se acreditan con las diferentes investigaciones que demuestran su viabilidad [3], sin embargo, es necesario ampliar estas investigaciones debido a la variabilidad que existe en el proceso y producción en las plantas de tratamiento. El presente trabajo se realiza teniendo como base un análisis bibliográfico, que se considera como prioritario para dar viabilidad a este tema, de igual manera se opta por un diseño experimental en donde se han realizado varias versiones del ladrillo artesanal en donde se incluye un porcentaje de lodo residual, este nos permite conocer qué porcentaje de lodo es el apropiado para las mezclas con el fin de conseguir los mejores resultados en las pruebas de compresión, resistencia y absorción máxima de humedad. Previamente, se realizó una caracterización físico química y biológica de los lodos residuales a utilizarse con el objetivo de descartar que el residuo sea peligroso, mediante el análisis CRETIB (Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable y Biológico infeccioso) realizado por un laboratorio acreditado.

De igual manera es importante recalcar que los lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales difieren en sus características debido a los procesos de tratamiento en sí, y a los aditivos que se colocan. Los lodos de la PTAR de la ciudad de Ambato no han sido estudiados y tampoco se les ha dado un aprovechamiento adecuado, en este punto recae la importancia de la investigación.

La investigación se encuentra distribuida en 5 capítulos: en el primero se menciona la problemática del tema, en donde se considera al lodo residual como un residuo no aprovechado debido a que es enviado a los rellenos sanitarios; el segundo capítulo hace referencia a los antecedentes investigativos, de los cuales se toma en consideración los porcentajes de lodos más apropiados para poder realizar los tratamientos, estos fueron el 10 y 20% de lodo seco y húmedo respectivamente, y el marco referencial en donde se revisan temas como el tratamiento de aguas residuales, los lodos residuales, el aprovechamiento de lodos y los aspectos técnicos de los ladrillos para aplicaciones específicas de construcción

En el tercer capítulo se aborda el marco metodológico en donde se muestra el procedimiento que se ha realizado, desde la revisión bibliográfica para el establecimiento de porcentajes, la caracterización de lodos mediante análisis CRETIB, los tratamientos realizados, es decir, la fabricación de ladrillo artesanal con 10 y 20% de lodo seco y húmedo y el procedimiento de los análisis de compresión, flexión y absorción de humedad; el cuarto capítulo contiene los resultados de la fabricación de los ladrillos en donde mediante el análisis CRETIB realizado se estableció como residuo no peligroso, de igual manera los ladrillos con 20% de lodo seco llegan a tener un promedio de 3.16 MPa de resistencia a la compresión, 3.17 MPa en el módulo de rotura y finalmente, 24.34% de porcentaje de absorción.

En el quinto capítulo se concluye que mediante la fabricación de ladrillos con los diferentes porcentajes de lodo residual y la comparación de los análisis con la Norma INEN 297, el ladrillo fabricado con el 20% de lodo seco tiene las características más acercadas para la construcción. De igual manera, al realizar el análisis económico el costo de ladrillo con lodo seco llega a presentar un valor de 0.14 ctvs a comparación del ladrillo común de 0.18 ctvs. Antes de realizar trabajos con residuos que puedan ser considerados peligrosos se recomienda tener un conocimiento previo de su composición y evitar el contacto directo, aunque el lodo residual se considere como no peligroso siempre tener en cuenta los equipos de protección personal necesarios para su manejo.

1.2 Justificación

Actualmente, realizar la adecuada disposición de los lodos residuales que genera una PTAR se considera uno de los principales retos a los que se enfrentan las empresas que prestan servicios de acueducto y alcantarillado, debido a que estos representan una fuente de contaminación importante. La disposición final de estos residuos genera ciertos gastos económicos debido a que demandan ciertas instalaciones para su tratamiento como reactores o sistemas de estabilización, es por ello que en ocasiones se vierten en cuerpos de agua o se envían a rellenos sanitarios aumentando la contaminación y desaprovechando su potencial [4].

Se ha analizado de manera particular la situación de la Planta de Tratamiento de Aguas residuales de EMAPA del cantón Ambato y sus procesos dejan como resultado una alta producción de lodos residuales, que después de pasar por su tratamiento de secado son enviados al relleno sanitario, lo cual ocasiona costos altos en su transporte y su acumulación. Con el propósito de dar un manejo integral a esta problemática surge la necesidad de estructurar una alternativa para el aprovechamiento de lodos residuales, dado que la mayoría de estos lodos tienen propiedades físico - químicas que pueden aprovecharse de manera sostenible, es por ello que se propone su utilización como materia prima en la fabricación de ladrillos, mejorando ciertas propiedades de estos como la resistencia mecánica, contracción, impermeabilidad, entre otras [2].

El estudio al ser aplicado a una escala industrial ayudará a solucionar el problema de acumulación de lodos, previniendo la contaminación del suelo por su inadecuada disposición, la contaminación del aire por la emanación de olores y la proliferación de vectores en el área. El aprovechamiento de este residuo beneficia a la industria de construcción debido a que les permite adquirir materia prima con precios más asequibles. Así mismo, ayuda al campo científico incrementando conocimientos basados en principios de economía circular con el aprovechamiento de un residuo.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

- Evaluar el aprovechamiento del lodo producido por la planta de tratamiento de aguas residuales del Cantón Ambato como materia prima en la fabricación de ladrillo.

1.3.2 Específicos

- Caracterizar los lodos residuales mediante parámetros CRETIB y su manejo actual.
- Determinar el porcentaje adecuado de lodo presente en la fabricación de ladrillos artesanales.
- Comparar la calidad de los ladrillos artesanales obtenidos con los ladrillos presentes en el mercado mediante ensayos de resistencia a la compresión, resistencia mínima a la flexión y absorción máxima de humedad.
- Establecer los beneficios económicos y ambientales que surgen de la fabricación de ladrillos con lodos residuales.

CAPÍTULO II

ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

2.1 Planta de tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales tiene como propósito la remoción de contaminantes presentes en el agua para evitar la contaminación de fuentes hídricas por su disposición, este tema ha tomado gran importancia en cuanto a temas de cuidado ambiental se refiere. Las aguas residuales pueden tratarse hasta obtener diferentes calidades que permite satisfacer distintos sectores incluidos la industria y la agricultura. El reúso del agua residual se muestra como una solución al problema de la escasez mundial de agua, además los productos secundarios que se forman pueden ser valiosos para distintos sectores como la agricultura o la industria [5].

En un estudio realizado por el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF) en diez países se calcula que existen 7 000 plantas de tratamiento de aguas residuales de origen doméstico, sin embargo, estas solo cubren entre en 30% y 40% de las aguas recolectadas municipales y se encuentran en estado deficiente. México y Brasil muestran el mayor número de PTARs con 2785 y 2479 respectivamente, mientras que en Ecuador solo existen 41 [2]. Es importante destacar también que, de los 32 países de América Latina, 9 disponen de información completa referente a la generación, tratamiento y reutilización de aguas residuales mientras que 10 de ellos presentan información parcial y los 13 restantes no realizan ningún reporte [4]. Las aguas residuales son producto de los procesos domésticos e industriales y se realiza básicamente en tres etapas:

- **Tratamiento preliminar y primario (asentamiento de sólidos)**

Consiste en la eliminación de sólidos gruesos, reduciendo la carga contaminante en sus aguas residuales. En este tratamiento se elimina entre el 40-60% de los sólidos, dependiendo de la calidad requerida, normalmente se utilizan rejillas, filtros, sistemas de flotación o sistemas de floculación y flotación [6].

- **Tratamiento secundario**

Conocida como tratamiento biológico, es requerida para las industrias que descargan residuos líquidos a un cuerpo de agua natural y la contaminación del agua es elevada. Este tipo de tratamiento hace uso de microorganismos para remover materia biodegradable disuelta. En general estos sistemas se dividen en dos grupos, uno que consiste en el tratamiento biológico de la materia orgánica transformándola en sólidos suspendidos, y el otro en procesos que se pueden eliminar fácilmente como sistemas de flotación o sistemas de floculación y flotación combinados [7]. Este tipo de tratamiento elimina aproximadamente el 90% de los contaminantes y completa el proceso para la parte líquida de las aguas residuales separadas. El tratamiento puede incluir el proceso de fangos activos, seguido de camas filtrantes o de oxidación y por último el proceso de sedimentación secundaria [8].

- **Tratamiento terciario**

Este tratamiento consiste en procesos físicos y químicos especiales con los que se consigue limpiar las aguas de contaminantes concretos como fosforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, virus, compuestos orgánicos, etc. Este se considera como uno de los más caros, muchas veces el tratamiento terciario se emplea para mejorar los efluentes del tratamiento biológico secundario [7]. Se ha empleado la filtración rápida en arena para poder eliminar mejor los sólidos y nutrientes en suspensión y reducir la demanda bioquímica de oxígeno, algunos procesos adicionales son las lagunas, micro filtración o desinfección [9].

A continuación, se muestra los límites máximos permisibles (LMP) que debe cumplir una empresa para la descarga a un cuerpo de agua dulce establecido en la actualización de la Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua [10]:

Tabla 2.1: Límites máximos permisibles la descarga a un cuerpo de agua dulce [10]

Parámetros	Expresado como	Unidad	LMP
Aceites y grasas	Sust. solubles (hexano)	mg/l	30.0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5.0
Arsénico total	As		0.1
Bario	Ba		2.0
Boro total	B		2.0
Cadmio	Cd		0.02
Cianuro total	CN ⁻		0.1
Cinc	Zn		5.0
Cloro activo	Cl		0.5
Cloroformo	Ex. Carbón cloroformo ECC		0.1
Cloruros	Cl ⁻		1000
Cobre	Cu		1.0
Cobalto	Co		0.5
Coliformes fecales	NMP	NMP/100 ml	Remoción>99.9%
Color real	Color real	Unidades de color	*inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol		0.2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶		0.5
Demanda Bioquímica de oxígeno	DBO ₅		50.0
Demanda Química de oxígeno	DQO		100.0
Estaño	Sn		5.0
Fluoruros	F		5.0
Fósforo total	P		10.0
Hierro total	Fe		10.0
Hidrocarburos totales de petróleo	TPH		20.0
Manganeso total	Mn		2.0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg		0.005
Níquel	Ni		2.0
Nitrógeno amoniacal	N		30.0

2.2 Lodos residuales y contaminación ambiental

La implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales en municipios e industrias nos permite lograr aguas de mejor calidad, pero a su vez conlleva a la generación de un subproducto conocido como lodo, que son resultado de la concentración de los sólidos contenidos en el afluente, o de la formación de nuevos sólidos suspendidos resultantes de los sólidos disueltos [11]. Normalmente se presenta como residuo sólido, semisólido o líquido originados durante los procesos mecánicos, biológicos y químicos de la purificación del agua [12]. Los sitios de generación de lodo en una planta son los desarenadores, sedimentadores y rejillas [13].

Es necesario mencionar que su composición dependerá de las características del agua residual afluente y del proceso de tratamiento que se utiliza en la planta que lo genera [12]. Los lodos presentan una composición muy variada, los componentes más comunes son: materia orgánica, nutrientes, metales pesados y presencia de organismos patógenos, situación que en la mayoría de casos dificulta su disposición final o su aprovechamiento, convirtiéndose en un potencial contaminante para el ambiente [14][1].

La diversidad de industrias y procesos genera una variedad en las propiedades de los lodos lo que dificulta la estandarización de su tratamiento y manejo. La gestión de lodos es uno de los problemas ambientales más comunes asociados al tratamiento de aguas residuales [3], la problemática fundamental radica en sus altos volúmenes de producción y en su constitución que al estar principalmente compuestos por materia orgánica removida en el tratamiento causa los mismos efectos indeseables del agua residual sin tratar [13].

El manejo, transporte y disposición de lodos implican costos elevados, debido a la instalación de reactores que permitan su estabilización o sistemas de deshidratación e incineración para su tratamiento y evacuación. [15]. Es por esto que, en muchas ocasiones, los lodos son arrojados a sistemas de alcantarillado, donde su descarga a las fuentes hídricas consume la cantidad de oxígeno disponible para la vida acuática en las aguas receptoras, al igual que produce gases con olores desagradables. Debido a esto, comúnmente se disponen de rellenos sanitarios lo que aumenta el riesgo de colapso o pérdida de su vida útil. La eliminación de los lodos en vertederos implica la pérdida de

energía química y problemas en la salud humana, al contener fosforo y nitrógeno en el agua conduce a un crecimiento incontrolado de plantas acuáticas o eutrofización [14].

Las presencias de metales pesados son peligrosas para plantas y animales [14], estudios demuestran que el proceso de lodos activados y el espesamiento de estos tienen un impacto significativo en la distribución de metales pesados, mientras que en la digestión anaeróbica y la deshidratación disminuyen su movilidad. Los metales que pueden presentarse en la composición de los lodos son los de Zn, Hg, Cd, Ni, Cu y Pb, de los cuales el Hg, Cd y Cu representan un riesgo ecológico potencial mientras que el Zn, Ni y Cd son peligrosos para el medio ambiente. Es muy importante el conocimiento de las concentraciones totales y las formas químicas como se presentan los metales en los lodos residuales, ya que nos permite prevenir la contaminación secundaria de los suelos, lo que influye en la reducción de riesgos para la salud asociados con el consumo de plantas caracterizadas por tener un alto contenido de estos [16].

La cantidad y calidad de los lodos obtenidos en el proceso de tratamiento de aguas residuales no es constante y varía de una planta a otra, e incluso en la misma planta debido al tiempo. Esto se debe a que la producción de lodos está sujeta a factores como el caudal de agua tratada y el tipo de contaminación presente, además es importante tener en cuenta los procesos en los que se generan los lodos (Tratamiento primario, biológico y/o químico) y el buen funcionamiento de los mismos [17]. Las características de los lodos están estrechamente vinculadas al proceso de la PTAR, que influye en las características y propiedades de los lodos y la viabilidad en la alternativa para su gestión [11]. En una planta de aguas residuales los lodos se generan principalmente en las etapas de tratamiento primario y secundario [18].

2.3 Lodos primarios o lodos provenientes de tratamientos físico-químicos

Son producto de la sedimentación primaria, en donde existe la remoción de sólidos sedimentables, la cantidad depende de la carga superficial o tiempo hidráulico de retención en el sedimentador, de igual forma cuando se utilizan químicos hay mayor producción de lodos debido a una mayor remoción y de la precipitación química de la materia coloidal [18].

Actualmente, el tratamiento físico químico utiliza menores dosis de coagulantes, acompañado en ocasiones con una mínima dosis de polímeros, lo que implica bajos costos de operación y un ligero aumento en la cantidad de lodos generados respecto a los tratamientos convencionales [11].

2.4 Lodos secundarios

Son producto de procesos de tratamientos biológicos donde se convierten los residuos en biomasa, se incluye de igual forma la materia particulada que permanece en el agua después de la sedimentación primaria. La cantidad producida depende de factores como: la eficiencia del tratamiento primario, relación SST a DBO, cantidad de sustrato soluble, remoción de nutrientes. Para la producción de lodos secundarios es necesario los reactores biológicos y sedimentadores secundarios. La extracción del lodo sedimentario se lo realiza mediante carga hidráulica y por procesos mecánicos de las rastras que remueven el lodo del fondo de los tanques empujando los lodos sedimentados a la tolva para su extracción [18].

El proceso de lodos activados incluye su crecimiento y desarrollo en el tanque de aireación, su posterior paso al tanque de sedimentación y su recirculación al tanque de aireación, proceso que se repite en reiteradas ocasiones hasta el momento que estos son purgados y eliminados del sistema. Entre sus características presentan un color marrón y una apariencia floculenta, y si no ha comenzado a degradarse, tiene un olor a tierra húmeda [19]. La fracción de lodo generado en los tratamientos biológicos de las PTAR está compuesta principalmente por microorganismos, y una parte del lodo está compuesto por materia sólida, pueden presentar un color marrón o marrón oscuro, si es muy oscuro puede estar próximo a volverse séptico, si es más claro de lo normal puede estar poco aireado. Se deshidratan fácilmente en áreas de secado, o adquieren un color marrón oscuro-negro su olor es relativamente débil [11].

2.5 Caracterización de los tipos de lodos

La caracterización de los lodos es primordial para poder cuantificar las concentraciones de nutrientes para su posterior tratamiento y a su vez permite conocer los compuestos dañinos que deben ser removidos o eliminados. Para un control y manejo adecuado se

debe caracterizar y evaluar su composición química, incluyendo la concentración de metales pesados, así como el contenido de patógenos y parásitos que sea este lodo.

Para determinar la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se utilizan técnicas espectrofotométricas, en cuanto a los sólidos los métodos más comunes son los gravimétricos o volumétricos. Para la cuantificación del nitrógeno total se emplea el método de Kjeldahl, el fósforo total el método de cloruro de estaño, y para los metales pesados la absorción atómica [11].

Según varios estudios realizados se han establecido un grupo de indicadores que representan el nivel de contaminación que presentan los lodos. Existen indicadores con sus respectivos valores que se muestran en la Tabla 2.2, la información permite realizar una elección adecuada de los procesos de tratamiento desde un punto económico y ambiental para permitir su reutilización o disposición de una forma adecuada [11].

Tabla 2.2: Valores Característicos de los Parámetros más Frecuentes de los Lodos [11]

Indicadores	Máximo	Mínimo
DQO total (mg/L)	90000	6000
DBO total (mg/L)	30000	2000
Nitrógeno total (mg/L)	1500	200
Fósforo total	300	40
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	100000	7000
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	60000	4000
pH	8.5	7.0
Coliformes fecales (NMP/100mL)	10 ⁸	10 ⁶

NMP: Número más probable. DQO Demanda química de oxígeno. DBO Demanda bioquímica de oxígeno [11].

El contenido de metales pesados, es también un indicador que debe valorarse debido a que son elementos químicos que poseen una elevada toxicidad para los seres vivos. Las concentraciones permisibles en la Unión Europea [20] se muestran en la Tabla 2.2:

Tabla 2.3: Concentraciones permisibles de metales pesados [20]

Metal	Concentración (mg/kg de lodo seco)
Cadmio	20-40
Cobre	1000-1750
Níquel	300-400
Plomo	750-1200
Zinc	2500-4000
Mercurio	16-25
Cromo	1000-1500
Arsénico	20-40
Selenio	50-100
Molibdeno	10-25

2.6 Tratamientos y usos de los lodos

Las estrategias para la gestión de lodos deben contener acciones de reutilización o revalorización adecuada de los mismos. Sin embargo, es necesario tener el conocimiento de las características químicas y granulométricas, y de las propiedades físicas, como factores determinantes para establecer las posibles aplicaciones de los lodos residuales [21].

El objetivo de un tratamiento de lodos son reducir el volumen, estabilizar la materia orgánica, eliminar patógenos y lograr una textura que permita su manejo posterior [13]. Las fases de tratamiento se resumen en:

Tabla 2.4: Tratamiento de lodos residuales y métodos empleados [17]

Tratamiento	Objetivo	Métodos empleados
Espesamiento	Reducir el volumen de lodo alrededor de un 30% a un 80% mediante la concentración del mismo.	Gravedad, flotación, centrifugación, filtros de bandas
Estabilización	Destruye y transforma la materia orgánica presente y responsable de la fermentación.	Cal, tratamiento térmico, digestión anaerobia y aerobia.
Deshidratación	Elimina la mayor cantidad de agua posible del lodo empleando medios físicos, reduciendo así su volumen y confiriéndole una consistencia más manejable.	Filtraciones, centrifugación, secado

Los lodos generados por una PTAR, son objeto de recurso para su reutilización, debido a las propiedades benéficas como nutrientes minerales y materia orgánica, las cuales pueden ser aprovechadas en la agricultura o mejoramiento de suelos [11]. Sin embargo, antes de ser comercializados, deben ser estabilizados para eliminar patógenos, disminuir la atracción de vectores y la capacidad de putrefacción, con el fin de reducir los riesgos de contaminación[1]. Esto genera la búsqueda de procesos más eficientes para su tratamiento, consiguiendo estabilizar y degradar controladamente las sustancias orgánicas que contienen, así como inactivar los microorganismos patógenos.

El compostaje es un método utilizado para el aprovechamiento de lodos por varias investigaciones, en donde demuestran que, al pasar por un proceso termófilo durante el proceso de producción, el producto que se obtiene (compost) es libre de patógenos, de igual manera, emplear cubiertas semipermeables permite el control de olores emanados y el mantenimiento de la temperatura y humedad en las pilas consiguiendo disminuir el tiempo de producción [22][23]. La lombricultura o vermicomposteo se considera de igual manera una alternativa de manejo que estabiliza los lodos residuales y permite la adición al suelo de su producto, mejorando las propiedades estructurales del mismo e

incrementando su fertilidad. Para la mayoría de estudios se aplica la especie *Eisenia foetida* o más comúnmente conocida como lombriz roja californiana [24][25].

Por otro lado, la pirólisis se presenta como una alternativa sostenible mediante la cual los lodos residuales son reutilizados al transformarlos en carbón activado, estudios indican que son eficientes para la absorción de moléculas en medios líquidos y gaseosos, además que su obtención es de bajo costo y tiempo. Sin embargo, siempre se debe ser cuidadoso en el proceso de formación de este producto para obtener los resultados deseados [26][27].

De igual manera, se analiza el tratamiento de los lodos digeridos, remanentes del tratamiento para la obtención de biogás, por digestión anaerobia, y su uso como combustible, para su aprovechamiento energético en la propia planta o venta al exterior. La digestión anaerobia es un proceso biológico fermentativo, en donde la materia orgánica es descompuesta por la acción de una serie de microorganismos, que la transforman en una mezcla de gases, formada principalmente por metano y dióxido de carbono (biogás) [28]. Existen varias ventajas de este proceso entre ellas, evita los malos olores y compuestos orgánicos volátiles, reduce la materia orgánica, entre otros, pero también presenta desventajas como la emisión de gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global [29].

2.7 Planta de tratamiento de aguas residuales del cantón Ambato

Los lodos de la PTAR de la ciudad de Ambato se generan en la etapa del tratamiento primario y secundario, que se detallan a continuación:

- **Tratamiento primario**

El afluente tras pasar por un pretratamiento, el agua fluye por gravedad al Tratamiento Primario que consiste en un sistema de decantación de sólidos en dos decantadores circulares en paralelo, disponiendo también de un sistema de recogida de material flotante. Los sólidos decantados son conocidos como fangos primarios que son bombeados a la línea de tratamiento de fangos, mientras que el material flotante es bombeado a un concentrador de grasas ubicado en el edificio de pretratamiento.



Figura 1: Decantación primaria

- **Tratamiento secundario**

Posteriormente, el agua pasa reactor biológico donde el agua es depurada por microorganismos vivos que emplean la carga contaminante del agua como alimento. El aire necesario para la existencia de estos microorganismos es aportado por turbosoplantes, instalados en el edificio de producción de aire. La mezcla del agua residual y los microorganismos, denominada licor mezcla, es separada en un proceso de decantadores secundarios, donde la biomasa decanta y el agua tratada queda en la parte superior para fluir por gravedad al tratamiento terciario, mientras que parte de la biomasa es recirculada a los reactores biológicos y otra parte es bombeado a la línea de tratamiento de fangos. El material flotante de estos decantadores es enviado al equipo de concentración de grasas.



Figura 2: *Reactor biológico*



Figura 3: *Decantador secundario*

2.8 Aspectos técnicos de la fabricación de ladrillos cerámicos

- **Norma INEN 292, Muestreo de los ladrillos cerámicos**

Esta Norma se aplica a lotes de ladrillos cerámicos, fabricados de arcilla moldeada y cocida. La extracción de la muestra puede ser:

- a) aleatoria, cuando cada elemento del lote tiene la misma probabilidad de ser representado en la muestra,
- b) estratificada, cuando el lote puede ser dividido en cierto número de grupos o estratos, obteniéndose de cada uno de ellos una muestra separada,
- c) sistemática, cuando los componentes del lote se presentan en una forma ordenada, simplificándose el muestreo al escoger sus unidades a intervalos regulares hasta completar la muestra especificada [30].

