

**PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS PROVENIENTES DE  
PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS STARTWATER COMO MATERIA PRIMA EN  
LA FABRICACIÓN DE LADRILLO**

**MARCELA MUÑOZ CASTAÑO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ, D. C.  
2016**

**PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS PROVENIENTES DE  
PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS STARTWATER COMO MATERIA PRIMA EN  
LA FABRICACIÓN DE LADRILLO**

**MARCELA MUÑOZ CASTAÑO**

**Proyecto integral de grado para optar el título de:  
INGENIERO QUÍMICO**

**Director  
CARLOS E. MUÑOZ GARCÍA  
Ingeniero Químico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ, D. C.  
2016**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

Bogotá, Noviembre del 2016

## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro:

**Dr. JAIME POSADA DIAZ.**

Vice-rector de Desarrollo y Recursos Humanos:

**Dr. LUIS JAIME POSADA GARCA-PEÑA.**

Vice-rectora Académica y de Posgrados:

**Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS.**

Secretario General:

**Dr. JUAN CARLOS POSADA GARCIA-PEÑA.**

Decano Facultad de Ingeniería:

**Dr. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI.**

Director Programa Ingeniería Química:

**I.Q. LEONARDO DE JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ.**

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente al autor.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis papas y hermanos que han sido el apoyo incondicional para el desarrollo de este proyecto, su ayuda, su motivación y sus consejos han hecho que este logro sea de todos.

A INDUSTRIAS ELECTROQUIMICAS S.A.S. y su personal por su activa colaboración y asistencia, por todos los servicios e instalaciones prestados por la empresa durante este proceso para culminarlo.

Al director del proyecto CARLOS E. MUÑOZ, por sus sugerencias, importantes conocimientos, ayuda y toda la valiosa experiencia compartida durante la investigación.

A los asesores de proyecto de grado Diana Patricia Rey y Oscar Lombana por su orientación y recomendaciones para el desarrollo del proyecto.

A la universidad, profesores, amigos y demás personas que brindaron ayuda, apoyo y estuvieron involucradas durante este desarrollo.

## CONTENIDO

	<b>pág.</b>
INTRODUCCIÓN	19
OBJETIVOS	20
1. GENERALIDADES	21
1.1 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL	21
1.2 PROCESOS DE DISPOSICIÓN DE LODOS	22
1.2.1 Incineración	23
1.2.2 Celdas de seguridad	23
1.3 APROVECHAMIENTO DE LODOS	24
1.3.1 Funcionalidad de los óxidos de hierro	24
1.4 FABRICACIÓN DE LADRILLOS	25
2. DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LOS LODOS	27
2.1 FUENTE DE LOS LODOS	27
2.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS LODOS	28
2.2.1 Método de muestreo	29
2.2.2 Alistamiento de muestra	31
2.3 RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN	31
2.4 AFORO DE LODOS	33
3. EXPERIMENTACIÓN	34
3.1 DEFINICIÓN DE MEZCLAS	34
3.2 DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA DOSIFICADORA DE LODOS	34
3.2.1 Descripción de equipos	35
3.3 FABRICACIÓN DE LADRILLO	38
3.4 RESULTADOS DE LAS MEZCLAS	42
3.4.1 Comportamiento de la mezcla M1	43
3.4.2 Comportamiento de la mezcla M2	44
3.4.3 Comportamiento de la mezcla M3	45
4. VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA PARA APROVECHAMIENTO DE LODOS COMO MATERIA PRIMA	46
4.1 MUESTRA DE LADRILLO MACIZO COMÚN	46
4.2 MUESTRA DEL ECOBRICK	46

4.3	PROPIEDADES DE LADRILLOS SEGÚN NORMATIVIDAD Y USO	46
4.4	COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL LADRILLO VIRGEN Y EL “ECOBRIK” SEGÚN RESULTADOS DE LABORATORIO	48
4.4.1	Resistencia	48
4.4.2	Absorción	49
4.5	ANÁLISIS DE RESULTADOS	50
5.	DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS PARA LA PROPUESTA DESARROLLADA	53
5.1	TANQUE SEDIMENTADOR	53
5.1.1	Área del sedimentador	54
5.1.2	Volumen del sedimentador	55
5.1.3	Tiempo de retención	55
5.1.4	Bomba de lodos	56
5.2	FILTRO PRENSA	57
5.2.1	Producción de lodos semanal	59
5.2.2	Tiempo de operación	59
5.2.3	Almacenamiento de lodos	60
5.3	BALANCE DE MASA	60
5.3.1	Sedimentador	61
5.3.2	Filtro prensa	61
5.3.3	Mezclador	62
6.	COSTO DE LA PROPUESTA	64
6.1	SELECCION DE EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS	64
6.1.1	FILTRO PRENSA	64
6.2	COSTOS DE LA INVERSON	66
6.2.1	Costos de equipos y materiales	66
6.2.2	Costos de mano de obra para la construcción.	66
6.3	COSTO ANUAL DEL PROCESO	67
6.4	COSTOS DE LA DISPOSICIÓN	68
6.4.1	Disposición actual	68
6.4.2	Costo nueva forma de disposición.	68
7.	CONCLUSIONES	70
8.	RECOMENDACIONES	71
	BIBLIOGRAFÍA	71
	ANEXOS	74