La extracción de las muestras se establecerá por convenio previo, pudiendo efectuarse durante las operaciones de movimiento o descarga del horno. Cada unidad de muestreo debe marcarse adecuadamente para su identificación, cuidando que las marcas no ocupen más del 5 % de la superficie de la muestra. El número de unidades de muestreo de un lote, para la verificación de cada uno de los requisitos establecidos en NTE INEN 297. Si el tamaño de lote mide hasta 35 000 unidades se escogerá 5 unidades de muestra, y si el lote tiene un tamaño mayor a 35 000 unidades se toma 8 unidades de muestra [30].

- **Norma INEN 294 Determinación de la resistencia a la compresión para ladrillos cerámicos**

Esta norma establece el método de ensayo de ladrillos cerámicos fabricados en arcilla moldeada y cocida que se emplean como ladrillos en albañilería para determinar su resistencia a la compresión, el procedimiento se basa en la aplicación de una carga progresiva de compresión a una muestra de ladrillo hasta determinar su resistencia máxima admisible. Puede usarse cualquier máquina de compresión provista de plato con rótula de segmento esférico, siempre que las superficies de contacto de los apoyos sean iguales o mayores que las muestras de prueba [31].

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 [31].

Las muestras se ensayan centrándolas con respecto a la rótula y de manera que la carga se aplique en la dirección de su menor dimensión. 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. El promedio de los valores obtenidos en cinco muestras representa la resistencia a la compresión del lote de ladrillos sometidos a ensayo [31]. La compresión se calcula mediante la siguiente ecuación:

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

Siendo:

C= La resistencia a la compresión en Megapascuales

P= La carga de rotura en Newtones

A=Área de la sección en mm cuadrados

- La superficie A se calcula por la siguiente ecuación:

$$A = a * l$$

Siendo:

a = ancho de la muestra en mm

l = largo de la muestra en mm

- **Norma INEN 295 Determinación de la resistencia a la flexión para ladrillos cerámicos**

Esta Norma establece el método de ensayo de los ladrillos cerámicos empleados en albañilería para determinar su resistencia a la flexión. 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. Puede usarse cualquier máquina de las empleadas para ensayos de flexión, siempre que los apoyos tengan una longitud por lo menos igual al ancho de la muestra de prueba y aseguren su contacto total y permanente con la misma [32].

Las muestras a utilizarse consistirán en cinco ladrillos secos, enteros y sin defectos apreciables. Colocar el ladrillo de muestra con su cara mayor sobre los apoyos, asegurando una separación de 15cm entre éstos. Hacer descender la pieza superior hasta obtener un contacto directo con la superficie en el centro de la luz. Las tres líneas de contacto se mantendrán paralelas. Aplicar la carga hasta la rotura de la muestra, y la velocidad de aplicación de la carga será tal que el cabezal de la máquina no avance más de 1,5 mm por minuto. El promedio de los valores obtenidos en cinco muestras representa la resistencia a la flexión del lote de ladrillos sometidos a ensayo [32]. El módulo de rotura se calcula con la siguiente ecuación:

$$R = \frac{300 G l}{2bd^2}$$

Siendo:

R= Módulo de rotura en Megapascales

G= carga de rotura en Newtones

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

- **Norma INEN 296 Determinación de absorción de humedad para ladrillos cerámicos**

Esta norma establece el método de ensayo de los ladrillos cerámicos empleados en albañilería para determinar la absorción de la humedad. El procedimiento descrito 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 [33].

Para la determinación se incluyen instrumentos como balanza con capacidad mínima de 5 kg y con escala que permita lecturas hasta de 0,5 g y una estufa de desecación regulada a una temperatura de 110° C. La muestra a ensayar consistirá en cinco ladrillos enteros, que

se desecarán en estufa a 110°C hasta obtener masa constante. Luego se enfriarán a la temperatura ambiente y se volverán a pesar. Si se observa un aumento de masa mayor del 1%, se repetirá la operación [33].

Una vez preparadas las muestras y anotada su masa constante, sumergirlas en agua destilada, a una temperatura de 15 a 30° C durante 24 horas. Al sacar las muestras del agua, secarlas con una toalla húmeda antes de pesarlas. La pesada de cada muestra debe concluirse antes de cinco minutos de sacada del agua. El promedio de los valores de absorción obtenidos en cinco muestras representa el porcentaje de absorción de humedad del lote de ladrillos inspeccionado [33]. La absorción de cada muestra expresada en % se calcula por la siguiente ecuación:

$$A = \frac{P_2 - P_1}{P_1} * 100$$

Siendo:

P₁= masa de la muestra desecada

P₂= masa de la muestra después de 24 horas sumergida

- **Norma INEN 297 Requisitos para los ladrillos cerámicos**

En Ecuador la Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria INEN 297, establece los requisitos que deben cumplir los ladrillos cerámicos que se emplean en la construcción, fabricados de arcilla moldeada y cocida, excepto los ladrillos refractarios o fabricados con materiales silicio-calcáreos [34]. Los requisitos de resistencia mecánica y absorción de la humedad que deben cumplir los ladrillos cerámicos se muestran en la Tabla 2.5:

Tabla 2.5: Requisitos que deben cumplir los ladrillos cerámicos [33]

Tipo de ladrillo	Resistencia mínima a la compresión MPa		Resistencia mínima a la flexión	Absorción máxima de humedad %
	Promedio de 5 unidades	Individual	Promedio de 5 unidades	Promedio de 5 unidades
Macizo tipo A	25	20	4	16
Macizo tipo B	16	14	3	18

Macizo tipo C	8	6	2	25
Hueco tipo D	6	5	4	16
Hueco tipo E	4	4	3	18
Hueco tipo F	3	3	2	25
Método de ensayo	INEN 294		INEN 295	INEN 296

2.9 Desecho peligroso

Los desechos peligrosos son desechos sólidos, pastosos, líquidos o gaseosos resultantes de un de un proceso de producción, transformación, reciclaje, utilización o consumo y que contengan alguna sustancia que tenga características CRETIB (Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable y Biológico infeccioso) y/o radioactivas, que representen un riesgo para la salud humana y el ambiente de acuerdo a las disposiciones legales aplicables. A continuación, se muestra las propiedades CRETIB establecidos en la Norma Técnica de desechos peligrosos y especiales [35]:

Tabla 2.6: Parámetros CRETIB y sus propiedades [35]

Parámetro	Propiedades
Corrosividad	Acuoso pH ≤ 2 o ≥ 12.5 Corroa a una razón mayor a 6.35mm al año
Reactividad	Inestable Reaccione violentamente con el agua Genera gases, vapores o humos tóxicos Posea en su constitución cianuros o sulfuros Sea capaz de producir reacción explosiva o detonante
Explosividad	Forme mezclas explosivas en el agua Reacción o descomposición detonante o explosiva a 25°C y 1 atm Sea explosivo
Toxicidad	Contaminantes en concentraciones superiores a los valores del extracto PECT (Prueba de lixiviación)
Inflamabilidad	Punto de ignición inferior a 60°C No sea líquida y sea capaz de producir fuego por fricción, absorción de humedad o alteraciones químicas Sea un oxidante y estimular la combustión
Biológico-Infeccioso	Cuando contiene patógenos en cantidad o concentración suficiente para producir enfermedades

Tabla 2.7: Límites máximos permisibles en el extracto PECT [35]

Contaminante	Límite máximo permisible (mg/l)
Arsénico	5.0
Bario	100.0
Cadmio	1.0
Cromo	5.0
Mercurio	0.2
Plata	5.0
Plomo	5.0
Selenio	1.0

2.10 Prueba estadística de Tukey

Cuando el investigador efectúa un trabajo experimental para seleccionar el mejor de k tratamientos, esto es, el tratamiento con mayor (o menor) media, o seleccionar un subconjunto, lo más pequeño posible de entre los diferentes tratamientos, que tenga una alta probabilidad de incluir al mejor o a los mejores tratamientos, no es adecuado que compare todas las parejas posibles de los tratamientos, sino que debe usar un método de selección de medias. En este caso, el análisis de varianza aporta la estimación de la varianza del error con sus grados de libertad y la información básica sobre si existen o no diferencias significativas en las medias de los tratamientos [36].

El método de Tukey se utiliza en ANOVA (análisis de varianza) para crear intervalos de confianza para todas las diferencias en parejas entre las medias de los niveles de los factores mientras controla la tasa de error por familia en un nivel especificado. Es importante considerar la tasa de error por familia cuando se hacen comparaciones múltiples, porque la probabilidad de cometer un error de tipo I para una serie de comparaciones es mayor que la tasa de error para cualquier comparación individual. Para contrarrestar esta tasa de error más elevada, el método de Tukey ajusta el nivel de confianza de cada intervalo individual para que el nivel de confianza simultáneo resultante sea igual al valor que se especifique [36].

2.11 Antecedentes investigativos

El estudio de la utilización de lodos residuales como materia prima o parte de la fabricación de ladrillos es un tema con un amplio estudio a nivel mundial. Este tipo de estudios permite tener una base para la sustentación científica del presente trabajo de titulación. Los trabajos con más importancia se detallan a continuación:

En el estudio denominado “Aprovechamiento de lodos como material para ladrillos” se investigaron ladrillos fabricados a partir de lodos secos recogidos de una PTAR industrial. Los resultados de las pruebas indicaron que la proporción de lodo y la temperatura de cocción eran los dos factores clave que determinaban la calidad del ladrillo, el aumento del contenido de lodo da como resultado una disminución de la contracción del ladrillo, la absorción de agua y la resistencia a la compresión. Los resultados también mostraron que la pérdida de peso de los ladrillos en la ignición se atribuyó principalmente al contenido de materia orgánica en el lodo que se quemó durante el proceso de cocción, con hasta un 20 % de lodo agregado a los ladrillos, la resistencia medida a temperaturas de 960 y 1000 °C cumplió con los requisitos de las normas nacionales chinas. Las condiciones para fabricar ladrillos de buena calidad son 10 % de lodo con 24 % de contenido de humedad preparado en las mezclas moldeadas y horneado a 880–960 °C [37].

De igual manera, en el trabajo denominado “Biosólidos de tratamiento de aguas residuales domésticas, como adiciones en la elaboración de ladrillos cerámicos” se realizó la caracterización de los biosólidos y arcillas, y se fabricaron ladrillos con 5, 10, 15, 20 y 30% de contenido de lodo. Para los resultados se realizaron pruebas a la compresión y absorción de agua, como resultados se evidencian que existen resistencias promedias de 27.1 MPa cumpliendo los límites permisibles establecidos en la mampostería estructural que son de 20MPa y no estructural de 14MPa. A las conclusiones que se llegó fueron que los ladrillos con porcentaje óptimo de adición de biosólidos son los de 5, 10 y 15% mostrando resistencias superiores a los ladrillos patrón, garantizando su viabilidad técnica debido a que cumplen con los estándares de calidad establecidos en la norma técnica de Colombia [2].

Por otro lado, en la revisión bibliográfica denominada “Aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales como materia prima en la industria de construcción” se escogieron varios estudios en donde muestran diversas combinaciones de los lodos centrándose en su utilización en la industria de construcción. De la realización del estudio se concluyó que el aprovechamiento de lodos aún tiene un gran camino para recorrer pues existen diversas aplicaciones para el lodo, en cuanto a la aplicación en el campo de la construcción se observó que la utilización de lodos ha sido una decisión acertada al ser utilizada como materia prima en combinación con arcilla, ya que puede ser una alternativa accesible al momento de elaborar ladrillos [38].

Existen trabajos realizados en donde se utiliza los lodos como material de construcción no estructural, como lo menciona los autores del trabajo con el nombre “Análisis de las relaciones lodo cemento como material de construcción no estructural” en esta se evaluó las condiciones óptimas de uso de lodo aluminoso, de un sistema de tratamiento de agua potable, como sustituto parcial del cemento para la fabricación de materiales de construcción no estructurales. Se prepararon mezclas estándar de lodo aluminoso de 5, 10, 15 y 20% con concreto.

Se realizó análisis de granulometría, fluorescencia de rayos X, materia orgánica, humedad, resistencia a compresión y absorción. Los resultados obtenidos registraron que las mezclas del 15 y 20% fueron las únicas que cumplieron con los límites establecidos para materiales de construcción no estructural de la norma ASTM-C129. Se concluyó que la introducción de lodo aluminoso como sustituto del cemento no deteriora la resistencia mecánica del material [39].

CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO

3.1 Ubicación

La matriz de la Empresa Municipal EP-EMAPA-A se encuentra ubicada en las calles Antonio Clavijo e Isaías Sánchez, mientras que la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales se ubica en el paso lateral – Sector las Viñas dentro del cantón Ambato, con coordenadas -1.238401, - 78.584708.



Figura 4: *Ubicación de la PTAR tomada de Google Earth*

3.2 Equipos y materiales

Los equipos y materiales que se utilizó para el desarrollo de la presente se detallan a continuación:

Tabla 3.1: Materiales y equipos necesarios para la investigación

Materiales	Equipos
Recipientes de plástico de 1 Litro	pH metro
Pala	Cámara fotográfica
Fundas herméticas de 2 kg	Laptop
Guantes	Calibrador pie de rey
Mandil	Trituradora
Mascarilla	Extrusora
Parihuelas	Cortadora
Carretillas	Bomba de vacío
Cemento	Ventilador centrifugo
Costales	Balanza
Aserrín	Moladora
Discos de corte	Flexómetro
	Máquina de compresión
	Máquina de flexión
	Horno

Para la elaboración del presente trabajo se contará con la ayuda de las instituciones detalladas en la siguiente tabla:

Tabla 3.2: Instituciones requeridas para el desarrollo de la investigación

Detalle	Institución
Recolección de información y muestras necesarias para el desarrollo del presente estudio	Planta de tratamiento de aguas residuales ubicada en el sector “Las Viñas”
Análisis del lodo residual	Laboratorio LABCESTA
Fabricación de ladrillos artesanales	Ladrillera Tirado
Análisis de compresión, resistencia mínima a la flexión y absorción máxima de humedad	Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil

3.3 Tipo de investigación

El enfoque de la presente investigación es cuantitativo debido a que se registró datos numéricos para lograr la comparación de las propiedades analizadas en los ladrillos resultantes.

Es de tipo descriptiva debido a que se caracteriza tanto los lodos con los que se va a realizar el experimento como los ladrillos resultantes con diferentes proporciones de lodos tanto húmedo como seco definiendo sus propiedades de acuerdo a los valores de compresión, flexión y absorción de la humedad de la Norma 297. Así mismo, es aplicativa debido a que con el desarrollo de la investigación se plantea una solución para el aprovechamiento de lodos generados por la PTAR.

Finalmente, es experimental ya que la información que se obtiene resulta de las actividades intencionales realizadas por el investigador [40], de igual manera se modifica la realidad, en este caso, los ladrillos comunes incorporando lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales a su composición con el propósito de observar un cambio en sus características físicas.

3.4 Prueba de Hipótesis - pregunta científica – idea a defender

H0: Los lodos provenientes del proceso de depuración de la PTAR del cantón Ambato pueden ser aprovechados en el campo de la construcción con la fabricación de ladrillos artesanales.

H1: Los lodos provenientes del proceso de depuración de la PTAR del cantón Ambato no pueden ser aprovechados en el campo de la construcción con la fabricación de ladrillos artesanales.

3.5 Población o muestra:

Para el desarrollo de la presente investigación se tomó como población a los lodos producidos en la Planta de tratamiento de aguas residuales del cantón Ambato ubicado en el paso lateral sector “Las Viñas”.

Como muestra se estableció el lodo húmedo proveniente de la etapa de centrifugación de la PTAR y el lodo seco del lecho de secado ubicada en la misma planta. Se recolectó un aproximado de 6 kg respectivamente de las muestras secas y húmedas, el método de muestreo se lo realizó en base al Protocolo de monitoreo de Biosólidos establecido por la FAO (Food and Agriculture Organization), el cual se muestra en la Figura 5. El tiempo de secado de los lodos húmedos fue de 30 días, transcurrido ese periodo los lodos tuvieron un porcentaje de humedad de 27%, el cual fue utilizado para realizar los tratamientos.

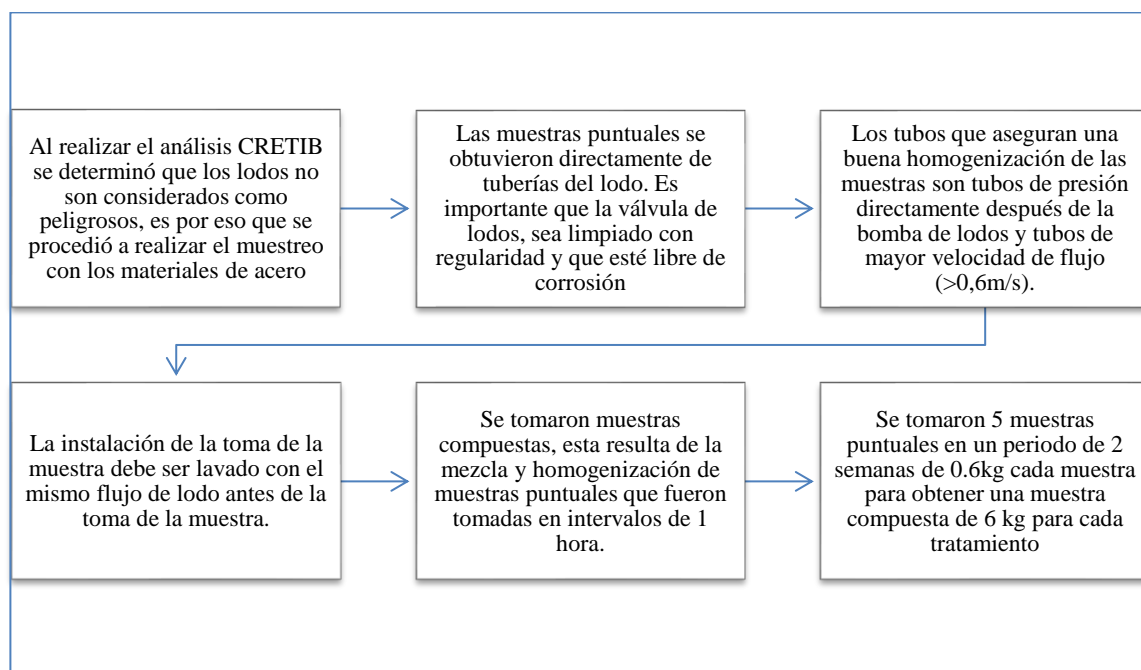


Figura 5: Muestreo de lodos residuales

3.6 Recolección de información

Para la caracterización de los lodos residuales provenientes de la PTAR, se realizó el análisis CRETIB con el laboratorio acreditado CESSTA de la ciudad de Riobamba (Anexo 1), mediante este se determina si el residuo, en este caso el lodo, es o no peligroso.

Para conocer el manejo actual de los lodos se realizó un trabajo de campo en la PTAR mediante la técnica de observación en donde se pudo visualizar mediante visitas técnicas realizadas por un mes el manejo de lodos que realiza, de igual manera se tomó en consideración las necesidades del Jefe de planta y el Gerente general de Emapa para establecer la fabricación de ladrillos artesanales con lodo residual.

La fabricación de ladrillos con los diferentes porcentajes de lodo se realizó en la ladrillera TIRADO ubicado en el sector de Izamba, barrio la Victoria. Una vez tomadas las muestras de lodo húmedo y seco (Figura 5) se procedió a llevar a la ladrillera, en la cual se realizó las mezclas con diferentes concentraciones de lodo por unidad de ladrillo. Las adiciones porcentuales experimentales propuestas se detallan a continuación:

Tabla 3.3: Definición porcentajes de lodo para la experimentación

Muestra	% de adición de lodo
M0 (muestra control)	0 %
M1	10% lodo húmedo
M2	20% lodo húmedo
M3	10% lodo seco
M4	20% lodo seco

Como resultado de la fabricación de los ladrillos se obtuvieron 100 especímenes de cada tratamiento, de los cuales se tomaron 5 ladrillos al azar para realizar los análisis de compresión, resistencia mínima a la flexión y absorción máxima de humedad en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato, cada uno de los procedimientos se muestran a continuación:

3.6.1. Proceso de fabricación de ladrillos

Para obtener el porcentaje de humedad que se necesita para el experimento el lodo residual fue transportado a un área de secado ubicado a 100 m de la planta de tratamiento de agua residuales del cantón Ambato “Las Viñas” con el propósito de disminuir la humedad, para

lo cual el lodo se extendió en el área de secado manteniéndolo a temperatura ambiente y secándolo durante un periodo de 30 días, para obtener un fango seco. Este proceso se realizó con base a la información obtenida en las investigaciones bibliográficas.



Figura 6: Área de secado de fangos



Figura 7: Fangos secos y húmedos

Para la fabricación de ladrillos se utilizó barro negro, barro amarillo y aserrín, a estos materiales se procedió a reducirles de tamaño en partículas pequeñas mediante la utilización de zarandas manuales, eliminando residuos grandes tales como piedras malezas y raíces.



Figura 8: *Reducción de material con zaranda*

Una vez que los materiales fueron reducidos a partículas pequeñas se colocó en una superficie plana en donde se realiza la mezcla del barro negro, barro amarillo y aserrín, esta mezcla se realizó en cuatro muestras diferentes; la primera muestra se le acondicionó un 10% de fango seco, la segunda un 20% de fango seco, la tercera un 10% de fango húmedo y finalmente la cuarta un 20% de fango húmedo.



Figura 9: *Mezcla de barro, aserrín y fangos*

Adicional a cada una de las muestras es importante mantenerla húmeda regando cierta cantidad de agua a cada muestra, la cual es mezclada de manera homogénea, el porcentaje de agua utilizado en la mezcla fue controlada en todo el proceso manteniendo a la muestra con una consistencia constante con el objetivo de reducir y evitar la generación de poros y grietas en la fabricación de ladrillos (Figura 10); una vez que culmina el proceso de

mezcla uniforme de los materiales (Figura 11) se procede a taparlas con plásticos con el propósito de obtener un macerado óptimo para el proceso de fabricación de ladrillos, a cada muestra se la dejó macerar durante 24 horas cabe mencionar que para un ladrillo común el proceso de maceración dura alrededor de 48 horas (Figura 12).



Figura 10: *Humectación de material con agua*



Figura 11: *Mezcla de materiales*



Figura 12: *Preparación de muestra para macerado*

Una vez que culmina el proceso de maceración de las cuatro muestras, se procede a depositarla en una trituradora mecánica accionada con un motor de 2hp, con el propósito de triturar piedras y disminuir la materia prima de ladrillo a partículas finas (Figura 13).



Figura 13: *Máquina trituradora*

Posteriormente de forma manual se coloca la materia prima triturada y mezclada en bandas transportadoras (Figura 14) las cuales son enviadas y depositadas en la tolva de la máquina de extrusión, en donde se obtiene la plastificación o fusión del material, mezclado, conformado y desgasificado, este equipo funciona mediante un tornillo de doble husillo la cual tiene como función transportar el material prima hacia la boquilla de

molde rectangular, dando como resultado a ladrillo visto rectangular, esta boquilla puede ser cambiado según la necesidad de fabricación del ladrillo.



Figura 14: *Bandas transportadoras a máquina de extrusión*

Una vez que sale ladrillo rectangular de la máquina de extrusión (Figura 15) es enviado mediante una banda transportadora a una máquina cortadora de ladrillos (Figura 16), en dónde se realiza los cortes a la medida deseada mediante la utilización de cables tensadores automáticos accionados mediante un motor de 1 hp, estos cables se encuentran en un marco de acero que se regula a la medida de ladrillo deseado.



Figura 15: *Máquina de extrusión*



Figura 16: *Máquina cortadora de ladrillo*

Una vez que culmina el proceso de corte de los ladrillos son señalados (Figura 17) y ubicados en parihuelas (Figura 18) y puestos al ambiente para reducir la humedad antes que ingresen los ladrillos al proceso de secado.



Figura 17: *Señalización de ladrillos*



Figura 18: *Secado al ambiente en parihuelas*

El secado se puede ser de forma artificial o natural sin embargo para la elaboración de estos ladrillos se realizó de las dos formas utilizando un secado natural al ambiente durante un tiempo aproximado de 12 horas y colocadas en el cuarto de secado (Figura 19) a 100 grados centígrados durante 8 horas.

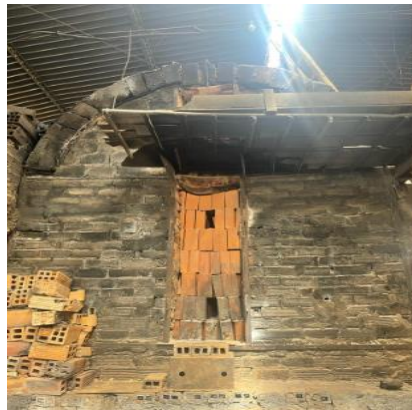


Figura 19: *Cuarto de secado*

Una vez culminado el proceso de secado de los ladrillos estos deberán ser sometidos a temperaturas lo suficientemente altas con el objetivo de conseguir un producto pétreo para lo cual se necesita un tratamiento térmico consiguiendo disminuir el porcentaje de porosidad y aumentando la resistencia de ladrillo, para esto se utilizó un horno de leña (Figura 20) en dónde ladrillo fue quemado a una temperatura de 260 grados centígrados durante 48 horas y posterior a esto fueron enfriados durante tres días a temperatura ambiente.



Figura 20: *Horno de leña*

3.6.2. Ensayo resistencia mínima a la compresión

El ensayo de resistencia mínima a la compresión se realizó en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato de acuerdo a lo establecido en la normativa INEN NTE 294 [31].

Los ladrillos fueron sometidos al ensayo como se detalla a continuación:

- Se procede a cortar por la mitad el ladrillo a ensayarse (Figura 21), sin fisuras ni despostillados, se deben ensayar como mínimo 5 especímenes de ladrillo.



Figura 21: *Corte de ladrillo*

- Se realizó el refrentado (Figura 22) en la muestra de cada ladrillo en la parte superior e inferior el cual deberá ser mayor al área del ladrillo a ensayarse, este deberá ser relleno con mortero compuesto por arena y cemento.



Figura 22: *Refrentado superior e inferior*

- Para realizar el ensayo se programó la máquina de compresión con las dimensiones del ladrillo (Figura 23). Las características y el certificado de calibración de la máquina utilizada se encuentran en el Anexo 2.



Figura 23: *Máquina de compresión*

- Se procede a colocar el ladrillo a la maquina a ensayar (Figura 24), hasta obtener la carga máxima y proceder a su registro.



Figura 24: *Ensayo resistencia mínima a la compresión*

3.6.3. Ensayo absorción máxima de agua

El ensayo de absorción máxima de agua se realizó en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato de acuerdo a lo establecido en la normativa INEN NTE 296 [33].

Los ladrillos fueron sometidos al ensayo como se detalla a continuación:

- Los ladrillos son colocados en un horno durante 24 horas a una temperatura de (110 C)



Figura 25: *Secado de ladrillo en horno.*

- Una vez que los ladrillos se encuentran secos y fríos, se registra el peso utilizando una balanza.



Figura 26: *Peso del espécimen seco antes de la inmersión*

Una vez registrado el peso de los ladrillos secos y fríos son sumergidos como mínimo 5 especímenes en agua durante 24 horas.



Figura 27: *Ladrillos sumergidos en agua.*

Transcurrido las 24 horas, son retirados del agua y secados utilizando una toalla o franela húmeda y se registra nuevamente su peso, para la ejecución de este proceso no debe superar los 5 minutos.



Figura 28: *Peso de ladrillo húmedo*

3.6.4. Ensayo resistencia a la flexión

El ensayo de resistencia mínima a la compresión se realizó en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato de acuerdo a lo establecido en la normativa INEN NTE 295 [32].

Los ladrillos fueron sometidos al ensayo como se detalla a continuación:

- Se señala en los ladrillos el centro y en donde irán los soportes estos deben ser 12.5 mm +/- 2 mm en cada borde del espécimen.



Figura 29: *Señalización de ladrillos*

- Se coloca el espécimen en soportes solidos de acero cuyo diámetro es 25.4 mm +/- 1 mm, los soportes deberán colocarse a 12.5 mm +/- 1 mm de cada borde del ladrillo y la carga se apoyará en el centro del ladrillo. Esta carga se aplica en la cara superior del ladrillo con una placa de acero de 38 mm de ancho y 6 mm de espesor, la longitud de la placa deberá ser como mínima igual al ancho del ladrillo.



Figura 30: *Colocación de ladrillo a ensayar.*

- Se procede a configurar el equipo (Anexo 2) donde se establece el material, forma número de muestras y las dimensiones de la muestra.

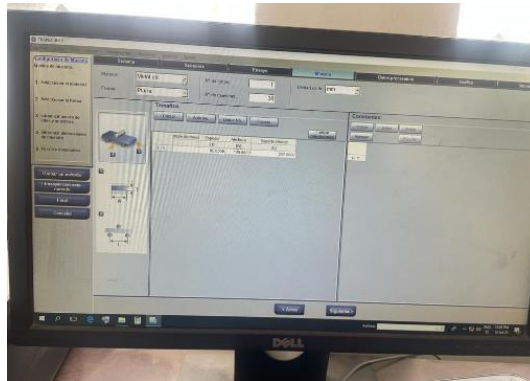


Figura 31: *Configuración de datos de máquina de flexión*

- Una vez configurada el equipo, se procede a realizar el ensayo con una precarga de hasta 1 kN, el cual ira subiendo de forma automática hasta obtener los datos de la flexión máxima del ladrillo y ruptura.



Figura 32: *Ensayo con precarga máxima de 1KN*

- Una vez obtenida la ruptura, se procede a medir la distancia promedio del plano de falla al centro de la pieza, medida en la dirección de la línea central de la superficie sometida a tensión en mm.



Figura 33: *Medición de distancia promedio de falla*

3.7 Procesamiento de la información y análisis estadístico:

Una vez obtenidos los datos se procedió a tabularlos con la ayuda de Microsoft Excel, y a sacar los promedios de los resultados, estos se relacionaron con la norma INEN 297, en donde especifica los requisitos de los ladrillos cerámicos conociendo que tan factible es la utilización de lodo proveniente de la PTAR como materia prima para su fabricación.

3.8 Variables respuesta o resultados alcanzados

Los análisis CRETIB del lodo proveniente de la PTAR demostraron que este no es peligroso (Anexo 1), además mediante la técnica de observación se define que el lodo no está siendo aprovechado por la entidad pública ya que es enviado al relleno sanitario del Cantón Ambato después de estar un determinado tiempo en el lecho de secado.

Mediante la fabricación de ladrillos y los análisis realizados en el laboratorio de Ingeniería Civil de la UTA se realiza la prueba de Tukey que compara las medias individuales provenientes de un análisis de varianza de varias muestras sometidas a tratamientos distintos estableciendo si los resultados son significativamente diferentes o no, con ello se puede establecer que es factible la utilización de lodos provenientes de la PTAR del cantón Ambato como materia prima para la fabricación de ladrillos.

Tabla 3.4: Conceptualización variable independiente

Variable respuesta	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente Lodos residuales	Residuo proveniente del proceso de tratamiento de aguas residuales.	Se analiza la viabilidad para su aprovechamiento como materia prima en base a los análisis CRETIB	Caracterización del lodo residual	Análisis de corrosión
				Análisis de reactividad
				Análisis de explosividad
				Análisis de toxicidad
				Análisis de inflamabilidad
				Análisis biológico infeccioso

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Manejo actual de los lodos residuales producto de cada tratamiento

Los lodos del tratamiento primario y secundario son espesados para eliminar parte del agua que contienen para reducir su volumen. Los lodos del tratamiento primario son enviados a un espesador por gravedad, previamente tamizados en un tamiz rotativo para eliminar sólidos que puedan interferir en equipos posteriores de la línea de lodos. Por otra parte, los lodos secundarios o biológicos son espesados en un flotador de fangos adicionándoles previamente floculante que favorece el proceso de flotación.



Figura 34: *Espesador por gravedad y equipo de flotación de fangos.*

Una vez espesados, los lodos primarios y secundarios se mezclan en un depósito para su homogenización. En dicho depósito se adiciona cloruro férrico para reducir el contenido de ácido sulfhídrico en los fangos e hidróxido cálcico para elevar el pH.



Figura 35: *Tanque de homogenización de lodos*

Desde este depósito los lodos son bombeados a un proceso digestión anaerobia, para su estabilización, generándose en el proceso biogás que es aprovechado para generación de

electricidad en la planta mediante grupos moto generadores. Para que el proceso de digestión se produzca correctamente, los fangos deben ser calentados por lo que se dispone de un sistema de calentamiento de fangos mediante intercambio de calor con agua caliente. El agua es calentada en unas calderas que emplean como combustible gasoil o el propio biogás generado en la digestión.



Figura 36: *Digestores anaerobios y calefacción de lodos*

El lodo digerido es acumulado en un depósito, denominado depósito tampón, en este tanque los fangos son agitados mediante un agitador sumergible para favorecer la mezcla de lodos y evitar así la decantación de los mismos; estos fangos son impulsados desde el mismo a un proceso de deshidratación.



Figura 37: *Depósito tampón*

La deshidratación de lodos se realiza mediante el sistema de centrifugación para reducir aún más su volumen, esto se realiza mediante la utilización de 2 centrifugas de fangos la

cual emplea la fuerza centrífuga para separar la fase solida de la fase liquida de lodos. Previo a este proceso para favorecer el proceso de deshidratación el fango es acondicionado a la entrada de cada máquina centrífuga, mediante la adición de floculante; el floculante es un polielectrolito en polvo.



Figura 38: *Deshidratación de fangos mediante centrifuga*

El fango deshidratado cae a un tornillo sin fin transportador, el cual es el encargado de enviar el fango hasta las bombas helicoidales; en donde el fango es impulsado hacia el silo en donde se acumula los lodos deshidratados antes de ser evacuados mediante volquetas. La deshidratación de lodo, da como resultado un fango con un 70% de humedad.



Figura 39: *Silo de almacenamiento de fangos deshidratados*

Finalmente, los lodos residuales se disponen en eras de secado para ser llevados al relleno sanitario, en esta etapa la humedad se reduce a un 40% por lo que disminuye su volumen para su transporte.



Figura 40. *Lecho de secado de lodos*

4.2. Caracterización de lodos residuales (CRETIB)

El análisis CRETIB se realizó en el laboratorio acreditado LABCESSTA ubicado en la ciudad de Riobamba, el mismo se encuentra en el Anexo 1. Los resultados más importantes se muestran a continuación:

Tabla 4.1. Caracterización del lodo residual en comparación con los parámetros CRETIB

Parámetro	Propiedades	Resultado del análisis		
Corrosividad	Corroa a una razón mayor a 6.35mm al año	0.15 mm al año		
Reactividad	Reaccione violentamente con el agua Genera gases, vapores o humos tóxicos Posea en su constitución cianuros o sulfuros Sea capaz de producir reacción explosiva o detonante	Reacción con agua: NO REACCIONA Reacción con ácidos: NO REACCIONA Reacción con álcalis: NO REACCIONA Reacción o descomposición detonante o explosiva: NO REACCIONA, NO SE DESCOMPONE		
Explosividad	Forme mezclas explosivas en el agua Reacción o descomposición detonante o explosiva a 25°C y 1 atm Sea explosivo	Reacción con agua: NO REACCIONA Reacción o descomposición detonante o explosiva: NO REACCIONA, NO SE DESCOMPONE		
Toxicidad	Contaminantes en concentraciones superiores a los valores del extracto PECT (Prueba de lixiviación)	Parámetro	Resultado	LMP
		Arsénico (mg/l)	0.01	5.0
		Bario (mg/l)	<0.5	100.0
		Cadmio (mg/l)	0.007	1.0
		Cromo (mg/l)	<0.02	5.0
		Mercurio (mg/l)	<0.001	0.2
		Plata (mg/l)	<0.01	5.0
		Plomo (mg/l)	<0.01	5.0
Selenio (mg/l)	<0.05	1.0		
Inflamabilidad	Punto de ignición inferior a 60°C No sea líquida y sea capaz de producir fuego por fricción, absorción de humedad o alteraciones químicas Sea un oxidante y estimular la combustión	Capaz de provocar fuego si no es líquido: NO ES CAPAZ		
Biológico-Infecioso	Cuando contiene patógenos en cantidad o concentración suficiente para producir enfermedades	Parámetro	Resultado	LMP
		Salmonella (NMP/g)	<10	-----
		Coliformes fecales (NMP/g)	920	2*10 ⁶
Huevos de parásitos (Helmintos/g)	<10	-----		

Como se observa en la Tabla 4.1 el lodo proveniente de la PTAR del Cantón Ambato ubicado en las Viñas posee un 76.85% de humedad. Todos los análisis de metales pesados se encuentran dentro de los límites permisibles comparados en el informe de laboratorio

(Anexo 1). Al no presentar ninguna característica CRETIB se considera que el lodo residual que se obtiene de la PTAR puede ser utilizado de manera segura.

De acuerdo a la Norma Técnica de desechos peligrosos [35], menciona que un desecho es considerado como peligroso cuando, mediante su análisis se considere; corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico, inflamable y biológicamente infeccioso. Analizando cada uno de estos términos, la Tabla 4.1 nos muestra que el lodo analizado corroe a una razón de 0.15 mm al año, y según la normativa establece que para que un desecho sea peligroso debe corroer a una razón mayor a 6.35 mm al año. En lo referente a la inflamabilidad, el lodo no es capaz de provocar fuego, es decir, no es capaz de producir fuego o fricción, absorción de humedad o por alteraciones químicas. De igual manera sucede con la reactividad, en donde no reacciona violentamente con agua, además no posee una constitución de cianuros o sulfuros que puedan liberar gases, vapores o humos.

En cuanto a ser un agente biológicamente infeccioso, este presenta cantidades de patógenos menores a lo que establecen los límites permisibles, es por esto que no se considera como biológico-infeccioso porque no posee patógenos en cantidad o concentración suficiente para producir enfermedades. En cuanto a la toxicidad, este no posee contaminantes en concentraciones superiores a los valores de Arsénico, bario, Cadmio, Cromo, mercurio, plata, plomo y selenio y finalmente, en explosividad, el lodo no forma mezclas potencialmente explosivas con el agua, además no es capaz de producir una reacción detonante o explosiva a condiciones normales (25°C y 1 atm).

4.3. Análisis de resistencia a la compresión

En la Tabla 4.2, se observan los resultados de resistencia a la compresión de acuerdo a la fórmula de compresión expuesta en el marco teórico y a los resultados de la máquina realizados a los ladrillos de muestra (Patrón) y a los ladrillos experimentales, en donde se evidencia que el ladrillo de muestra alcanza resultados de compresión llegando a un promedio de 3.05 MPa de resistencia a la compresión por las 5 unidades muestreadas.

En los ladrillos con 10% de lodo seco se observan un promedio de 1.84Mpa. Los ladrillos con 20% de lodo seco muestran una resistencia de compresión con un promedio de 3.16 MPa. En los ladrillos con 10% de lodo húmedo la resistencia a la compresión llega a un promedio de 1.80 MPa. Por otro lado, los ladrillos conformados con 20% de lodo húmedo tienen una resistencia tiene un promedio de 1.43 MPa.

Los resultados difieren con los encontrados por Fuentes, Samir y Ascencio [2] en donde se evidencia que los ladrillos artesanales fabricados con 5, 10, y 15% de lodo residual presentaron mayores resistencias que los ladrillos que contienen lodo de 20 a 30%. En el presente estudio, el ladrillo fabricado con 20% de lodo seco muestra una resistencia mayor que los ladrillos fabricados con 10% lodo seco, 10% y 20 % lodo húmedo.

El ladrillo resultante del proceso de fabricación artesanal se definió como ladrillo hueco tipo F, según la Norma INEN 297 comparada el ladrillo este debe tener resistencia mínima a la compresión de 3 MPa, como se puede observar en los resultados el ladrillo resultante de 20% de lodo seco es el que tiene un promedio de 3.16 MPa, por lo tanto, es el que más apto para sustituir al ladrillo común, debido a que los otros tratamientos obtuvieron una resistencia a la compresión de alrededor de 2 MPa y no se consideran como aptos para la construcción.

Cálculo de la compresión:

$$C = \frac{P}{A}$$
$$C = \frac{92640 \text{ N}}{20\ 010 \text{ mm}^2}$$

$$C = 4.63 \text{ Mpa}$$

$$A = a * l$$
$$A = 138\text{mm} * 145\text{mm}$$
$$A = 20\ 010 \text{ mm}^2$$

Tabla 4.2. Resultados del análisis de compresión

	MUESTRAS	Resistencia a la Compresión, Mpa (RESULTADO MAQUINA)	Ancho de la muestra, en mm	Largo de la muestra, en mm	Área de la sección, mm ²	Carga, kN	Carga, N	Resistencia a la Compresión, Mpa (FORMULA)
PATRON O LADRILLO COMUN	1	4,63	138	145	20010	92,64	92640	4,63
	2	2,44	160	140	22400	54,58	54580	2,44
	3	4,03	140	145	20300	81,79	81790	4,03
	4	1,57	147	140	20580	32,34	32340	1,57
	5	2,57	148	140	20720	53,22	53220	2,57
PROMEDIO		3,05						
LADRILLO 10% SECO	1	1,46	148	138	20424	29,88	29880	1,46
	2	2,07	130	137	17810	36,91	36910	2,07
	3	1,56	145	140	20300	31,69	31690	1,56
	4	1,72	148	139	20572	35,47	35470	1,72
	5	2,38	132	140	18480	43,98	43980	2,38
PROMEDIO		1,84						
LADRILLO 10% HUMEDO	1	1,87	147	138	20286	38,02	38020	1,87
	2	1,28	143	137	19591	25,07	25070	1,28
	3	2,1	145	135	19575	41,1	41100	2,10
	4	1,73	140	135	18900	32,71	32710	1,73
	5	2,01	145	140	20300	40,77	40770	2,01
PROMEDIO		1,80						
LADRILLO 20% HUMEDO	1	1,11	144	137	19728	21,99	21990	1,11
	2	1,1	150	138	20700	22,69	22690	1,10
	3	1,42	140	138	19320	27,41	27410	1,42
	4	2,22	148	140	20720	45,99	45990	2,22
	5	1,3	139	140	19460	27	27000	1,39
PROMEDIO		1,43						
LADRILLO 20% SECO	1	3,61	145	138	20010	72,23	72230	3,61
	2	2,86	147	140	20580	58,85	58850	2,86
	3	3,57	145	140	20300	72,47	72471	3,57
	4	2,35	140	140	19600	46,06	46060	2,35
	5	3,41	145	138	20010	68,23	38235	3,41
PROMEDIO		3,16						

4.4. Análisis del módulo de rotura a la flexión

En la Tabla 4.3, se muestra los resultados obtenidos del análisis y el cálculo del módulo de rotura, este se calculó con el objetivo de conocer la fuerza máxima que se puede aplicar al ladrillo antes de que se quiebre o fracture. Como resultados se observa que a las muestras patrón se puede aplicar una fuerza promedio de las 5 muestras de 1.705 MPa.

En los ladrillos que contienen 20 % de lodo seco resisten una fuerza promedio de 3.165 MPa. Por otro lado, los ladrillos que contienen 10% de lodo húmedo resisten una fuerza promedio de 1.674 Mpa. En los ladrillos con 20% de lodo húmedo, la fuerza promedio es de 1.795 MPa. Finalmente, en el ladrillo conformado por 10% de lodo seco la fuerza promedio es de 1.852 MPa.

Los resultados obtenido difieren a los obtenidos por Tene y Zambrano [41] en donde los ladrillos elaborados con lodo residual al 5 y 20% no cumplen con la resistencia mínima individual establecida por la normativa INEN 297, ya que poseen una resistencia a flexión media de 1.565 MPa y 0.777 MPa respectivamente. Por otro lado, en la presente investigación el ladrillo fabricado con 20% de lodo seco resiste una fuerza promedio de 3.165 MPa.

En lo referente a la flexión comparado con la normativa, se puede observar que la mayoría de ladrillos alcanzan cantidades que se aproximan a 2MPa, pero sobresale la resistencia del ladrillo al 20% de lodo seco ya que posee una resistencia de 3.165 MPa superando al ladrillo común.

Tabla 4.3. Resultados del análisis del módulo de rotura

	NOMBRE	Carga máxima de rotura (G)	Distancia entre soportes (l)	Distancia promedio de falla (x)	b (ancho neto-distancia de cara a cara)	d (profundidad)	R (Rotura)	R
	UNIDADES	N	mm	mm	mm	mm	N/mm ² (MPa)	Pa
PATRONO LADRILLO COMUN	1	7450,10	265	8,67	140	100	1,977	1976937,3
	2	4448,89	265	19,00	140	100	1,082	1082033,6
	3	8307,77	265	13,67	140	100	2,116	2115514,3
	4	4609,43	265	27,00	140	100	1,042	1042060,4
	5	8364,68	265	3,67	140	100	2,309	2309249,2
					Promedio		1,705	1705158,9
LADRILLO 20% SECO	1	9083,11	265	6,67	140	100	2,449	2449195,7
	2	9939,83	265	12,33	140	100	2,560	2559506,2
	3	12452,10	265	6,67	140	100	3,358	3357619,8
	4	14702,20	265	8,00	140	100	3,922	3922336,9
	5	12682,30	265	2,33	140	100	3,537	3537455,8
					Promedio		3,165	3165222,9
LADRILLO 10% HUMEDO	1	5583,76	265	20,33	140	100	1,342	1342096,6
	2	4206,98	265	21,33	140	100	1,002	1002162,7
	3	9520,21	265	12,67	140	100	2,445	2444653,9
	4	9542,15	265	5,67	140	100	2,593	2593420,1
	5	3958,70	265	16,33	140	100	0,985	985433,54
					Promedio		1,674	1673553,4
LADRILLO 20% HUMEDO	1	7631,30	265	23,00	140	100	1,791	1790630
	2	7429,12	265	21,33	140	100	1,770	1769722,5
	3	8156,14	265	13,33	140	100	2,083	2082728,6
	4	8336,07	265	17,67	140	100	2,051	2051268,7
	5	5297,98	265	19,67	140	100	1,281	1280975,9
					Promedio		1,795	1795065,1
LADRILLO 10% SECO	1	6543,16	265	16,33	140	100	1,629	1628779,5
	2	10666,20	265	3,67	140	100	2,945	2944633,1
	3	8028,67	265	18,33	140	100	1,964	1964156,8
	4	3397,31	265	12,67	140	100	0,872	872380,68
	5	7324,54	265	14,67	140	100	1,849	1849446,4
					Promedio		1,852	1851879,3

4.5. Análisis de absorción máxima de humedad

En la Tabla 4.4 se observa los resultados obtenidos de absorción máxima de humedad del ladrillo común o patrón y de los ladrillos del experimento. En donde se evidencia que los ladrillos comunes tienen un porcentaje de absorción que va desde los 18.84% hasta los 22.52% dando un promedio general de 21.36%.

En los ladrillos formados por 10% de lodo seco se observa un porcentaje de absorción que va desde los 15.11% hasta los 24.48% dando un promedio de 20.09%. en los ladrillos conformados por el 20% de lodo húmedo el porcentaje de absorción varía desde 16.49% hasta los 27.41% dando un promedio de 24.34%

Por otro lado, los ladrillos formados por 10% de lodo húmedo el porcentaje de absorción se encuentra entre los rangos de 18.32% y 23.11% dando un promedio de 20.79%. Finalmente, los ladrillos conformados por el 20% de lodo seco llegan a un porcentaje de absorción desde 20.10% a 27.32% resultando un promedio de 24.63%.

Los resultados obtenidos son diferentes a los encontrados por Camargo y Yambay [42] en donde se encuentra que el porcentaje de absorción de agua van desde los 28.4% hasta los 35.6% correspondiendo al menor valor a la muestra con lodo residual seco y con valores más altos al lodo residual con lodo húmedo.

Comparando los datos de la normativa con los resultados, el ladrillo con 20% de lodo seco es el que más se aproxima al porcentaje de absorción máxima de humedad, el cual tiene un porcentaje de 24.63% que se acerca al 25%. En los demás tratamientos el porcentaje de humedad de 16 a 20%. Es importante mencionar que, la absorción de agua afecta la durabilidad de la unidad y la mampostería en una construcción. Si la unidad tiene absorción alta, puede presentar cambios volumétricos significativos o permeabilidad alta a la penetración de agua, y puede causar decoloraciones, por lo tanto, el porcentaje de humedad que absorbe el ladrillo debería ser menor al promedio que establece la norma.