## LISTA DE TABLAS

	<b>pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Parámetros entrada de aguas a proceso de electrocoagulación.	29
<b>Tabla 2.</b> Resultados de los parámetros de caracterización.	32
<b>Tabla 3.</b> Resultados de composición de los lodos.	32
<b>Tabla 4.</b> Determinación de porcentaje de lodos por volumen de agua.	33
<b>Tabla 5.</b> Mezclas con diferentes concentraciones de lodo húmedo por unidad de	34
<b>Tabla 6.</b> Características del motor.	35
<b>Tabla 7.</b> Características técnicas del variador.	36
<b>Tabla 8.</b> Definición de mezclas y cantidad de ladrillos.	38
<b>Tabla 9.</b> Resultados resistencia a la compresión.	48
<b>Tabla 10.</b> Resultados de absorción.	49
<b>Tabla 11.</b> Matriz de decisión	65
<b>Tabla 12.</b> Costos de equipos.	66
<b>Tabla 13.</b> Costos de mano de obra.	67
<b>Tabla 14.</b> Costos de energía anual.	67
<b>Tabla 15.</b> Costo anual de disposición en celda de seguridad.	68
<b>Tabla 16.</b> Costo de reutilización como materia prima.	68
<b>Tabla 17.</b> Comparación costos de disposición como materia prima y celda de seguridad.	68
<b>Tabla 18.</b> Recuperación de la inversión.	69

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Ubicación de la ladrillera Sierra.	25
<b>Figura 2.</b> Diagrama de proceso para la fabricación de ladrillo en la ladrillera. <u>Sierra.</u>	26
<b>Figura 3.</b> Espectroquant® NOVA 60.	29
<b>Figura 4.</b> Termo reactor TR-420	30
<b>Figura 5.</b> Reactores de electrocoagulación, puntos de muestra.	30
<b>Figura 6.</b> Lodo filtrado.	31
<b>Figura 7.</b> Lodo empacado para llevar a laboratorio.	31
<b>Figura 8.</b> Sedimentación de lodo.	33
<b>Figura 9.</b> Máquina dosificadora de lodo.	35
<b>Figura 10.</b> Motor.	35
<b>Figura 11.</b> Variador Siemens.	36
<b>Figura 12.</b> Tornillo sin fin.	37
<b>Figura 13.</b> Tolva.	37
<b>Figura 14.</b> Diagrama de bloques proceso de fabricación incluyendo lodo.	38
<b>Figura 15.</b> Muestra de dosificación de lodos a la arcilla.	39
<b>Figura 16.</b> Mezclador de arcilla.	39
<b>Figura 17.</b> Mezcla lista para moldeado.	40
<b>Figura 18.</b> Ladrillo moldeado	40
<b>Figura 19.</b> Corte del ladrillo.	41
<b>Figura 20.</b> Ubicación de ladrillos en el horno.	41
<b>Figura 21.</b> Comparacion de ladrillos	42
<b>Figura 22.</b> Resultados de las tres mezclas de lodo y arcilla.	42
<b>Figura 23.</b> Comparación de ladrillos resultados de las mezclas y común.	43
<b>Figura 24.</b> Ladrillo común en comparación con	43
<b>Figura 25.</b> Ladrillo común en comparación con el	44
<b>Figura 26.</b> Ladrillo común en comparación con el	45
<b>Figura 27.</b> Esquema del proceso de adecuación del lodo.	53
<b>Figura 28.</b> Componentes del sedimentador.	56
<b>Figura 29.</b> Filtro prensa.	60
<b>Figura 30.</b> Balance de masa en el sedimentador.	61
<b>Figura 31.</b> Balance de masa en filtro prensa.	62
<b>Figura 32.</b> Balance de masa en el mezclador.	63

## LISTA DE CUADROS

	<b>pág.</b>
<b>Cuadro 1.</b> Parámetros de caracterización de los lodos.	28
<b>Cuadro 2.</b> Parámetros de composición de los lodos.	28
<b>Cuadro 3.</b> Propiedades físicas de las unidades de mampostería estructural.	47
<b>Cuadro 4.</b> Propiedades físicas de las unidades de mampostería no estructural.	47
<b>Cuadro 5.</b> Requisitos de acuerdo a la norma NTC 3829 para resistencia.	47
<b>Cuadro 6.</b> Requisitos de acuerdo a la norma NTC 3829 para absorción en frío.	48
<b>Cuadro 7.</b> Cargas superficiales para sedimentación química.	54
<b>Cuadro 8.</b> Rendimientos típicos de filtros prensa.	58
<b>Cuadro 9.</b> Comparación de filtros prensa.	64
<b>Cuadro 10.</b> Porcentaje de importancia de los criterios de	64
<b>Cuadro 11.</b> Calificación de los criterios	65