Tabla 4.4. Resultados absorción máxima de humedad

	MUESTRAS	WS= ESPECIMEN SECO ANTES DE LA INMERSION (gramos)	WSS= ESPECIMEN DESPUES DE LA INMERSION (gramos)	% Absorción
PATRON O LADRILLO COMUN	1	1412	1730	22,52
	2	1975	2347	18,84
	3	1963	2396	22,06
	4	1843	2244	21,76
	5	1820	2214	21,65
			PROMEDIO	21,36
LADRILLO 10% SECO	1	1907	2275	19,30
	2	1872	2318	23,82
	3	1959	2255	15,11
	4	1879	2339	24,48
	5	2018	2376	17,74
			PROMEDIO	20,09
LADRILLO 20% HUMEDO	1	1811	2270	25,35
	2	1682	2143	27,41
	3	1732	2178	25,75
	4	1639	2077	26,72
	5	1662	1936	16,49
			PROMEDIO	24,34
LADRILLO 10% HUMEDO	1	1900	2248	18,32
	2	1591	1923	20,87
	3	1856	2285	23,11
	4	1803	2191	21,52
	5	1714	2059	20,13
			PROMEDIO	20,79
LADRILLO 20% SECO	1	1816	2181	20,10
	2	1618	2059	27,26
	3	1684	2144	27,32
	4	1824	2313	26,81
	5	1738	2115	21,69
			PROMEDIO	24,63

4.6. Comprobación de la hipótesis

Para la comprobación de la hipótesis se realizó la prueba estadística de Tukey en donde se utiliza en ANOVA (Análisis de Varianza) para crear intervalos de confianza para todas las diferencias en parejas entre las medias de los niveles de los factores mientras controla

la tasa de error por familia en un nivel especificado. Para realizar esta comparación se tomó los datos obtenidos de los tratamientos con los diferentes porcentajes de lodos y los datos del ladrillo común.

Tabla 4.5: Comparaciones múltiples variable resistencia a la compresión

Comparaciones múltiples							
Variable dependiente: Resistencia a la Compresión. MPa (FORMULA)							
	(I) MUESTRAS	(J) MUESTRAS	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	LADRILLO 10% HUMEDO	LADRILLO 10% SECO	-.0400	.43036	1.000	-13.278	12.478
		LADRILLO 20% HUMEDO	.3500	.43036	.923	-.9378	16.378
		LADRILLO 20% SECO	-1.3620*	.43036	.035	-26.498	-.0742
		PATRON O LADRILLO COMUN	-12.500	.43036	.060	-25.378	.0378
	LADRILLO 10% SECO	LADRILLO 10% HUMEDO	.0400	.43036	1.000	-12.478	13.278
		LADRILLO 20% HUMEDO	.3900	.43036	.891	-.8978	16.778
		LADRILLO 20% SECO	-1.3220*	.43036	.042	-26.098	-.0342
		PATRON O LADRILLO COMUN	-12.100	.43036	.072	-24.978	.0778
	LADRILLO 20% HUMEDO	LADRILLO 10% HUMEDO	-.3500	.43036	.923	-16.378	.9378
		LADRILLO 10% SECO	-.3900	.43036	.891	-16.778	.8978
		LADRILLO 20% SECO	-1.7120*	.43036	.006	-29.998	-.4242
		PATRON O LADRILLO COMUN	-1.6000*	.43036	.011	-28.878	-.3122

Comparaciones múltiples							
Variable dependiente: Resistencia a la Compresión. MPa (FORMULA)							
	(I) MUESTRAS	(J) MUESTRAS	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	LADRILLO 20% SECO	LADRILLO 10% HUMEDO	1.3620*	.43036	.035	.0742	26.498
		LADRILLO 10% SECO	1.3220*	.43036	.042	.0342	26.098
		LADRILLO 20% HUMEDO	1.7120*	.43036	.006	.4242	29.998
		PATRON O LADRILLO COMUN	.1120	.43036	.999	-11.758	13.998
	PATRON O LADRILLO COMUN	LADRILLO 10% HUMEDO	12.500	.43036	.060	-.0378	25.378
		LADRILLO 10% SECO	12.100	.43036	.072	-.0778	24.978
		LADRILLO 20% HUMEDO	1.6000*	.43036	.011	.3122	28.878
		LADRILLO 20% SECO	-.1120	.43036	.999	-13.998	11.758
DMS	LADRILLO 10% HUMEDO	LADRILLO 10% SECO	-.0400	.43036	.927	-.9377	.8577
		LADRILLO 20% HUMEDO	.3500	.43036	.426	-.5477	12.477
		LADRILLO 20% SECO	-1.3620*	.43036	.005	-22.597	-.4643
		PATRON O LADRILLO COMUN	-1.2500*	.43036	.009	-21.477	-.3523
	LADRILLO 10% SECO	LADRILLO 10% HUMEDO	.0400	.43036	.927	-.8577	.9377
		LADRILLO 20% HUMEDO	.3900	.43036	.376	-.5077	12.877
		LADRILLO 20% SECO	-1.3220*	.43036	.006	-22.197	-.4243
		PATRON O LADRILLO COMUN	-1.2100*	.43036	.011	-21.077	-.3123

Comparaciones múltiples							
Variable dependiente: Resistencia a la Compresión. MPa (FORMULA)							
	(I) MUESTRAS	(J) MUESTRAS	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
DMS	LADRILLO 20% HUMEDO	LADRILLO 10% HUMEDO	-0.3500	.43036	.426	-12.477	.5477
		LADRILLO 10% SECO	-0.3900	.43036	.376	-12.877	.5077
		LADRILLO 20% SECO	-1.7120*	.43036	.001	-26.097	-8.143
		PATRON O LADRILLO COMUN	-1.6000*	.43036	.001	-24.977	-7.7023
DMS	LADRILLO 20% SECO	LADRILLO 10% HUMEDO	1.3620*	.43036	.005	.4643	22.597
		LADRILLO 10% SECO	1.3220*	.43036	.006	.4243	22.197
		LADRILLO 20% HUMEDO	1.7120*	.43036	.001	.8143	26.097
		PATRON O LADRILLO COMUN	.1120	.43036	.797	-7.7857	10.097
	PATRON O LADRILLO COMUN	LADRILLO 10% HUMEDO	1.2500*	.43036	.009	.3523	21.477
		LADRILLO 10% SECO	1.2100*	.43036	.011	.3123	21.077
		LADRILLO 20% HUMEDO	1.6000*	.43036	.001	.7023	24.977
		LADRILLO 20% SECO	-0.1120	.43036	.797	-10.097	.7857
Se basa en las medias observadas.							
El término de error es la media cuadrática (Error) = .463.							
*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.							

Tabla 4.6: Prueba de Tukey variable resistencia a la compresión

Resistencia a la Compresión. Mpa (FORMULA)					
	MUESTRAS	N	Subconjunto		
			1	2	3
HSD Tukey ^{a,b}	LADRILLO 20% HUMEDO	5	1.4480		
	LADRILLO 10% HUMEDO	5	1.7980	1.7980	
	LADRILLO 10% SECO	5	1.8380	1.8380	
	PATRON O LADRILLO COMUN	5		3.0480	3.0480
	LADRILLO 20% SECO	5			3.1600
	Sig.			.891	.060
Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos. Se basa en las medias observadas. El término de error es la media cuadrática (Error) = .463.					
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5.000.					
b. Alfa = 0.05.					

Interpretación:

Con un nivel de significancia de 0.05 según la prueba de Tukey se puede afirmar que la resistencia a la compresión de las muestras analizadas en el ladrillo con 20% de humedad es menor que con el ladrillo húmedo al 10% y el ladrillo seco al 10% y estos a su vez son inferiores al ladrillo común, pero por otro lado se observa que el ladrillo con 20% de lodo seco posee la mayor resistencia de estas muestras pudiendo ser agrupado con el ladrillo común.

Tabla 4.7: Comparaciones múltiples variable módulo de rotura

Comparaciones múltiples							
Variable dependiente: Módulo de Rotura (N/mm ² (Mpa))							
	(I) MUESTRAS	(J) MUESTRAS	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	LADRILLO 10% HUMEDO	LADRILLO 10% SECO	-1.49180*	.404202	.011	-270.132	-.28228
		LADRILLO 20% HUMEDO	-.12180	.404202	.998	-133.132	108.772
		LADRILLO 20% SECO	-.17840	.404202	.992	-138.792	103.112
		PATRON O LADRILLO COMUN	-.03180	.404202	1.000	-124.132	117.772
	LADRILLO 10% SECO	LADRILLO 10% HUMEDO	1.49180*	.404202	.011	.28228	270.132
		LADRILLO 20% HUMEDO	1.37000*	.404202	.022	.16048	257.952
		LADRILLO 20% SECO	1.31340*	.404202	.029	.10388	252.292
		PATRON O LADRILLO COMUN	1.46000*	.404202	.013	.25048	266.952
	LADRILLO 20% HUMEDO	LADRILLO 10% HUMEDO	.12180	.404202	.998	-108.772	133.132
		LADRILLO 10% SECO	-1.37000*	.404202	.022	-257.952	-.16048
		LADRILLO 20% SECO	-.05660	.404202	1.000	-126.612	115.292
		PATRON O LADRILLO COMUN	.09000	.404202	.999	-111.952	129.952

Comparaciones múltiples							
Variable dependiente: Modulo de Rotura (N/mm2 (Mpa))							
	(I) MUESTRAS	(J) MUESTRAS	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	LADRILLO 20% SECO	LADRILLO 10% HUMEDO	.17840	.404202	.992	-103.112	138.792
		LADRILLO 10% SECO	-1.31340*	.404202	.029	-252.292	-.10388
		LADRILLO 20% HUMEDO	.05660	.404202	1.000	-115.292	126.612
		PATRON O LADRILLO COMUN	.14660	.404202	.996	-106.292	135.612
	PATRON O LADRILLO COMUN	LADRILLO 10% HUMEDO	.03180	.404202	1.000	-117.772	124.132
		LADRILLO 10% SECO	-1.46000*	.404202	.013	-266.952	-.25048
		LADRILLO 20% HUMEDO	-.09000	.404202	.999	-129.952	111.952
		LADRILLO 20% SECO	-.14660	.404202	.996	-135.612	106.292
DMS	LADRILLO 10% HUMEDO	LADRILLO 10% SECO	-1.49180*	.404202	.001	-233.495	-.64865
		LADRILLO 20% HUMEDO	-.12180	.404202	.766	-.96495	.72135
		LADRILLO 20% SECO	-.17840	.404202	.664	-102.155	.66475
		PATRON O LADRILLO COMUN	-.03180	.404202	.938	-.87495	.81135
	LADRILLO 10% SECO	LADRILLO 10% HUMEDO	1.49180*	.404202	.001	.64865	233.495
		LADRILLO 20% HUMEDO	1.37000*	.404202	.003	.52685	221.315
		LADRILLO 20% SECO	1.31340*	.404202	.004	.47025	215.655
		PATRON O LADRILLO COMUN	1.46000*	.404202	.002	.61685	230.315

Comparaciones múltiples							
Variable dependiente: Modulo de Rotura (N/mm2 (Mpa))							
	(I) MUESTRAS	(J) MUESTRAS	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
DMS	LADRILLO 20% HUMEDO	LADRILLO 10% HUMEDO	.12180	.404202	.766	-.72135	.96495
		LADRILLO 10% SECO	-1.37000*	.404202	.003	-221.315	-.52685
		LADRILLO 20% SECO	-.05660	.404202	.890	-.89975	.78655
		PATRON O LADRILLO COMUN	.09000	.404202	.826	-.75315	.93315
	LADRILLO 20% SECO	LADRILLO 10% HUMEDO	.17840	.404202	.664	-.66475	102.155
		LADRILLO 10% SECO	-1.31340*	.404202	.004	-215.655	-.47025
		LADRILLO 20% HUMEDO	.05660	.404202	.890	-.78655	.89975
		PATRON O LADRILLO COMUN	.14660	.404202	.721	-.69655	.98975
	PATRON O LADRILLO COMUN	LADRILLO 10% HUMEDO	.03180	.404202	.938	-.81135	.87495
		LADRILLO 10% SECO	-1.46000*	.404202	.002	-230.315	-.61685
		LADRILLO 20% HUMEDO	-.09000	.404202	.826	-.93315	.75315
		LADRILLO 20% SECO	-.14660	.404202	.721	-.98975	.69655

Se basa en las medias observadas.
El término de error es la media cuadrática (Error) = .408.

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Tabla 4.8: Prueba de Tukey módulo de rotura

Módulo de Rotura (N/mm² (MPa))				
	MUESTRAS	N	Subconjunto	
			1	2
HSD Tukey ^{a,b}	LADRILLO 10% HUMEDO	5	1.67340	
	PATRON O LADRILLO COMUN	5	1.70520	
	LADRILLO 20% HUMEDO	5	1.79520	
	LADRILLO 20% SECO	5	1.85180	
	LADRILLO 10% SECO	5		3.16520
	Sig.			.992
Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos. Se basa en las medias observadas. El término de error es la media cuadrática (Error) = .408.				
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5.000.				
b. Alfa = 0.05.				

Interpretación:

Con un nivel de significancia de 0.05 según la prueba de Tukey podemos afirmar que el módulo de ruptura de las muestras analizadas en el ladrillo con 10% de humedad es menor que con el ladrillo común mientras que el ladrillo con 20% de humedad y el ladrillo seco al 20% son similares al ladrillo común, pero por otro lado se observa que el ladrillo seco al 10% posee el mayor módulo de ruptura siendo separado en otro grupo.

Tabla 4.9: Comparaciones múltiples variable porcentaje de absorción

Comparaciones múltiples							
Variable dependiente: % Absorción							
	(I) MUESTRAS	(J) MUESTRAS	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	LADRILLO 10% HUMEDO	LADRILLO 10% SECO	42.540	206.305	.274	-19.194	104.274
		LADRILLO 20% HUMEDO	35.540	206.305	.443	-26.194	97.274
		LADRILLO 20% SECO	-.2920	206.305	1.000	-64.654	58.814
		PATRON O LADRILLO COMUN	29.780	206.305	.608	-31.954	91.514
	LADRILLO 10% SECO	LADRILLO 10% HUMEDO	-42.540	206.305	.274	-104.274	19.194
		LADRILLO 20% HUMEDO	-.7000	206.305	.997	-68.734	54.734
		LADRILLO 20% SECO	-45.460	206.305	.219	-107.194	16.274
		PATRON O LADRILLO COMUN	-12.760	206.305	.970	-74.494	48.974
	LADRILLO 20% HUMEDO	LADRILLO 10% HUMEDO	-35.540	206.305	.443	-97.274	26.194
		LADRILLO 10% SECO	.7000	206.305	.997	-54.734	68.734
		LADRILLO 20% SECO	-38.460	206.305	.367	-100.194	23.274
		PATRON O LADRILLO COMUN	-.5760	206.305	.999	-67.494	55.974

Comparaciones múltiples							
Variable dependiente: % Absorción							
	(I) MUESTRAS	(J) MUESTRAS	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	LADRILLO 20% SECO	LADRILLO 10% HUMEDO	.2920	206.305	1.000	-58.814	64.654
		LADRILLO 10% SECO	45.460	206.305	.219	-16.274	107.194
		LADRILLO 20% HUMEDO	38.460	206.305	.367	-23.274	100.194
		PATRON O LADRILLO COMUN	32.700	206.305	.523	-29.034	94.434
	PATRON O LADRILLO COMUN	LADRILLO 10% HUMEDO	-29.780	206.305	.608	-91.514	31.954
		LADRILLO 10% SECO	12.760	206.305	.970	-48.974	74.494
		LADRILLO 20% HUMEDO	.5760	206.305	.999	-55.974	67.494
		LADRILLO 20% SECO	-32.700	206.305	.523	-94.434	29.034
DMS	LADRILLO 10% HUMEDO	LADRILLO 10% SECO	42.540	206.305	.052	-.0495	85.575
		LADRILLO 20% HUMEDO	35.540	206.305	.100	-.7495	78.575
		LADRILLO 20% SECO	-.2920	206.305	.889	-45.955	40.115
		PATRON O LADRILLO COMUN	29.780	206.305	.164	-13.255	72.815
	LADRILLO 10% SECO	LADRILLO 10% HUMEDO	-42.540	206.305	.052	-85.575	.0495
		LADRILLO 20% HUMEDO	-.7000	206.305	.738	-50.035	36.035
		LADRILLO 20% SECO	-4.5460*	206.305	.039	-88.495	-.2425
		PATRON O LADRILLO COMUN	-12.760	206.305	.543	-55.795	30.275

Comparaciones múltiples								
Variable dependiente: % Absorción								
	(I) MUESTRAS	(J) MUESTRAS	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
						Límite inferior	Límite superior	
DMS	LADRILLO 20% HUMEDO	LADRILLO 10% HUMEDO	-35.540	206.305	.100	-78.575	.7495	
		LADRILLO 10% SECO	.7000	206.305	.738	-36.035	50.035	
		LADRILLO 20% SECO	-38.460	206.305	.077	-81.495	.4575	
		PATRON O LADRILLO COMUN	-.5760	206.305	.783	-48.795	37.275	
	LADRILLO 20% SECO	LADRILLO 10% HUMEDO	.2920	206.305	.889	-40.115	45.955	
		LADRILLO 10% SECO	4.5460*	206.305	.039	.2425	88.495	
		LADRILLO 20% HUMEDO	38.460	206.305	.077	-.4575	81.495	
		PATRON O LADRILLO COMUN	32.700	206.305	.129	-10.335	75.735	
	PATRON O LADRILLO COMUN	LADRILLO 10% HUMEDO	-29.780	206.305	.164	-72.815	13.255	
		LADRILLO 10% SECO	12.760	206.305	.543	-30.275	55.795	
		LADRILLO 20% HUMEDO	.5760	206.305	.783	-37.275	48.795	
		LADRILLO 20% SECO	-32.700	206.305	.129	-75.735	10.335	
	Se basa en las medias observadas.							
	El término de error es la media cuadrática(Error) = 10.640.							
	*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.							

Tabla 4.10: Prueba de Tukey porcentaje de absorción

% Absorción			
	MUESTRAS	N	Subconjunto
			o
			1
HSD Tukey ^{a,b}	LADRILLO 10% SECO	5	20.0900
	LADRILLO 20% HUMEDO	5	20.7900
	PATRON O LADRILLO COMUN	5	21.3660
	LADRILLO 10% HUMEDO	5	24.3440
	LADRILLO 20% SECO	5	24.6360
	Sig.		
Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos. Se basa en las medias observadas. El término de error es la media cuadrática (Error) = 10.640.			
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5.000.			
b. Alfa = 0.05.			

Interpretación:

Con un nivel de significancia de 0.05 según la prueba de Tukey se puede afirmar que el porcentaje de humedad de las muestras analizadas se agrupa dentro de un único grupo todas las muestras donde el ladrillo seco al 10% posee el menor porcentaje de humedad y el ladrillo seco al 20% posee el mayor porcentaje de humedad.

De acuerdo al análisis estadístico realizado según los resultados de la variable de la resistencia a la compresión (Tabla 14), módulo de rotura (Tabla 16) y porcentaje de absorción de humedad (Tabla 18) cuyos resultados se asemejan a los obtenidos al ladrillo común, es por esto que, se acepta la hipótesis nula, es decir, los lodos provenientes del proceso de depuración de la PTAR del cantón Ambato pueden ser aprovechados en el campo de la construcción con la fabricación de ladrillos artesanales debido a que el ladrillo que contiene el 20% de lodo seco llega a tener valores similares y hasta superiores que el ladrillo que comúnmente se utiliza para la construcción rechazando la hipótesis alternativa.

4.7. Análisis económico y ambiental

4.7.1. Análisis de Costos

Se realizó un análisis económico de una unidad de ladrillo común y con adición de lodo residual mediante un análisis de costos unitarios, este costo se lo realizó en una producción diaria de 6000 ladrillos.

Los datos de producción de ladrillos se los recolecto en la “Ladrillera Tirado”, misma en donde se realizó la fabricación de ladrillo con adición de lodo residual proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales del cantón Ambato “Las Viñitas”. Para realizar este análisis de costos se tomó en consideración los costos directos e indirectos, tales como: mano de obra, materia prima, equipos y transporte.

- **Costo unitario ladrillo común**

Tabla 4.11: Cálculo costos de materia prima para ladrillo común

CÁLCULO DEL COSTO DE MATERIA PRIMA				
Material	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo
Barro negro	m ³	7	12,98	90,86
Barro amarillo	m ³	4,9	12,47	61,103
Aserrín	m ³	8,16	12,5	102
Agua	m ³	1	0,8	0,8
			SUBTOTAL	254,763
Ladrillos Producidos	6000			
COSTO MATERIA PRIMA		0,042		

Tabla 4.12: Cálculo costo energético proceso mezclado-extrusión para ladrillo común

CÁLCULO COSTO ENERGÉTICO PROCESO MEZCLADO-EXTRUSIÓN				
Componentes	CANTIDAD	Hp	Kw	Kwh
Motor 1 mezcladora	1	25	18,65	130,55
Molino	1	50	37,3	261,1
Motor de banda transportadora	1	3,5	2,611	18,277
Motor banda 2 transportadora	1	2	1,492	10,444
Motor de extrusora de ladrillo	1	110	82,06	574,42
Motor de bomba de vacío para ladrillo	1	20	14,92	104,44
Cortadora	1	1	0,746	5,222
				1104,453
Descripción	VALOR	UNIDADES		
Hp a Kw	0,746	-		
Costo kwh	0,073	Dólares		
KWH consumido en el día	1502,6305	-		
Horas ocupación de la maquina	7	Horas		
Costo energía/día	109,6920265	Dólares/Kwh		
Nro. Ladrillos día	6000	Unidades		
COSTO UTILIZACION ENERGIA POR UNIDAD MEZCLADO-EXTRUSADO			0,018	

Tabla 4.13: Cálculo costo energético proceso secado para ladrillo común

CALCULO COSTO ENERGETICO PROCESO SECADO				
COMPONENTES	CANTIDAD	Hp	Kw	Kw/día
Ventilador	2	60	44,76	2148,48
				2148,48
Horas uso al día	48	Horas		
Costo kwh	0,073	Dólares		
Costo energía/día	156,83904	Dólares/Kwh		
Producción diaria	2500	Unidades		
COSTO UTILIZACION ENERGIA POR UNIDAD SECADO			0,063	

Tabla 4.14: Cálculo costo proceso quemado para ladrillo común

CÁLCULO COSTO PROCESO QUEMA-COMBUSTIBLE					
COMPONENTES	m³	Precio m³	TOTAL USD	UNIDADES	m³ de combustible por ladrillo
Combustible	4,5	\$28,50	\$128,25	6000	0,021375

Tabla 4.15: Cálculo costo mano de obra directa para ladrillo común

CÁLCULO COSTO MANO DE OBRA DIRECTA		
Descripción	Unidad	Costo sueldos
Albañil	1	\$550
Obrero	2	\$900
	SUBTOTAL	\$1.450
Sueldo básico	\$450	
Producción Mensual	120000	
Costo total sueldos	\$1.450	
Costo por Unidad	\$0,012	

Tabla 4.16: Cálculo costo transporte para ladrillo común

CÁLCULO COSTO DE TRANSPORTE				
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Volqueta Barro negro	m ³	7	8,57	59,99
Volqueta Barro amarillo	m ³	7	7,14	49,98
			SUBTOTAL	109,97
Ladrillos diarios producidos	6000			
COSTO TRANSPORTE MATERIAL			0,018328333	

Tabla 4.17: Costo total para ladrillo común

COSTO TOTAL	
Descripción	Costo Total
Materia Prima	0,042
Energía mezclado-extrusado	0,018
Energía proceso secado	0,063
Combustible	\$0,021
Mano de Obra Directa	\$0,012
Transporte	\$0,018

COSTO UNITARIO LADRILLO	0,18
P.V.P	0,30
DIFERENCIA	0,12

- **Costo unitario ladrillo con adición 20% lodo residual**

Tabla 4.18: Cálculo costos de materia prima

LADRILLO COMÚN				
CÁLCULO DEL COSTO DE MATERIA PRIMA				
Material	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo
Barro negro	m ³	5,6	12,98	72,688
Barro amarillo	m ³	2,33	12,47	29,0551
Aserrín	m ³	8,16	12,5	102
Agua	m ³	1	0,8	0,8
Lodo residual seco 20%	m ³	2,33	0	0
			SUBTOTAL	204,5431
Ladrillos Producidos	9000			
COSTO MATERIA PRIMA		0,0227		

Tabla 4.19: Cálculo costo energético proceso Mezclado-Extrusión

CÁLCULO COSTO ENERGÉTICO PROCESO MEZCLADO-EXTRUSIÓN				
Componentes	Cantidad	Hp	Kw	Kwh
Motor 1 mezcladora	1	25	18,65	130,55
Molino	1	50	37,3	261,1
Motor de banda transportadora	1	3,5	2,611	18,277
Motor banda 2 transportadora	1	2	1,492	10,444
Motor de extrusora de ladrillo	1	110	82,06	574,42
Motor de bomba de vacío para ladrillo	1	20	14,92	104,44
Cortadora	1	1	0,746	5,222
				1104,453
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDADES		
Hp a Kw	0,746	-		
Costo kwh	0,073	Dólares		
KWH consumido en el día	1502,63	-		
Horas ocupación de la maquina	7	Horas		
Costo energía/día	109,69	Dólares/Kwh		
Nro. Ladrillos día	9000	Unidades		
COSTO UTILIZACION ENERGIA POR UNIDAD MEZCLADO-EXTRUSADO			0,012	

Tabla 4.20: Cálculo costo energético proceso secado

CÁLCULO COSTO ENERGETICO PROCESO SECADO				
COMPONENTES	CANTIDAD	Hp	Kw	Kw/día
Ventilador	2	60	44,76	2148,48
			SUBTOTAL	2148,48
Horas uso al día	48	Horas		
Costo kwh	0,073	Dólares		
Costo energía/día	156,83904	Dólares/Kwh		
Producción diaria	2500	Unidades		
COSTO UTILIZACION ENERGÍA POR UNIDAD SECADO			0,063	

Tabla 4.21: Cálculo costo proceso quemado

CÁLCULO COSTO PROCESO QUEMA-COMBUSTIBLE						
COMPONENTES	Unidades	Cantidad	Precio m³	TOTAL USD	UNIDADES	Precio m3 de combustible por ladrillo
Combustible	m ³	4,5	\$28,50	\$128,25	6000	0,021375

Tabla 4.22. Cálculo costo mano de obra directa

CÁLCULO DEL COSTO MANO DE OBRA DIRECTA		
Descripción	Unidad	Costo sueldos
Albañil	1	\$550
Obrero	2	\$900
	SUBTOTAL	\$1.450
Sueldo básico	\$450	
Producción Mensual	180000	
Costo total sueldos	\$1.450	
Costo por Unidad	\$0,008	

Tabla 4.23: Cálculo costo transporte

CÁLCULO COSTO DE TRANSPORTE				
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Volqueta barro negro	m ³	7	8,57	59,99
Volqueta barro amarillo	m ³	7	7,14	49,98
Volqueta lodo residual	m ³	7	0	0
			SUBTOTAL	109,97
Ladrillos diarios producidos	9000			
COSTO TRANSPORTE MATERIAL			0,018328333	

Tabla 4.24: Costo Total

COSTO TOTAL	
Descripción	Costo Total
Materia Prima	\$0,022
Energía mezclado-extrusado	\$0,012
Energía secado	\$0,062
Combustible	\$0,0214
Mano de Obra Directa	\$0,008
Transporte	\$0,012

COSTO UNITARIO LADRILLO	0,14
P.V. P	0,30
DIFERENCIA	0,16

Se realizó un análisis de costos unitarios entre el ladrillo común y el ladrillo con adición de 20% de lodo residual seco, donde se determinó que, para el ladrillo común el precio unitario es de \$ 0.18 con una cantidad diaria de producción de 6000 unidades, mientras que, para el ladrillo con adición de lodo residual 20% seco se obtuvo un precio unitario de \$ 0.14 con una producción de 9000 unidades diarias, donde se puede observar que mediante la adición de lodo residual en la fabricación de ladrillo aumenta la producción, disminuye los costos de fabricación y además disminuye los tiempos de producción ya que en el proceso de macerado de la materia prima para la fabricación de ladrillo común se requiere un tiempo de macerado de 48 horas, mientras que con la adición de lodo residual gracias a las características físicas y biológicas disminuye el tiempo a 24 horas.

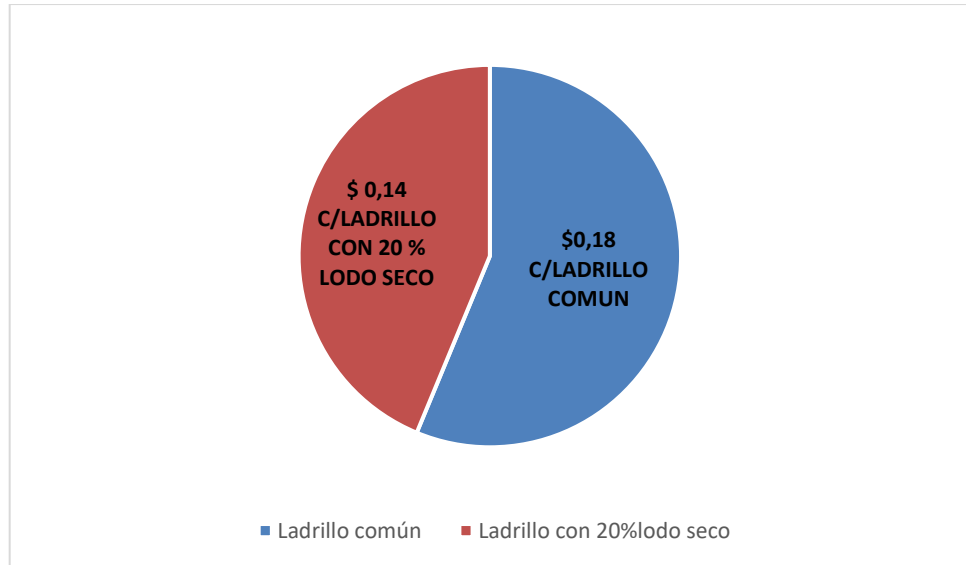


Figura 41: *Comparación de costos*

- **Cálculo del Valor actual neto (VAN) y Tasa de interna de retorno (TIR)**

Para poder calcular el VAN y TIR, se estableció un flujo de caja de 5 años, este periodo se determinó mediante un criterio técnico de la vida útil del proyecto en función de la maquinaria instalada actualmente en la ladrillera Tirado.

Tabla 4.25: Balance General

BALANCE GENERAL			
ACTIVO		PASIVO	
Caja	\$5.000,00	Pasivo Corriente	\$3.082,00
Banco	\$25.000,00	TOTAL PASIVO CORRIENTE	\$3.082,00
Inventario	\$21.000,00		
Cuentas por cobrar	\$8.500,00		
TOTAL ACTIVO CORRIENTE	\$59.500,00		
		Prestamo bancario	\$15.000,00
Tangible		TOTAL PASIVO LARGO PLAZO	\$15.000,00
Herramientas	\$4.500,00		
Maquinaria	\$52.500,00	TOTAL PASIVO	\$18.082,00
Equipos y enseres de oficina	\$5.200,00		
(-) Depreciación	\$9.025,00		
TOTAL ACTIVO FIJO	\$53.175,00		
Intangible		Capital	\$95.949,00
Gastos de constitución	\$650,00	PATRIMONIO	\$95.949,00
Publicidad	\$200,00		
Permisos de funcionamiento	\$280,00	TOTAL PASIVO+PATRIMONIO	\$114.031,00
(+) Amortización	\$226,00		
TOTAL ACTIVO DIFERIDO	\$1.356,00		
TOTAL ACTIVO	\$114.031,00		

En la tabla 4.25, se muestra el balance general que la empresa proporcionó para el desarrollo del proyecto, donde se obtiene el total de los activos y pasivos que cuenta la empresa, además se observa que cuenta con un patrimonio total de \$95.949.

Tabla 4.26: Estado de resultados

ELABORACIÓN DE LADRILLOS CON LODO RESIDUAL		
BALANCE DE SITUACION AL 31 DE DICIEMBRE 2023		
DETALLE	AÑO 2023	
ACTIVO		
CAJA BANCOS		30.000,00
Caja General	5.000,00	
Banco Pichincha	12.500,00	
Banco Pacifico	12.500,00	
INVERSIONES		12.300,00
Materia prima	5.300,00	
Productos en proceso	4.000,00	
Productos terminados	3.000,00	
CUENTAS POR COBRAR		8.167,00
TOTAL ACTIVO CORRIENTE		50.467,00
ACTIVO FIJO		
MUEBLES Y ENSERES	5.200,00	
MAQUINARIAS	52.500,00	
EQUIPO DE COMPUTACION Y SOFTWARE	700,00	
VEHICULOS, EQUIPO DE TRANSPORTE Y CAMINERO MOVIL	-	
TERRENOS	62.000,00	120.400,00
DEPRECIACION ACUMULADA	9.025,00	
TOTAL ACTIVO FIJO		111.375,00
TOTAL ACTIVO		161.842,00
PASIVO CORRIENTE		
CUENTAS POR PAGAR PROVEEDORES LOCALES		1.632,00
PROVEEDORES	1.632,00	
ARRIENDO	-	
CUENTAS POR PAGAR		3.082,00
Cuentas por pagar corto plazo	3.082,00	
CUENTAS POR PAGAR A LARGO PLAZO	-	
IMPUESTO A LA RENTA POR PAGAR		-
IMPUESTO A LA RENTA POR PAGAR		
PARTICIPACION TRABAJADORES		-
PARTICIPACION 15%		
OBLIGACIONES CON EL IESS		-
OBLIGACIONES IESS	-	
SUELDOS Y SALARIOS Y BENEFICIOS EMPLEADOS		1.450,00
SUELDOS Y SALARIOS	1.450,00	
TOTAL PASIVO CORRIENTE		6.164,00
PASIVO A LARGO PLAZO		
OBLIGACIONES BANCARIAS A LARGO PLAZO		15.000,00
DOUMENTOS POR PAGAR A LARGO PLAZO	15.000,00	
TOTAL PASIVO A LARGO PLAZO		15.000,00
TOTAL PASIVO		21.164,00
PATRIMONIO		
CAPITAL SOCIAL	46.103,67	
RESERVA LEGAL	-	
GANANCIAS ACUMULADAS	-	
UTILIDAD DEL PRESENTE EJERCICIO	-	
TOTAL PATRIMONIO NETO		46.103,67
TOTAL PASIVO Y PATRIMONIO		67.267,67

Tabla 4.27: Estado de resultados (Continuación)

ELABORACIÓN DE LADRILLOS CON LODO RESIDUAL		
BALANCE DE RESULTADOS 1 DE ENERO AL 31 DICIEMBRE 2023		
VENTAS LOCALES TARIFA 12%		47.200,00
Ventas 12%	50.000,00	
(-) Devoluciones en Ventas Iva 12%	(2.000,00)	
(-) Descuento en Ventas	(800,00)	
TOTAL INGRESOS		47.200,00
COSTOS Y GASTOS	COSTOS	GASTOS
SUELDOS SALARIOS Y DEMAS REMUNERACIONES		1.450,00
APORTES A LA SEGURIDAD SOCIAL(INCLUYE FONDOS DE RESERVA		1.024,00
ARRENDAMIENTO DE INMUBLES	-	
MANTENIMIENTO Y REPARACIONES	2.500,00	-
COMBUSTIBLES		3.000,00
PROMOCION Y PUBLICIDAD		5.000,00
SUMINISTROS Y MATERIALES	200,00	
IMPUESTOS Y CONTRIBUCIONES		1.500,00
DEPRECIACION DE ACTIVOS FIJOS	9.025,00	
SERVICIOS PUBLICOS : AGUA, ENERGIA Y TELECOMUNICACIONES		2.325,00
TOTAL COSTOS	11.725,00	
TOTAL GASTOS		14.299,00
TOTAL COSTOS Y GASTOS		26.024,00
UTILIDAD DEL EJERCICIO		21.176,00
(-)15% PARTICIPACION TRABAJADORES		3.176,40
UTILIDAD GRAVABLE		17.999,60
TOTAL IMPUESTO CAUSADO (15%)		2.699,94
UTILIDAD NETA	-	15.299,66

En la tabla 4.26 y 4.27, se obtiene el estado de resultados de la empresa, en donde se refleja que la ladrillera tiene una utilidad neta de \$15.299.66, para lo cual se toma en cuenta los gastos e ingresos que la ladrillera ha tenido durante el año, además se puede analizar que el valor para futuras inversiones es bastante positivo que incluso se puede observar la factibilidad que tiene para la devolución del dinero a los proveedores.

Tabla 4.28: Estado de Resultados Proyectado

ELABORACIÓN DE LADRILLOS CON LODO RESIDUAL					
ESTADO DE RESULTADO PROYECTADO					
	2023	2024	2025	2026	2027
Ingresos	\$47.200,00	\$56.640,00	\$67.968,00	\$81.561,60	\$97.873,92
(-) Gastos Operativos	\$14.299,00	\$14.833,78	\$15.388,57	\$15.964,10	\$16.561,16
(=) Utilidad	\$32.901,00	\$41.806,22	\$52.579,43	\$65.597,50	\$81.312,76
(-) Gastos administrativos	\$4.300,00	\$4.460,82	\$4.627,65	\$4.800,73	\$4.980,28
(-) Gastos de venta	\$5.000,00	\$5.187,00	\$5.380,99	\$5.582,24	\$5.791,02
(-) Gastos Financieros	\$15.000,00	\$1.874,93	\$687,68	\$0,00	\$0,00
(=) Utilidad antes de participación trabajadores	\$8.601,00	\$30.283,47	\$41.883,11	\$55.214,53	\$70.541,47
(-) Reparto de utilidad a trabajadores 15%	\$1.290,15	\$1.338,40	\$1.388,46	\$1.440,39	\$1.494,26
(=) Utilidad antes de impuestos	\$7.310,85	\$28.945,07	\$40.494,65	\$53.774,14	\$69.047,21
(-) Impuesto a la renta personal natural 25%	\$1.827,71	\$1.896,07	\$1.966,98	\$2.040,55	\$2.116,86
(=) Utilidad Neta	\$5.483,14	\$27.049,00	\$38.527,67	\$51.733,60	\$66.930,35
(+) Cargos de depreciación y amortización	\$9.025,00	\$9.025,00	\$9.025,00	\$9.025,00	\$9.025,00
(-) Pago a principales	\$5.000,00	\$5.000,00	\$5.000,00	\$0,00	\$0,00
(=) Flujo neto de efectivo	\$9.508,14	\$31.074,00	\$42.552,67	\$60.758,60	\$75.955,35

En la Tabla 30, se presenta los ingresos anuales proyectados a cinco años, empezando desde el año 2023 hasta el 2027, en donde se refleja al último año un flujo neto de efectivo de \$75.955,35, en el cual se observa que dentro de cinco años la empresa generara una cantidad bastante positiva, mediante este estado de resultados proyectados se puede tomar futuras decisiones de planificación de mejora, misma que permitirá realizar un presupuesto adecuado que ayude a resolver futuros problemas que se presenten dentro de la empresa.

Tabla 4.29: Flujo de Caja

ELABORACIÓN DE LADRILLOS CON LODO RESIDUAL					
FLUJO DE CAJA PROYECTADO					
	(0) 2023	(1) 2024	(2) 2025	(3) 2026	(4) 2027
INGRESOS OPERACIONALES	\$40.500,00	\$56.640,00	\$67.968,00	\$81.561,60	\$97.873,92
(+) Recursos Propios	\$25.500,00				
(+) Recursos Ajenos	\$15.000,00				
(+) Ingresos por ventas	\$47.200,00	\$56.640,00	\$67.968,00	\$81.561,60	\$1.010.744,24
(=) EGRESOS OPERACIONALES	\$19.299,00	\$23.599,00	\$24.481,60	\$25.397,21	\$26.347,07
(+) Gastos operacionales	\$14.299,00	\$14.299,00	\$14.833,78	\$15.388,57	\$15.964,10
(+) Gastos de venta	\$5.000,00	\$5.000,00	\$5.187,00	\$5.380,99	\$5.582,24
(+) Gastos administrativos	\$0,00	\$4.300,00	\$4.460,82	\$4.627,65	\$4.800,73
(=) FLUJO OPERACIONAL	\$21.201,00	\$33.041,00	\$43.486,40	\$56.164,39	\$71.526,85
INGRESOS NO OPERACIONALES					
(+) Crédito a contratarse a corto plazo	\$0,00				
(=) EGRESOS NO OPERACIONALES		\$15.000,00	\$1.874,93	\$687,68	\$0,00
(+) Interés pago de crédito a largo plazo	\$243,75	\$15.000,00	\$1.874,93	\$687,68	\$0,00
(=) FLUJO NO OPERACIONAL		\$15.000,00	\$1.874,93	\$687,68	\$0,00
(=) FLUJO NETO DE CAJA	\$21.201,00	\$18.041,00	\$41.611,47	\$55.476,71	\$71.526,85

La Tabla 31, presenta un flujo de caja proyectado para cinco años donde se detalla los cálculos de los egresos y las inversiones que la empresa ha venido realizando dentro del año, lo que se prevé que para el año 2027 se tendrá un flujo de caja neto de \$71.526,85. lo que quiere decir que la empresa dispondrá un capital positivamente en término del periodo.

Tabla 4.30: Punto de equilibrio

PUNTO DE EQUILIBRIO				
Descripción	Costos Fijos	Valor (\$)	Costos Variables	Valor (\$)
Gastos Operativos	Cargos de depreciación	\$9.025,00	Insumos	\$200,00
	Cargos de amortización	\$226,00	Insumos de instalación	\$2.500,00
	Mantenimiento de equipos	\$2.500,00	Materiales Indirectos	\$1.200,00
Gastos Administrativos	Personal de contacto directo	\$1.450,00		
	Servicios Basicos	\$2.325,00	Suministros de Oficina	\$180,65
	Sueldos	\$3.650,00		
Gastos Financieros	Arriendo	\$0,00		
	Interes prestamo tasa activa referencial	\$243,75		
Total	Costos fijos	\$19.419,75	Costos Variables	\$4.080,65

$$PE = \frac{CF}{1 - \frac{CV}{V}} \quad \text{Ecuación 1: Punto de equilibrio}$$

$$PE = \frac{\$ 19419,75}{1 - \frac{\$ 4080,65}{\$56640}}$$

$$PE = \$19.419,68$$

$$PE = \frac{CF}{PVU - CVU}$$

$$PE = \frac{\$19.419,75}{0.30 - 0.14}$$

$$PE = 121373 \text{ Unidades}$$

Mediante el cálculo del punto de equilibrio, se evidencia que la empresa debe realizar ventas obligatorias de 121373 unidades de ladrillos, los cuales ayudará para cubrir costos fijos y variables, es decir que, al momento de cumplir con la producción de 121373 unidades, se logrará recuperar los gastos que se realizó para la fabricación del producto, el punto de equilibrio nos ayuda a saber cuál es la rentabilidad de la empresa.

- **Cálculo TMAR**

$$T_{mar\ 1} = i + f$$

Tabla 4.31: Datos para el cálculo Tmar 1

Tmar1=	0,2268
TMAR 1 Anual %	22,68%
Riesgo país (i)	0,1894
% Riesgo país	18,94%
Inflación (f)	0,0374
% Inflación	3,74%

$$T_{mar\ 2} = i + f(2)$$

Tabla 4.32: Datos para el cálculo de Tmar 2

Tmar 2	0,2642
TMAR Anual %	26,42%
Riesgo país (i)	0,1894
% Riesgo país	18,94%
Inflación (f)	0,0374
% Inflación	3,74%

Tabla 4.33. Análisis TMAR 1

Proyecto con financiamiento	Monto	% De aportación a las fuentes	TMAR 1 Anual %	Ponderación %
Capital propio	\$5.000,00	25,00%	22,68%	5,67%
Inversión financiera	\$ 15.000,00	75,00%	16,00%	12,00%
TOTAL	\$ 20.000,00	100,00%	38,68%	17,67%

La Tabla 35, refleja un desglose del monto, el porcentaje de aportación de las fuentes, las tasas mínimas de rendimiento y la ponderación de la fuente. Lo que significa que, en el capital propio, la empresa cuenta con \$5.000 con un porcentaje de aportación de 25%, mientras que con la inversión financiera de \$15.000 tiene un porcentaje de aportación de 75%. Para el TMAR anual podemos observar que el porcentaje es 22.68% y 16% respectivamente dando un total de \$20.000 para el financiamiento del producto.

Tabla 4.34. Análisis TMAR 2

Proyecto con financiamiento	Monto	% De aportación a las fuentes	TMAR 2 Anual %	Ponderación %
Capital propio	\$ 5.000,00	25,00%	26,42%	6,61%
Inversión financiera	\$ 15.000,00	75,00%	16,00%	12,00%
TOTAL	\$ 20.000,00	100,00%	42,42%	18,61%

Para el TMAR 2, nos reflejan el desglose del monto, el porcentaje de aportación de las fuentes, las tasas mínimas de rendimiento y la ponderación de la fuente. Lo que quiere decir que el capital propio de la empresa cuenta con \$5.000 con una tasa anual del Tmar2 de 26.4%, con una inversión financiera de \$15.000 con una tasa anual del Tmar2 de 16%.

- **Cálculo del VAN**

$$VAN = -II + \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \frac{FNE_3}{(1+i)^3} + \frac{FNE_4}{(1+i)^4} + \frac{FNE_5}{(1+i)^5}$$

Viene de TMAR 1
Ponderación %
17,67%
0,1767

$$VAN 1 = \$ \quad 68.825,51$$

Se observa que el VAN 1 es de \$68.825,51, considerando que, si el VAN es mayor a 0, la inversión es rentable con una tasa de interés de 17.67%, es decir que si tenemos un VAN positivo podrá realizar una inversión mayor con la tasa que se utilizó, lo que se significa que la empresa es rentable.

Viene de TMAR 2
Ponderación %
18,61%
0,1861

$$VAN 2 = \$ \quad 65.485,19$$

Para los valores del VAN 2 se cuenta con una cantidad de \$65.485,19, con una tasa de 18.61% lo que refleja una rentabilidad positiva para la empresa.

- **Cálculo del TIR**

$$TIR = TMAR 1 + (TMAR 2 - TMAR1) \left(\frac{VAN 1}{VAN 1 - VAN 2} \right)$$

$$TIR = 37,04\%$$

Para poder realizar el análisis del TIR se debe tomar en cuenta que si el TIR es mayor al TMAR se acepta el proyecto, dicho esto podemos decir que el TIR del proyecto es de 37.04%, lo que significa que el proyecto es rentable, es decir la inversión tiene un porcentaje de retorno del 37.04%.

4.7.2. Beneficio ambiental

La fabricación de ladrillos mediante la adición de lodo residual puede obtener ciertos beneficios ambientales a comparación de la fabricación de ladrillos comunes, los cuales son los siguientes:

- Disposición final de lodo residual: El lodo residual es el resultado de varios subprocesos en el tratamiento de aguas residuales, este producto en su mayoría es enviados a rellenos sanitarios, fosas comunes o a su vez desechados en cuerpos de aguas. La fabricación de ladrillos con lodos residuales ayuda a utilizar estos desechos de forma sostenible, evitando la contaminación del medio ambiente y cuerpos de agua, además tiene gran beneficio en la industria de la construcción, disminuyendo costos de fabricación y a su vez aumentando la calidad y producción del ladrillo.
- Conservación de recursos naturales y suelo: Mediante la adición del lodo residual en la fabricación del ladrillo, ayuda a reducir la utilización de barro negro y amarillo, por lo cual beneficia la reducción de extracción de barro protegiendo así los recursos naturales y la degradación del suelo, además se puede conseguir un gran impacto en la localidad manteniendo las áreas naturales protegidas e intactas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS

5.1. Conclusiones

- La caracterización de los lodos residuales mediante el análisis CRETIB determinó que los lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales no contenían parámetros para considerarse como peligrosos, ya que los análisis resultaron con valores bajo los límites permisibles de la Norma INEN 297, permitiendo su uso para la elaboración de ladrillos artesanales.
- Para determinar el porcentaje adecuado de lodo presente en la fabricación de ladrillos artesanales se realizó una investigación bibliográfica, los cuales dieron como resultados la elaboración del 10 y 20% con lodo seco y húmedo para su elaboración, debido a que valores superiores disminuían las características de los ladrillos conforme a la Normativa ecuatoriana.
- Mediante los análisis realizados en los laboratorios de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato, se pudo determinar la resistencia a la compresión, resistencia mínima a la flexión y absorción máxima de humedad, en donde el lodo conformado por 20% de lodo seco fue el que más se acercaban a la normativa INEN 297 considerando al ladrillo resultando como hueco de tipo F. Con respecto a los demás tratamientos, se obtuvieron valores que se acercaban a los obtenidos de los ladrillos comunes.
- Finalmente, al establecer los beneficios económicos y ambientales mediante el análisis de costos realizados tomando en cuenta el costo de transporte, y procesos inherentes de la fabricación, da como resultado que al implementar el 20% de lodo seco el costo del ladrillo es de 0.14ctvs la unidad mientras que el costo del ladrillo común es de 0.18ctvs, dando como resultado una diferencia de 4 ctvs., teniendo mejores resultados económicos la fabricación del ladrillo con adición de lodo residual seco en un 20%. De igual manera, el utilizar este tipo de material que prácticamente es un desperdicio de la PTAR tiene beneficios ambientales como la reducción de material que tiene como destino final el relleno sanitario, además de

evitar la contaminación del ambiente por la disminución de emisiones gaseosas que pueden surgir por tener este tipo de destino.

5.2. Recomendaciones

- La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del cantón Ambato “Las Viñitas”, debería incorporar un proceso de secado térmico de lodos residuales con transportadores sin fin incluido volteadoras mecánicas automáticas, con el objetivo de disminuir mucho más el porcentaje de humedad de los fangos y así ser aprovechado como materia prima en la fabricación de materiales de la construcción, a su vez ser aprovechado en otro tipo de procesos ambientales.
- Es recomendable que antes de realizar el trabajo de investigación con lodos residuales se tenga un conocimiento previo de su composición, o se realice una caracterización con antelación para evitar el contacto directo si es considerado como desecho peligroso.
- Aunque el lodo residual se considere como no peligroso siempre tener en cuenta los equipos de protección personal necesarios para su manejo, como guantes y botas de cuero o caucho.

5.3. Bibliografía

- [1] S. Ramírez-Calderon, L. P. Ávila-Caballero, J. González-González, J. L. Rosas-Acevedo, M. Reyes-Umaña, and H. Hernández Cocolletzi, “Caracterización fisicoquímica y microbiológica para el aprovechamiento de lodos de dos plantas de tratamiento de aguas residuales de Acapulco, Guerrero, México,” *Explor. intercambios y Relac. entre el diseño y la Tecnol.*, vol. 6, no. 23, pp. 57–79, Aug. 2021, doi: 10.16/CSS/JQUERY.DATATABLES.MIN.CSS.
- [2] N. Fuentes, S. Isenia, and J. Ascendo, “Biosólidos de tratamiento de aguas residuales domésticas, como adiciones en la elaboración de ladrillos cerámicos,” *Prod. + Limpia*, vol. 12, no. 2, pp. 92–102, Dec. 2017, doi: 10.22507/PML.V12N2A8.
- [3] L. Araujo, S. Molina, and L. Noguera, “Aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales como materia prima en la industria de la construcción: revisión bibliográfica,” *Rev. Agunkuyâa*, vol. 8, no. 1, pp. 21–28, 2018, doi: 10.33132/27114260.1231.
- [4] R. Saldaña-Escorcia and J. Castillo-Gómez, “Alternativas para la estabilización de lodos generados en estaciones depuradoras de aguas residuales desde un enfoque sistémico: Una revisión,” *Revista de investigación agraria y ambiental*, Colombia, 2022. Accessed: Jul. 27, 2022. [Online]. Available: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/130/1302674011/>
- [5] D. Rodriguez, H. Serrano, A. Delgado, D. Nolasco, and G. Satiel, “De residuo a recurso. Cambiando paradigmas para intervenciones más inteligentes para la gestión de aguas residuales en América Latina y el Caribe,” Washington DC, 2020. Accessed: Jul. 27, 2022. [Online]. Available: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/33436/146823SP.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- [6] ACUATECNICA S.A.S, “Tratamiento primario de aguas residuales | Acuatecnica,” May 15, 2018. <https://acuatecnica.com/tratamiento-primario-aguas-residuales/> (accessed Oct. 12, 2023).
- [7] GoAigua, “Las 4 etapas de las plantas de tratamiento de aguas residuales -

- IDRICA,” Aug. 03, 2022. <https://www.idrica.com/es/blog/plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-etapas/> (accessed Oct. 12, 2023).
- [8] H. García, “Propuesta de una planta de tratamiento de las aguas residuales para mejorar la recirculación del agua y los tratamientos en cada una de las etapas del proceso de Curtido en una empresa Curtiembra, en la ciudad de Trujillo,” Universidad Nacional de Piura, 2021. [Online]. Available: <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12676/2880/INGIND-GAR-JUA-2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [9] D. Oliveros and J. Wild, “Evaluación de la eficiencia de remoción de nutrientes presentes en aguas residuales municipales en un sistema de tratamiento terciario,” *Angew. Chemie Int. Ed.* 6(11), 951–952., pp. 5–48, 2019, [Online]. Available: [https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/5311/Evaluación de la eficiencia de remoción de nutrientes presentes en aguas residuales municipales en un sistema de tratamiento terciario.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/5311/Evaluación%20de%20la%20eficiencia%20de%20remoción%20de%20nutrientes%20presentes%20en%20aguas%20residuales%20municipales%20en%20un%20sistema%20de%20tratamiento%20terciario.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [10] Ministerio del Ambiente, “Revisión y actualización de la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua.,” *Regist. Of. No. 387*, no. 97, pp. 1–40, 2015, [Online]. Available: [https://www.cip.org.ec/attachments/article/1579/PROPUESTA ANEXO 1.pdf](https://www.cip.org.ec/attachments/article/1579/PROPUESTA%20ANEXO%201.pdf)
- [11] A. Amador Díaz, E. Veliz Lorenzo, and M. Bataller venta, “Tratamiento de lodos , generalidades y aplicaciones,” *Rev. CENIC Ciencias Químicas*, vol. 46, no. 2, pp. 1–10, 2015.
- [12] R. Donado, “Plan de gestión para lodos generados en las PTARs de los municipios de Cumaral y San Martín de los Llanos en el Departamento del Meta,” Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, 2013. Accessed: Sep. 20, 2022. [Online]. Available: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/13496/DonadoHoyosRoyer2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [13] L. P. Tejada Benítez, Á. Villabona Ortiz, and C. Tejada Tovar, “Aprovechamiento de lodos de aguas residuales,” *Tek. Rev. Científica*, vol. 4, no. 1, pp. 5–10, 2008, Accessed: Sep. 20, 2022. [Online]. Available: [https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6382655&info=resumen&idiom](https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6382655&info=resumen&idiom=es)

a=SPA

- [14] L. Mancipe and M. del P. Triviño, “Valoración de lodos de planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) como materia prima para la extracción de lípidos en la obtención de biodiésel,” *Revista Ion*, Tunja, 2018. Accessed: Sep. 19, 2022. [Online]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/rion/v31n1/0120-100X-rion-31-01-71.pdf>
- [15] J. Castillo, L. Balarezo, M. Vincés, and H. Zambrano, “alternativas en la estabilización de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales,” *Riemat*, vol. 5, no. 1, Jan. 2020, Accessed: Sep. 20, 2022. [Online]. Available: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/article/view/2499/2672>
- [16] M. Tytła, “Assessment of Heavy Metal Pollution and Potential Ecological Risk in Sewage Sludge from Municipal Wastewater Treatment Plant Located in the Most Industrialized Region in Poland-Case Study,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 16, no. 13, Jul. 2019, doi: 10.3390/IJERPH16132430.
- [17] I. González, “Generación, caracterización y tratamiento de lodos de EDAR,” Universidad de Córdoba, Córdoba, 2016. Accessed: Sep. 20, 2022. [Online]. Available: <https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/13199/2016000001232.pdf?sequence=3>
- [18] J. Vasquez and G. Vargas, “Aprovechamiento de lodos planta de tratamiento de aguas residuales Municipio de Funza, como insumo de cultivo y mejoramiento del suelo,” Universidad Católica de Colombia, Bogotá, 2018. Accessed: Sep. 20, 2022. [Online]. Available: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16425/1/Trabajo de Grado - Lodos Funza.pdf>
- [19] S. Selvan, J. Ferin, R. Dinesh, and J. Bertlyn, “Analysis and Classification of Active Sludge in wastewater ,” *J. Physics. Conf. Ser.*, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1916/1/012256.
- [20] A. Forero Hernandez and M. I. Ballesteros González, “ESPECIACION QUÍMICA DE METALES PESADOS EN SUELOS INCUBADOS CON LODOS RESIDUALES PROVENIENTES DE UNA PLANTA DE


- TRATAMIENTO DE AGUAS,” *Rev. Colomb. Química*, vol. 33, no. 2, pp. 127–137, Jul. 2004, Accessed: Sep. 20, 2022. [Online]. Available: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/773>
- [21] Y. Cabrales-Clapé, M. Ulloa-Carcassés, and R. Samuel Almenares-Reyes, “Caracterización física y química de lodos residuales de la cantera El Cacao: propuesta de uso industrial Physical and chemical characterization of residual sludge from El Cacao quarry: proposal for industrial use,” *Scielo*, 2018, Accessed: Sep. 20, 2022. [Online]. Available: <http://scielo.sld.cu/pdf/mg/v34n4/mg03418.pdf>
- [22] T. Robledo, “Estudio de los procesos biológicos y de la estructura de las comunidades microbianas en el proceso de compostaje de lodo de depuradora de aguas residuales urbanas en sistemas de membrana semipermeable,” Universidad de Granada, Granada, 2018. Accessed: Sep. 21, 2022. [Online]. Available: <https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/51695/2909530x.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- [23] M. Mendoza, J. Vigil, J. Tejada, and C. Arriaza, “Evaluación físico – química y microbiológica de cuatro niveles de lodos ordinarios en la elaboración de compost,” *Agrociencia*, vol. 1, no. 5, 2018, Accessed: Sep. 21, 2022. [Online]. Available: <https://www.agronomia.ues.edu.sv/agrociencia/index.php/agrociencia/article/view/98>
- [24] A. Aguero, “Tratamiento de lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas con la aplicación de la lombricultura en la Compañía Minera Chungar -2019,” Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco, 2019. Accessed: Sep. 21, 2022. [Online]. Available: http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/2045/1/T026_71530948_T.pdf
- [25] D. Reyes, M. Mora, J. Lugo, and P. Del Águila, “Estabilización por vermicomposteo de lodos residuales aplicados en la productividad de albahaca,” *Rev. Int. Contam. Ambie*, vol. 36, no. 2, pp. 371–381, 2020, doi: 10.20937/RICA.53537.
- [26] L. González, M. Otelo, J. Junco, and G. Pardini, “Aprovechamiento de lodos de depuradoras urbanas como adsorbente. Efecto del método de activación,” *Tecnol.*

- Química*, vol. XXIX, no. 1, pp. 108–117, 2009, Accessed: Sep. 21, 2022.
[Online]. Available: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543758013>
- [27] J. L. Rojas-Morales, E. C. Gutiérrez-González, and G. de J. Colina-Andrade, “Obtención y caracterización de carbón activado obtenido de lodos de plantas de tratamiento de agua residual de una industria avícola,” *Ing. Investig. y Tecnol.*, vol. 17, no. 4, pp. 453–462, Oct. 2016, doi: 10.1016/J.RIIT.2016.11.005.
- [28] E. Campos, A. Bonmati, M. Teira, and X. Flotats, “Aprovechamiento energético de lodos residuales y purines. Producción de biogás,” *Tecnociencia Chihuahua*, vol. 2, no. 2, pp. 131–144, Nov. 2001, doi: 10.54167/TECNOCIENCIA.V2I2.75.
- [29] F. M. Sánchez López, “Aprovechamiento energético de lodos de EDAR,” *Dialnet*, 2006, Accessed: Sep. 21, 2022. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=45922>
- [30] INEN, “NTE INEN 292 ,” 2015. <https://docplayer.es/67290060-Nte-inen-292-primera-revision.html> (accessed Oct. 12, 2023).
- [31] NTE INEN 0294, “Ladrillos cerámicos determinación de la resistencia a la compresión,” *Norm. Técnica Ecuatoriana*, vol. 0277, p. 9, 1978, [Online]. Available: <https://ia601904.us.archive.org/21/items/ec.nte.0294.1978/ec.nte.0294.1978.pdf>
- [32] INEN, “NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 295,” 2014. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-tecnica-de-ambato/ingenieria-civil/412329853-nte-inen-295-ladrillos/64470482> (accessed Oct. 12, 2023).
- [33] INEN, “INEN 296 Determinación de absorción de humedad,” vol. 0296, 1978, [Online]. Available: <https://ia601502.us.archive.org/4/items/ec.nte.0296.1978/ec.nte.0296.1978.pdf>
- [34] INEN, “Ladrillos cerámicos. Requisitos,” Quito, 1977. Accessed: Sep. 21, 2022. [Online]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/297.pdf>
- [35] M. del Ambiente, “Norma técnica de desechos peligrosos y especiales,” p. 131, 2014, [Online]. Available: [https://www.cip.org.ec/attachments/article/1357/NORMA RESIDUOS PELIGROSOS.pdf](https://www.cip.org.ec/attachments/article/1357/NORMA_RESIDUOS_PELIGROSOS.pdf)
- [36] J. A. García-Villalpando, A. Castillo-Morales, M. E. Ramírez-Guzmán, G.

- Rendón-Sánchez, and M. U. Larqué-Saavedra, “Comparación de los procedimientos de tukey, duncan, dunnett, Hsu y bechhofer para selección de medias,” *Agrocencia*, vol. 35, no. 1, pp. 79–86, 2001.
- [37] C. H. Weng, D. F. Lin, and P. C. Chiang, “Utilization of sludge as brick materials,” *Adv. Environ. Res.*, vol. 7, no. 3, pp. 679–685, May 2003, doi: 10.1016/S1093-0191(02)00037-0.
- [38] L. Araujo, S. Molina, and L. Noguera, “Vista de Aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales como materia prima en la industria de la construcción: revisión bibliográfica,” *Agunkuyaa*, vol. 1, 2018, Accessed: Sep. 20, 2022. [Online]. Available: <https://revia.areandina.edu.co/index.php/Cc/article/view/1231/1103>
- [39] N. Fuentes-Molina, D. N. Cujia-Urrutia, and C. A. Robles-Julio, “Análisis de las relaciones lodo cemento como material de construcción no estructural,” *Inf. tecnológica*, vol. 32, no. 6, pp. 143–150, Dec. 2021, doi: 10.4067/S0718-07642021000600143.
- [40] J. Ortega, “Cómo se genera una investigación científica que luego sea motivo de publicación,” *Journal of the Selva Andina Research Society*, La Paz, 2017. Accessed: Jul. 27, 2022. [Online]. Available: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2072-92942017000200008
- [41] M. Tene, Ignacio; Zambrano, “Evaluación de lodos residuales de la planta de tratamiento de Colta Villa La Unión, para la fabricación de ladrillos artesanales,” Universidad Nacional de Chimborazo, 2023. [Online]. Available: [http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/11356/1/Tene I.%2C Zambrano M.%282023%29 EVALUACIÓN DE LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE COLTA VILLA LA UNIÓN%2C PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS ARTESANALES.pdf](http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/11356/1/Tene%20I.%20Zambrano%20M.%20EVALUACIÓN%20DE%20LODOS%20RESIDUALES%20DE%20LA%20PLANTA%20DE%20TRATAMIENTO%20DE%20COLTA%20VILLA%20LA%20UNIÓN%20PARA%20LA%20FABRICACIÓN%20DE%20LADRILLOS%20ARTESANALES.pdf)
- [42] L. Camargo Gaona and B. Yambay Santamaría, “Elaboración de ladrillos artesanales mediante el aprovechamiento de lodos resultantes del proceso de depuración en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Quitumbe,” Universidad Nacional de Chimborazo, 2020. [Online]. Available:

5.4. Anexos

Anexo 1. Análisis CRETIB del lodo residual de la PTAR Ambato

	DEPARTAMENTO: ANALITICALAB	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL SAE ACREDITACIÓN N° SAE LEN 18-034
---	---------------------------------------	---

INFORME DE RESULTADOS No: LDPT-003-22

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE			
NOMBRE CLIENTE:	Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato	ATENCIÓN A:	Ing. Alex Jarrin
DIRECCIÓN:	Antonio Clavijo S/N e Isaias Sanchez	TELÉFONO:	0999858068
TIPO DE MUESTRA:	Lodo	PUNTO DE TOMA DE MUESTRA:	SILO PTAR Ambato.
CÓDIGO CLIENTE:	L-1	FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA, RESPONSABLE:	N.A.

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO


TOMA DE MUESTRA REALIZADO POR:	LABCESTA S.A.	NÚMERO DE MUESTRAS:	01
FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA:	15/11/2022 12:55	ANÁLISIS SOLICITADO:	Físico – Químico - Microbiológico
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	15/11/2022 17:00	FECHA DE ANÁLISIS:	15/11/2022 - 25/11/2022
FECHA DE EMISIÓN DE INFORME:	25/11/2022	CÓDIGO LABORATORIO:	AL-LDPT-003-22
RESPONSABLE DE LA TOMA DE MUESTRA:	Francisco Rodríguez	COORDENADAS:	17M 768690 / 9862963
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS T máx.: 25,0 °C. T mín.: 15,0 °C			

RESULTADOS ANALÍTICOS

ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	MÉTODO /NORMA	VALOR LÍMITE PERMISIBLE
*Arsénico	mg/L	0,01	±18%	PE-AL-17 EPA 200.7 ICP-AES Rev. 4.4 1994	5,0
*Bario	mg/L	<0,5	±11%	PE-AL-17 EPA 200.7 ICP-AES Rev. 4.4 1994	100,0
*Cadmio	mg/L	0,007	±10%	PE-AL-17 EPA 200.7 ICP-AES Rev. 4.4 1994	1,0
*Níquel	mg/L	<0,05	±9%	PE-AL-17 EPA 200.7 ICP-AES Rev. 4.4 1994	5,0
*Plata	mg/L	<0,01	±27%	PE-AL-17 EPA 200.7 ICP-AES Rev. 4.4 1994	5,0
*Plomo	mg/L	<0,01	±14%	PE-AL-17 EPA 200.7 ICP-AES Rev. 4.4 1994	5,0
*Selenio	mg/L	<0,05	±12%	PE-AL-17 EPA 200.7 ICP-AES Rev. 4.4 1994	1,0
*Mercurio	mg/L	<0,001	±21%	PE-AL-10 EPA 3015 A, Rev. 1 2007 EPA 245.1, Rev.3, 1994 EPA 7470A, Rev.1, 1994	0,2

Parque Industrial California II, Local C36, Guayaquil

Página 1 de 2
Revisión 3
MC01-20

 LABCESTTA TECNOLOGÍA Y CALIDAD	DEPARTAMENTO: ANALITICALAB	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL SAE ACREDITACIÓN N° SAE LEN 18-034
---	---------------------------------------	---

**Cromo hexavalente	mg/L	<0,02	-	EPA 1311 / EPA 7197	5,0
**Fenoles	mg/L	0,15	-	Espectrofotométrico	-
^{b*}Reacción con agua	-	NO REACCIONA	-	NOM-052-SEMARNAT/93	NO REACCIONA
^{b*}Reacción con ácidos	-	NO REACCIONA	-	NOM-052-SEMARNAT/93	NO REACCIONA
^{b*}Reacción con álcali	-	NO REACCIONA	-	NOM-052-SEMARNAT/93	NO REACCIONA
^{b*}Generación de HCN	mg/kg	<0,01	-	EPA 9014	250 HCN
^{b*}Generación de H₂S	mg/kg	<0,02	-	EPA 9014	500 H ₂ S
^{b*}Velocidad de corrosión	mm/año	0,15	-	EPA 1110 A	6,35
^{b*}Salmonella	NMP/g	<10	-	Fermentación en tubos múltiples	-
^{b*}Coliformes fecales	NMP/g	920	-	Fermentación en tubos múltiples	Media geométrica de 7 muestras o igual a 2x10 ⁶ NMP o UFC/g ST
^{b*}Huevos de parásitos	Helmintos /g	<10	-	Observación microscópica	-
^{b*}Reacción o descomposición Detonante o Explosiva	-	NO REACCIONA, NO SE DESCOMPONE	-	NOM-052-SEMARNAT/93	NO REACCIONA, NO SE DESCOMPONE
^{b*}Capaz de provocar fuego si no es líquido	-	NO ES CAPAZ	-	NOM-052-SEMARNAT/93	NO ES CAPAZ
^{b*}Humedad	%	76,85	-	Gravimetría	-

OBSERVACIONES:

- Muestra transportada en refrigeración.
- Los ensayos marcados con (*) están fuera del alcance de acreditación del SAE.
- Los ensayos marcados con (a) son realizados en extracto PECT; los ensayos marcados con (b) son realizados en peso húmedo.
- La columna: Valor limite permisible, está fuera del alcance de acreditación del SAE. Contempla los limites máximos permisibles indicados en Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos, solicitados por el cliente.

AUTORIZACIÓN Y RESPONSABLE DEL INFORME:



Unidad acreditada por:
VERÓNICA MERCEDES
BRAVO BASANTES

Ing. Verónica Bravo
DIRECTORA TÉCNICA


LABCESTTA
 TECNOLOGÍA Y CALIDAD
 RUC:0691736210001

NOTAS:

- Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
- Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados.
- Las condiciones ambientales no afectan a los resultados de los ensayos analizados.
- LABCESTTA S.A. no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el cliente puede afectar la validez de los resultados.
- Cuando se emitan criterios de conformidad y aplique, se tendrá en cuenta el: Instructivo de Regla de decisión para una declaratoria de conformidad IE-AL-26.

Anexo 2. Certificado de calibración de la prensa para ensayos



LABORATORIO NACIONAL DE METROLOGÍA - LNM

Certificado de Calibración

Laboratorio de Fuerza

Número de Certificado: LNM-F-2023-23
Fecha de Calibración: 2023-03-30
Número de solicitud: 14.2023.0260.M

Equipo/Instrumento de Medida: PRENSA PARA ENSAYOS
Dispositivo de lectura: DIGITAL
Marca: SHIMADZU CORPORATION
Modelo o Tipo: CONCRETO 2000X
Serie: I23205510036

Intervalo de Calibración: DESDE 200 kN HASTA 2 000 kN COMPRESION
Código de Identificación: 29753015

Propietario: U. T. DE AMBATO - LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
Dirección: AV DE LOS CHASQUIS S/N Y RIO PAYAMINO. AMBATO-TUNGURAHUA

Observaciones: *****

El Servicio Ecuatoriano de Normalización, realizó en el laboratorio de la empresa, la calibración del instrumento arriba descrito, utilizando Patrones de Referencia trazables a la unidad de Fuerza del Sistema Internacional de Unidades (SI) al Patrón Nacional, pertenecientes al Laboratorio Nacional de Metrología.

La calibración fue realizada bajo un Sistema de Gestión de la Calidad conforme con la norma internacional ISO/IEC 17025:2017.

El Laboratorio Nacional de Metrología LNM-INEN guarda la total confidencialidad de la información proporcionada por el cliente en todo el proceso de calibración y medición.

Los resultados, incertidumbres y condiciones en que se realizó la calibración del equipo/instrumento de medida arriba descrito, se exponen en las páginas siguientes y son parte del presente documento que certifica los valores presentados.

El LNM no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado del instrumento calibrado.

El tiempo de validez de los resultados contenidos en este Certificado, depende tanto de las características del equipo/instrumento de medida como de las prácticas de manejo y uso.

El usuario está obligado a tener el equipo/instrumento de medida recalibrado en los intervalos analizados para su control apropiado, así como establecer la nueva fecha de calibración.

Este documento no significa certificación de calidad, no constituye un certificado de aptitud para el uso del equipo/instrumento y no debe ser utilizado con fines publicitarios.

Prohibida su reproducción parcial, la reproducción total como copias certificadas deberá realizarse con la autorización escrita de la Dirección Ejecutiva del INEN.

El presente certificado es electrónico y puede ser validado mediante el aplicativo [firmaEC](#).

La impresión física de este documento no tiene validez.

Fecha de emisión: 2023-04-05

WILSON
GULLERMO
ANGULO CRUZ

Calibrado por: Sr. Wilson Angulo Cruz
Técnico de Laboratorio



SEBASTIÁN VICENTE LAGUNA
Responsable División

Aprobado por: Ing. Sebastián Vicente Laguna
Responsable de División
Presión y Fuerza

Propietario: U. T. DE AMBATO - LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

Número de Certificado: LNM-F-2023-23

Equipo/Instrumento de Medida: PRENSA PARA ENSAYOS

Fecha de Calibración: 2023-03-30

INCERTIDUMBRE DE MEDIDA: La incertidumbre de medida obtenida equivale al doble de la incertidumbre combinada, es decir cubre un intervalo de confianza de aproximadamente el 95 % asumiendo una distribución normal, y se la estimó de acuerdo a la Guía para la Expresión de la Incertidumbre en las Mediciones (GUM) publicada por la ISO.

PROCEDIMIENTO UTILIZADO: Procedimiento LNM PC F 01 "Procedimiento de calibración de máquinas de ensayos uniaxiales", basado en la Norma Internacional ISO 7500-1

INTERVALO DE CALIBRACIÓN: DESDE 200 kN HASTA 2 000 kN COMPRESION
Rango: 2 000 kN **División de Escala:** 0,2 kN

CONDICIONES AMBIENTALES:

T_o (°C)	T_f (°C)
18,00	18,20

PATRONES Y EQUIPOS UTILIZADOS:

Celda de Carga

Marca: HBM **Serie:** 0028XOB **Certificado:** 33518 DKD-K-00101

Amplificador MGCplus; ML38B

Marca: HBM **Serie:** 801128372 **Certificado:** 24944 DKD-K-00101

TABLA DE CALIBRACIÓN EN UNIDADES DEL INSTRUMENTO

Fuerza Indicada kN	Fuerza Verdadera Aplicada					Error kN	U k=2 kN	U k=2 %
	1ª serie kN	2ª serie kN	3ª serie kN	4ª serie kN	Promedio kN			
0,0	0,0	0,0	0,0	*****	0,0	0,0	*****	*****
200,0	199,7	199,7	199,7	*****	199,7	0,3	0,2	0,09
400,0	399,2	399,2	399,4	*****	399,3	0,7	0,3	0,07
600,0	598,8	598,8	599,3	*****	599,0	1,0	0,5	0,08
800,0	798,5	798,5	798,8	*****	798,6	1,4	0,5	0,07
1 000,0	998,3	998,2	998,5	*****	998,3	1,7	0,7	0,07
1 200,0	1 198,1	1 198,2	1 198,4	*****	1 198,2	1,8	0,8	0,07
1 400,0	1 397,8	1 398,0	1 398,1	*****	1 398,0	2,0	0,9	0,06
1 600,0	1 598,0	1 597,9	1 598,0	*****	1 597,9	2,1	1,0	0,06
1 800,0	1 797,5	1 797,9	1 798,0	*****	1 797,8	2,2	1,2	0,06
1 895,0	1 892,8	1 893,0	1 893,0	*****	1 892,9	2,1	1,2	0,06

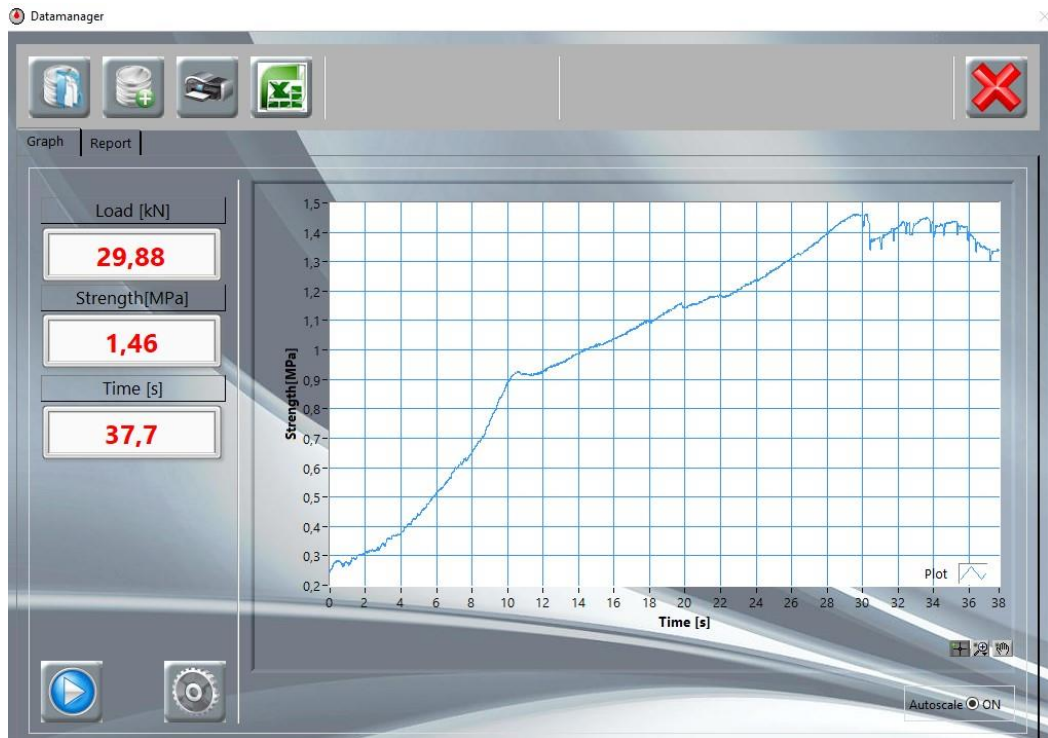
TABLA DE PARÁMETROS RELATIVOS SEGÚN LA NORMA ISO 7500-1

Fuerza Indicada kN	Exactitud q (%)	Repetibili. b (%)	Reversibili. v (%)	Cero f0 (%)	Resolución relativa a (%)	Clase de exactitud
200,0	0,14	0,02	*****	0,00	0,10	0,5
400,0	0,18	0,05	*****	0,00	0,05	0,5
600,0	0,17	0,08	*****	0,00	0,03	0,5
800,0	0,17	0,03	*****	0,00	0,03	0,5
1 000,0	0,17	0,03	*****	0,00	0,02	0,5
1 200,0	0,15	0,03	*****	0,00	0,02	0,5
1 400,0	0,14	0,02	*****	0,00	0,01	0,5
1 600,0	0,13	0,01	*****	0,00	0,01	0,5
1 800,0	0,12	0,03	*****	0,00	0,01	0,5
1 895,0	0,11	0,01	*****	0,00	0,01	0,5

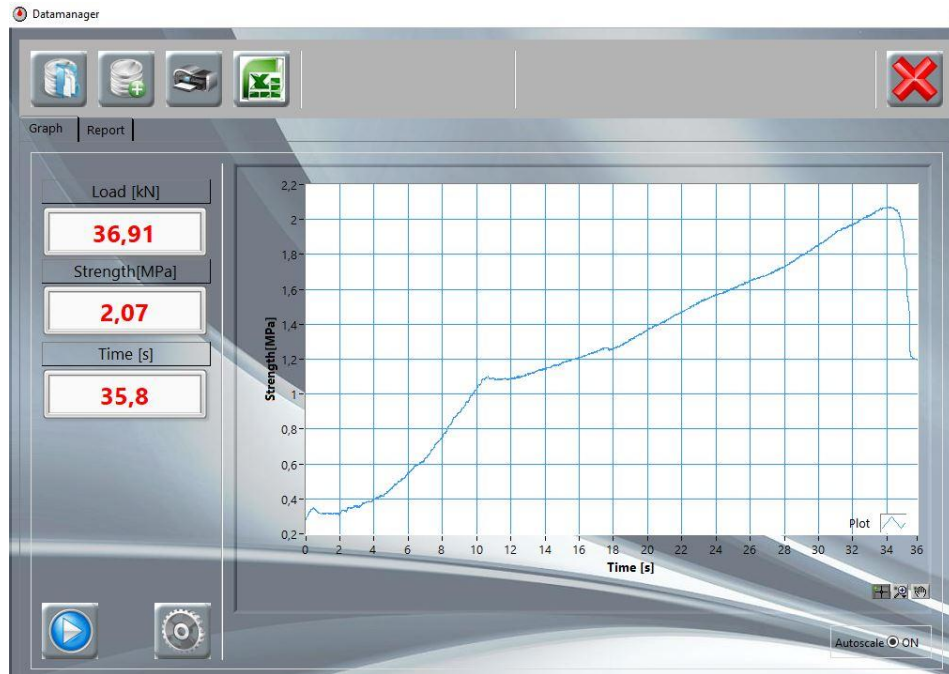
Anexo 3: Resultados resistencia a la compresión

- LADRILLO 10% SECO

MUESTRA 1



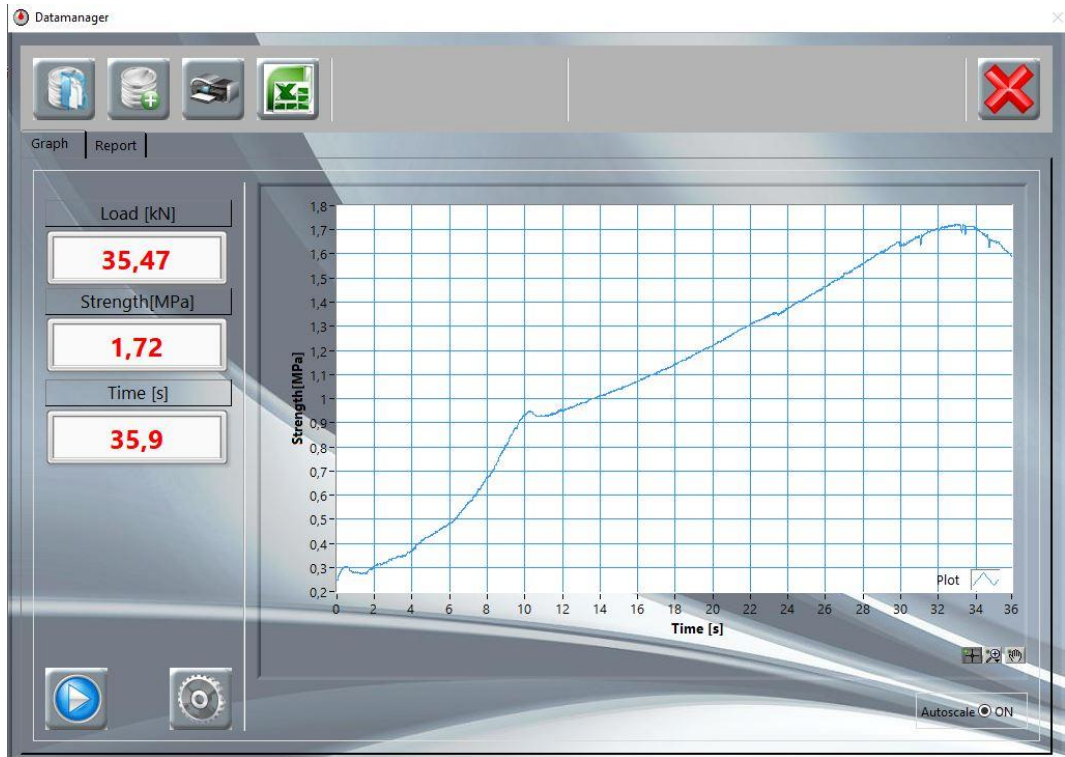
MUESTRA 2



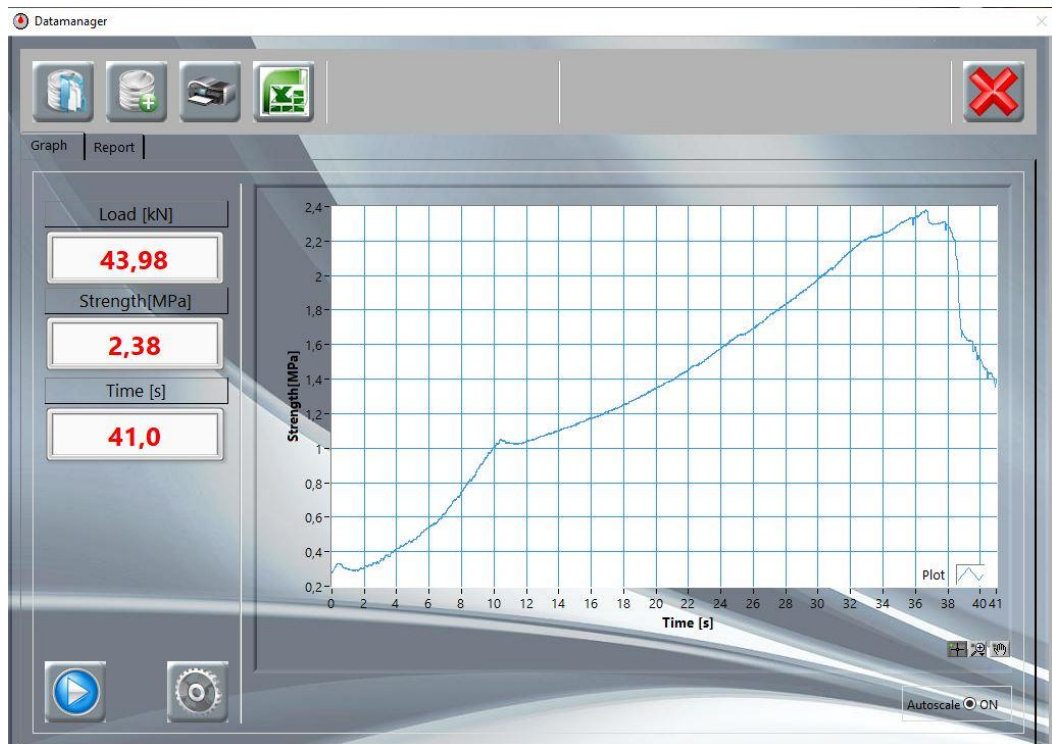
MUESTRA 3



MUESTRA 4

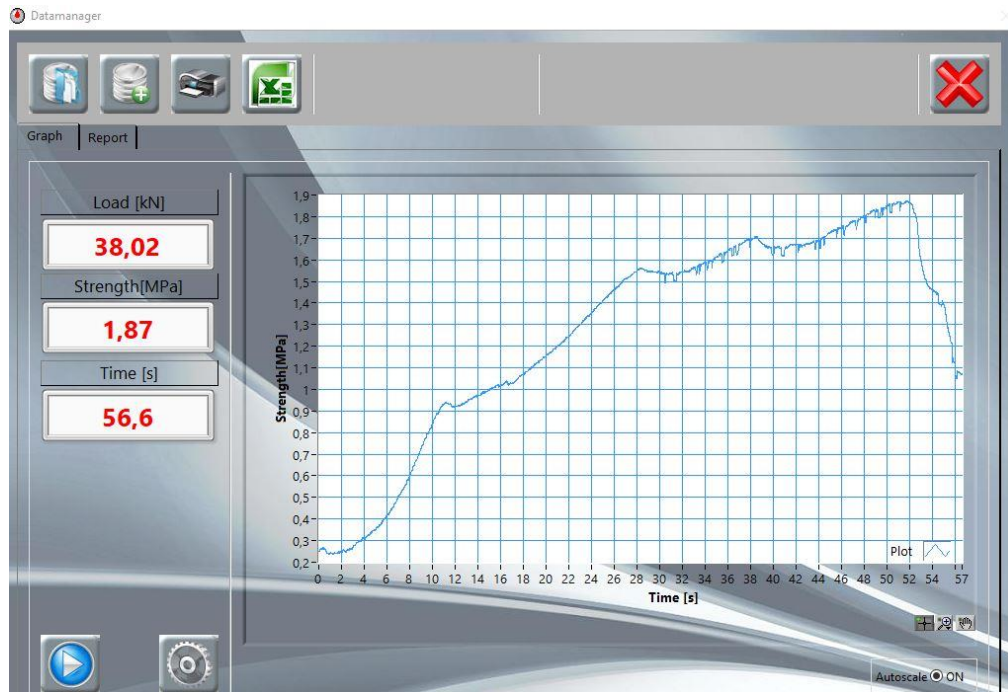


MUESTRA 5



- LADRILLO 10% HÚMEDO

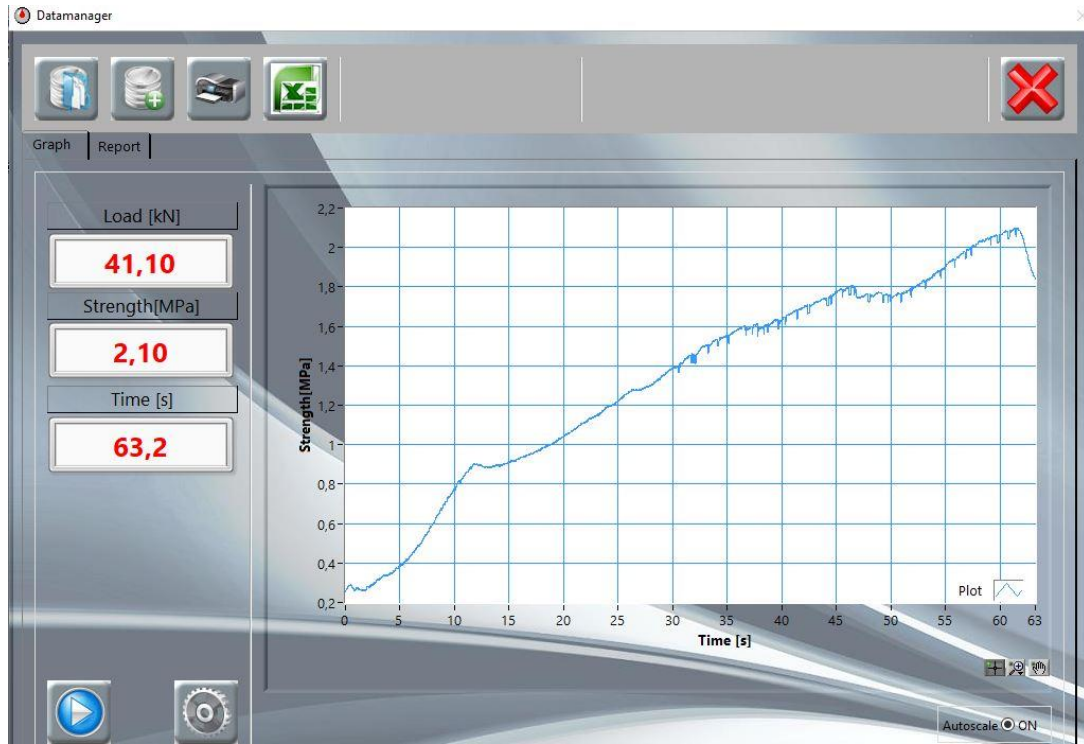
MUESTRA 1



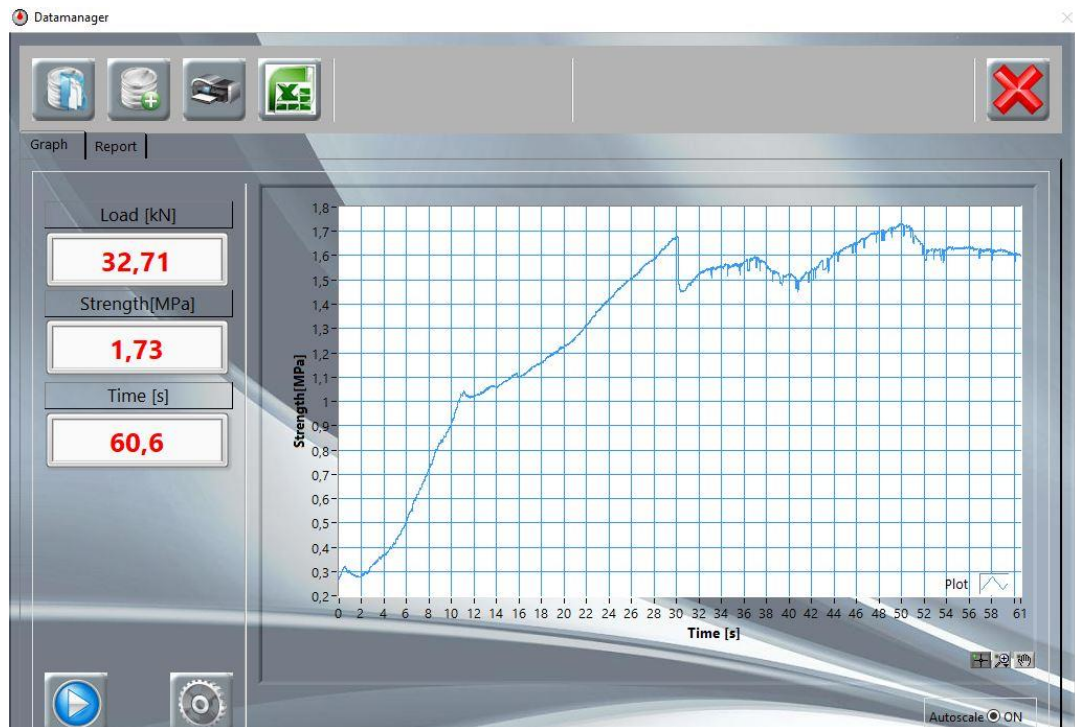
MUESTRA 2



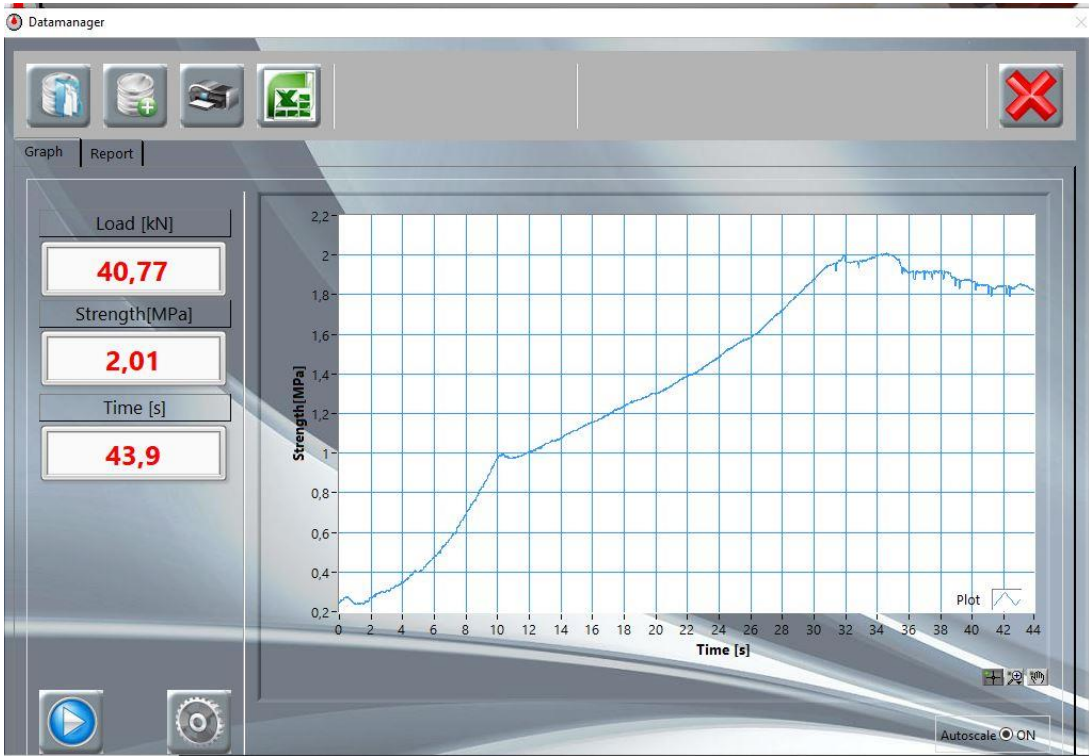
MUESTRA 3



MUESTRA 4



MUESTRA 5



- LADRILLO 20% HÚMEDO

MUESTRA 1



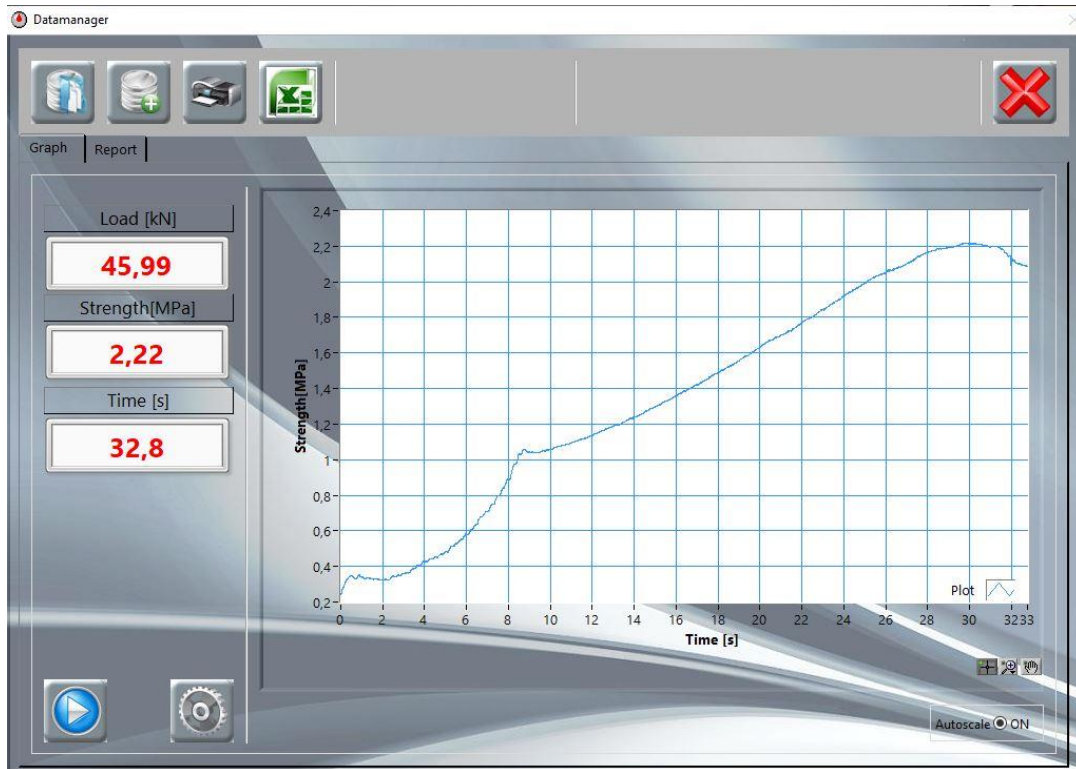
MUESTRA 2



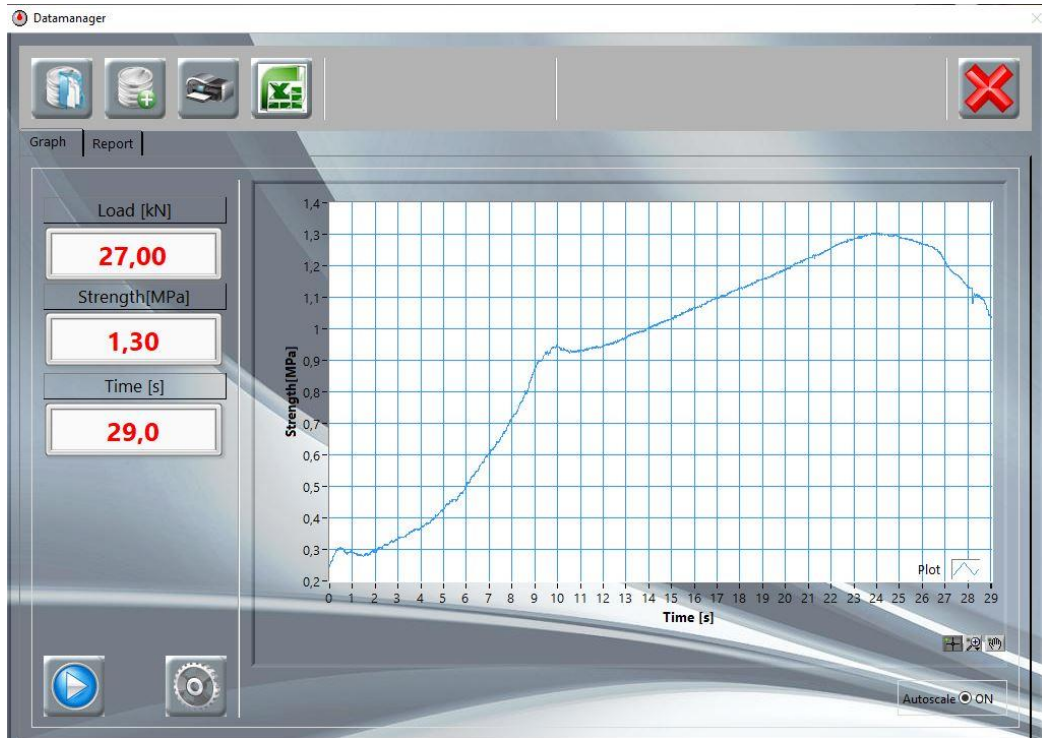
MUESTRA 3



MUESTRA 4



MUESTRA 5



- **LADRILLO 20% SECO**

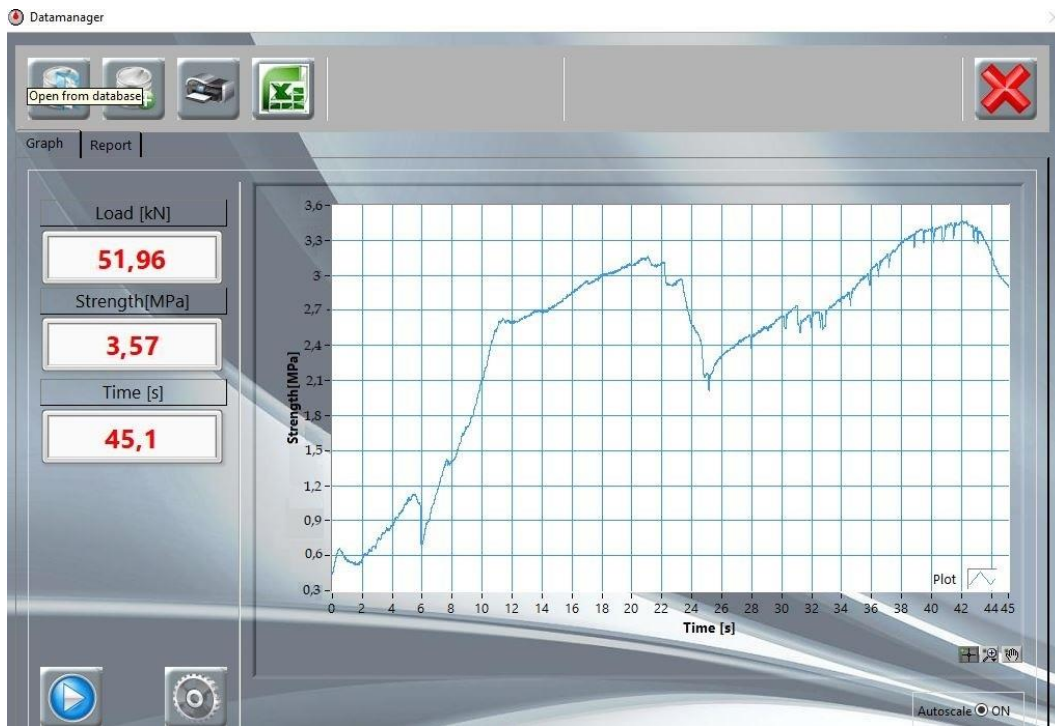
MUESTRA 1



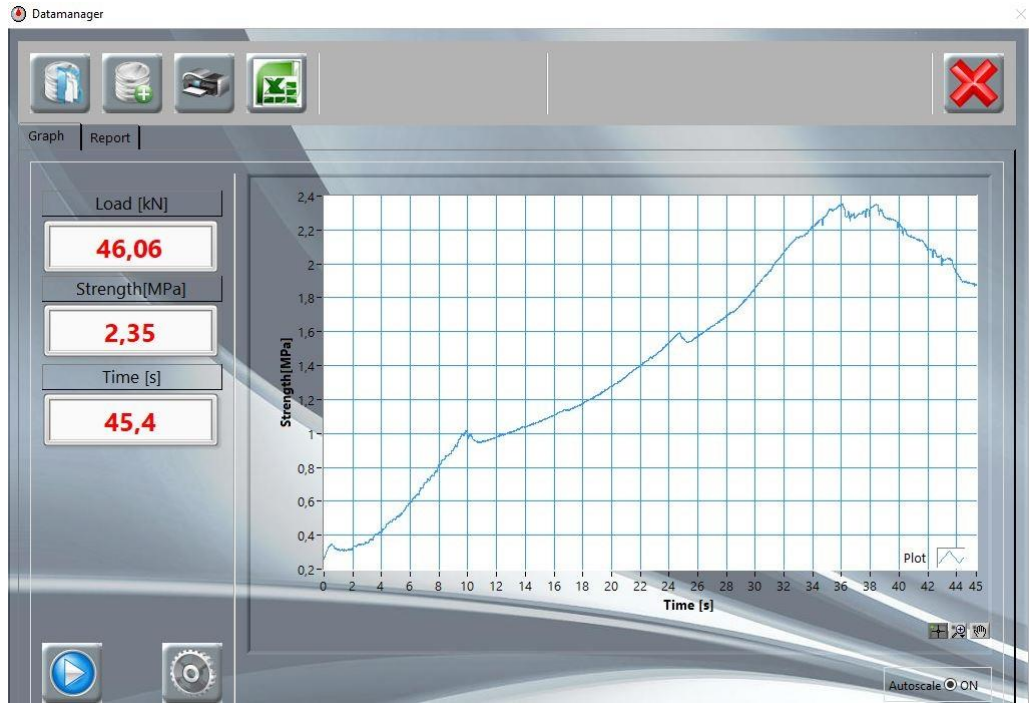
MUESTRA 2



MUESTRA 3



MUESTRA 4

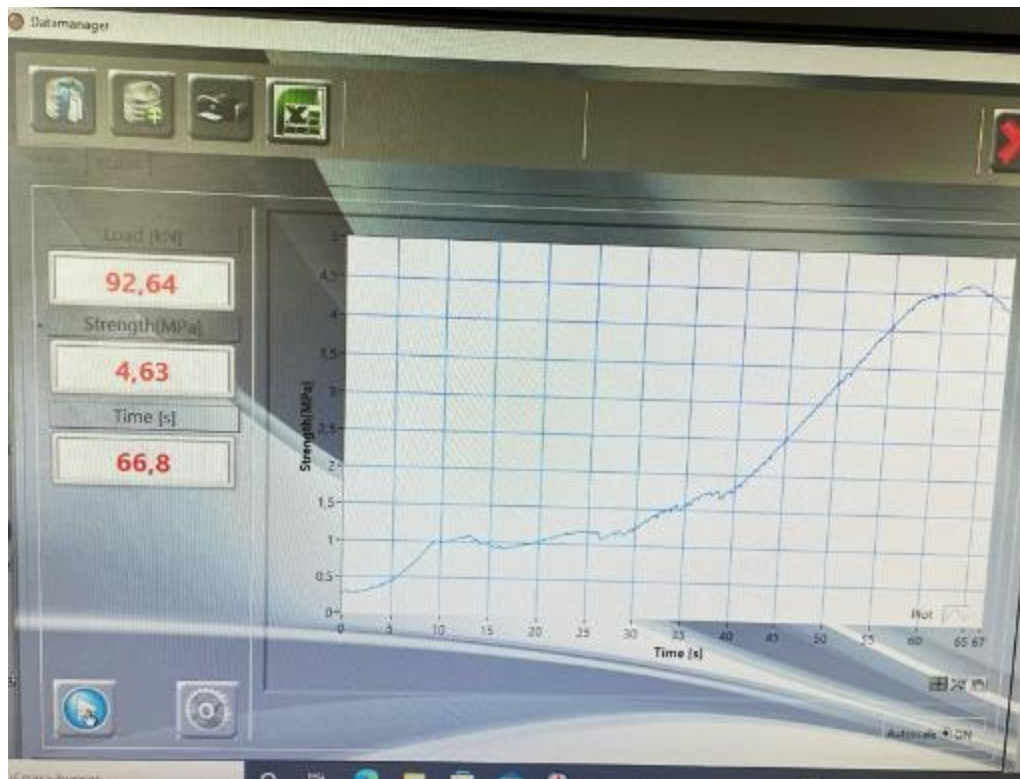


MUESTRA 5

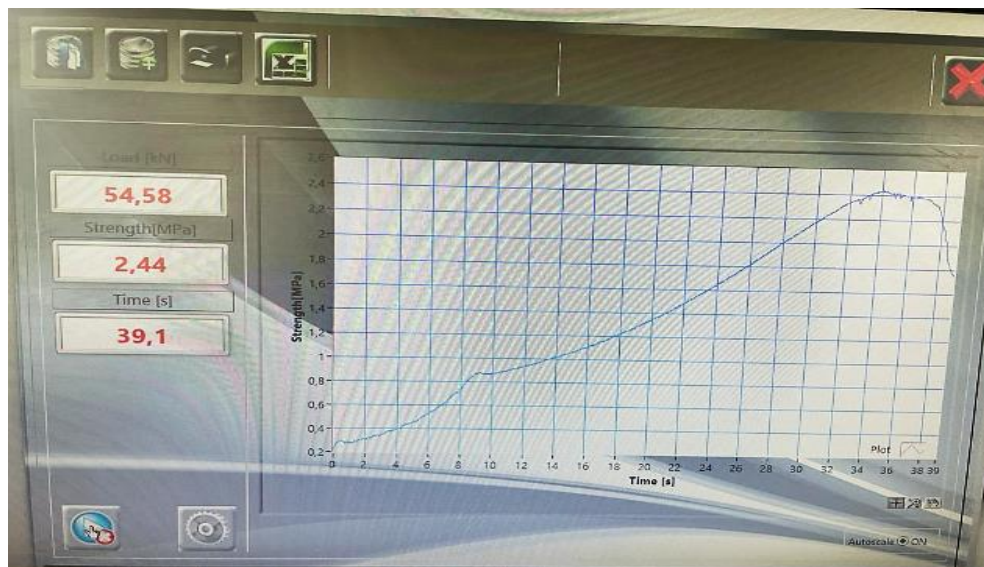


- LADRILLO COMÚN O PATRÓN

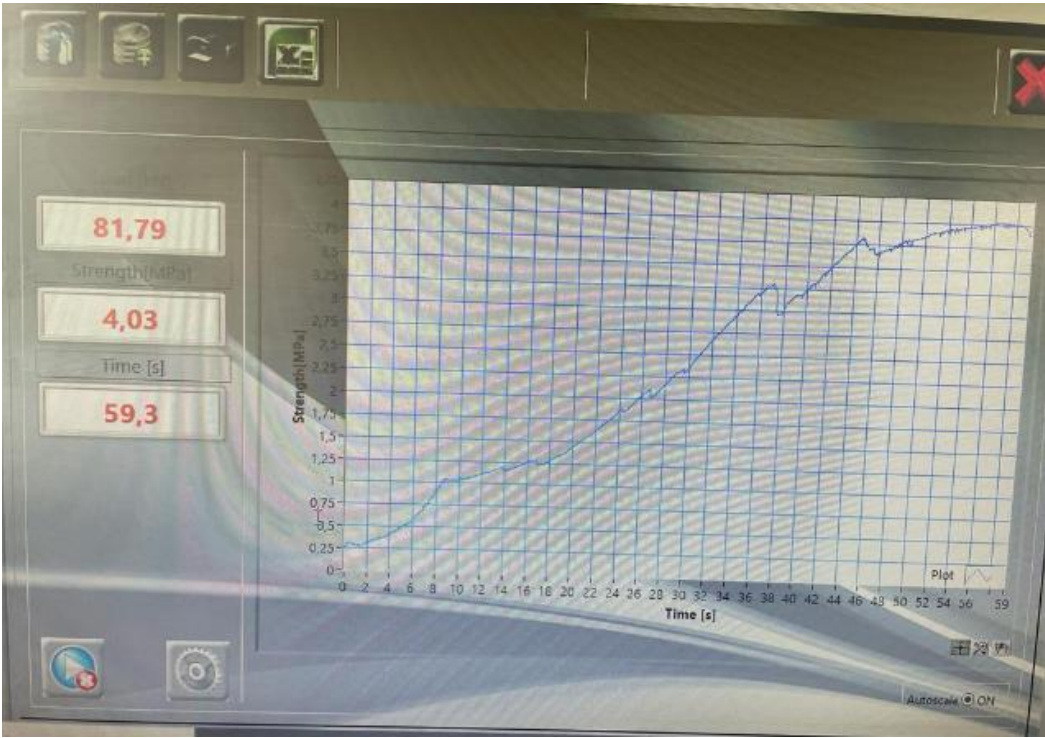
MUESTRA 1



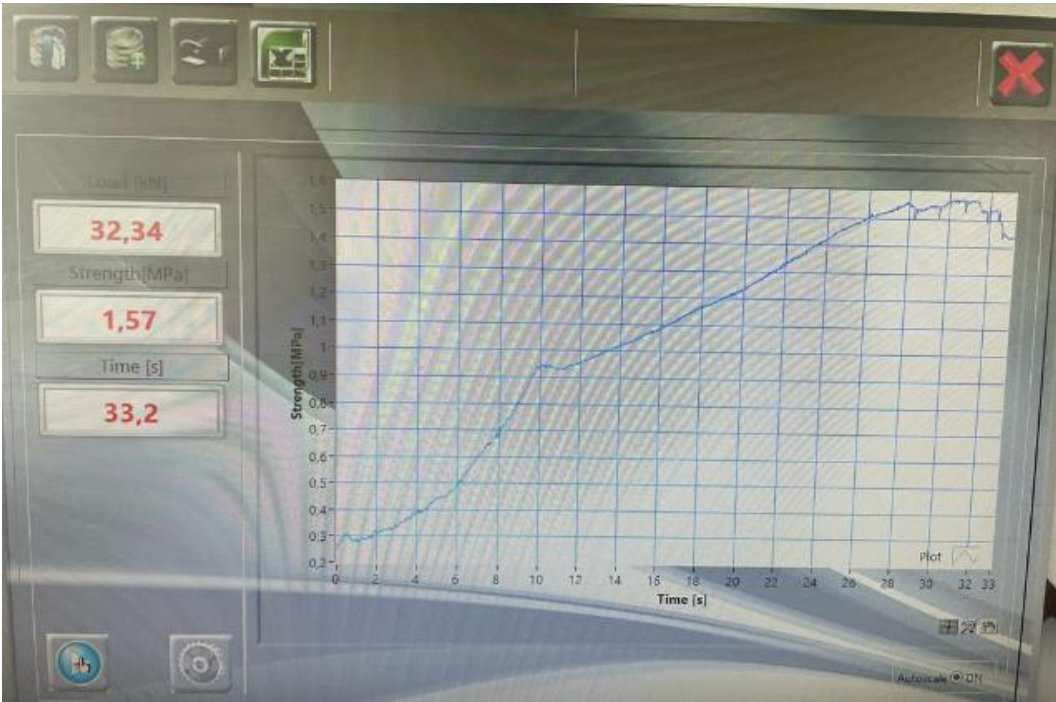
MUESTRA 2



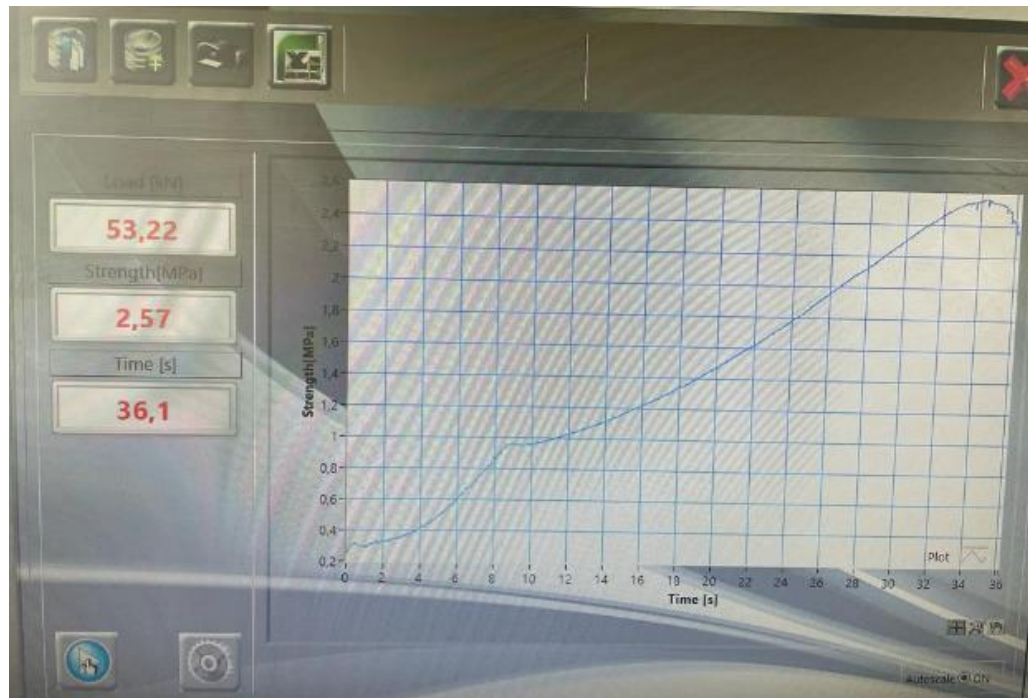
MUESTRA 3



MUESTRA 4



MUESTRA 5



Anexo 4. Resultados resistencia a la flexión

RESISTENCIA A LA FLEXION LADRILLOS CON LODOS RESIDUALES

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	ensayo 1.xtux	Nombre de metodo de ensayo	FLEXION 3 PUNTOS LADRILLOS.xtmux
Fecha de informe	20-Jul-23	Fecha de ensayo	12-Jul-23
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Flexión 3 ptos.
Velocidad	1.3mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	30

Nombre Parametros Unidad	Max_Fuerza Calc. at Entire Areas N	Max_Tension Calc. at Entire Areas N/mm2	Max. Desplazamiento Calc. at Entire Areas mm	Max_Deformacion Calc. at Entire Areas %
1 COMUN	7450.10	1117516	1.60850	0.096512
COMUN	4448.89	687334	2.77825	0.166583
COMUN	8307.77	1246166	1.57463	0.094484
COMUN	4609.43	691414	0.85375	0.051235
COMUN	8364.68	1254702	1.37638	0.08258
1 LAD 20 SECO	9083.11	1362467	1.40600	0.08436
2 LAD 20 SECO	9939.83	1490975	1.24363	0.07462
3 LAD 20 SECO	12452.1	1867819	1.59688	0.09581
4 LAD 20 SECO	14702.2	2205324	1.85600	0.11136
5 LAD 20 SECO	12682.3	1902342	1.78988	0.10739
1 LAD 10 HUMEDO	5583.76	837564	1.24463	0.07468
2 LAD 10 HUMEDO	4206.98	631046	1.01938	0.06116
3 LAD 10 HUMEDO	9520.21	1428032	1.98638	0.11918
4 LAD 10 HUMEDO	9542.15	1431322	1.68750	0.10125
5 LAD 10 HUMEDO	3958.70	593805	0.60563	0.03634
1 LAD 20 HUMEDO	7631.30	1144695	1.02625	0.06158
2 LAD 20 HUMEDO	7429.12	1114368	1.14913	0.06895
3 LAD 20 HUMEDO	8156.14	1223421	1.24813	0.07489
4 LAD 20 HUMEDO	8336.07	1250410	1.17425	0.07046
5 LAD 20 HUMEDO	5297.98	794697	0.48413	0.02905
1 LAD 10 SECO	6543.16	981474	1.70150	0.10209
2 LAD 10 SECO	10666.2	1599932	0.76888	0.04613
3 LAD 10 SECO	8028.67	1204300	2.75425	0.16526
4 LAD 10 SECO	3397.31	509596	0.39725	0.02384
5 LAD 10 SECO	2822.88	423431	0.03188	0.00191
6 LAD 10 SECO	7324.54	1098681	0.56725	0.03404
Media	7710.98	1156647	1.30494	0.07830
Desviacion Estandar	2972.46	445868	0.65395	0.03924
Rango	11879.3	1781893	2.74437	0.16467