## LISTA DE GRÁFICAS

	<b>pág.</b>
<b>Grafica 1.</b> Comparación de la resistencia de los dos tipos de ladrillo.	49
<b>Grafica 2.</b> Comparación de la absorción de los materiales.	50
<b>Grafica 3.</b> Comparación de la resistencia del ecobrick con su posible uso.	51

## LISTA DE ECUACIONES

	<b>pág.</b>
<b>Ecuación 1.</b> Calculo del área del sedimentador	54
<b>Ecuación 2.</b> Calculo del diámetro para el sedimentador.	55
<b>Ecuación 3.</b> Volumen del sedimentador.	55
<b>Ecuación 4.</b> Calculo del tiempo de retención del	56
<b>Ecuación 5.</b> Carga de sólidos.	57
<b>Ecuación 6.</b> Carga de sólidos por metro cúbico.	58
<b>Ecuación 7.</b> Concentración de solidos secos	58
<b>Ecuación 8.</b> Tiempo de operación.	59
<b>Ecuación 9.</b> Balance de masa en el sedimentador.	61
<b>Ecuación 10.</b> Balance de masa en la filtro prensa.	62
<b>Ecuación 11.</b> Balance de masa en el mezclador.	63

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
<b>Anexo A.</b> Marcha analítica espectoquant y termo reactor	75
<b>Anexo B.</b> Reporte de caracterización de los lodos	81
<b>Anexo C.</b> Reportes pruebas de resistencia y absorción ladrillo común	83
<b>Anexo D.</b> Reportes pruebas de resistencia y absorción ladrillo ecológico	85
<b>Anexo E.</b> Cotización de filtros prensa	87
<b>Anexo F.</b> Cotización de bombas, válvulas e insumos	90

## ABREVIATURAS

$A$ :	Área del sedimentador
$C_s$ :	Carga de sólidos secos
$V_{sc}$ :	Carga superficial de sedimentación
$Q$ :	Caudal de operación en planta por 24 horas
$Q_s$ :	Caudal de solidos
$C_{SH}$ :	Concentración de solidos húmedos
CRC:	Corporación autónoma del cauca
CVC:	Corporación autónoma regional del valle del cauca
$\rho$ :	Densidad del lodo
$\emptyset$ :	Diámetro del sedimentador
$m$ :	Masa de lodo
N.D:	No detectable
$t_m$ :	Operación diaria por metro de correa
$P_L$ :	Producción de lodos por metro cúbico semanal
$P_S$ :	Producción de solidos por metro cubico
TDS:	Solidos disueltos totales
$\theta$ :	Tiempo de retención del sedimentador
$v$ :	Volumen de lodo calculado en el aforo
$V$ :	Volumen del sedimentador

## GLOSARIO

**STARTWATER:** marca comercial del proceso de electrocoagulación empleado para tratamiento de aguas crómicas.

**ELECTROCOAGULACIÓN:** proceso electroquímico utilizado para la descontaminación de aguas altamente contaminadas por metales pesados y materia orgánica.

**LODO:** suspensión de sólidos en un líquido resultante del tratamiento de aguas.

**RESISTENCIA MECANICA:** forma en que un material soporta esfuerzos como compresión, tensión, incluso altas temperaturas.

**ABSORCIÓN EN FRIO:** capacidad que tiene un material para absorber cierta cantidad de agua en un tiempo determinado.

**LADRILLO:** material elaborado a partir de arcilla, moldeado a presión y horneado a altas temperaturas.

**AGUAS CRÓMICAS:** efluente proveniente de enjuagues del proceso de cromado de metales y plástico.

**CARGA DE SOLIDOS:** concentración de solidos presentes en un flujo de agua.

**CELDA DE SEGURIDAD:** tipo de relleno sanitario que cumple con la normatividad de seguridad e infraestructura para la disposición de solidos altamente tóxicos, donde se minimiza la afectación al ambiente.

**MATRIZ DE HIERRO:** aglomeración de floculo con alto contenido de hierro y metales pesados, producto de la descontaminación de aguas crómicas por electrocoagulación.

**DISPOSICIÓN FINAL:** proceso por el cual se reduce o controla el riesgo ambiental que puede generar un residuo sólido. Ya sea incineración, celdas de seguridad, compostaje, etc.

**ECOBRIK:** nombre que se le otorga a los ladrillos elaborados con arcilla y un residuo solido producto de algún otro proceso productivo.

**FLOCULO:** conjunto de partículas muy pequeñas aglomeradas, que se generan por la precipitación de contaminantes en el tratamiento de aguas.

**CORRIENTE CONTINUA:** corriente eléctrica que por acción de un rectificador permanece constante y el movimiento de las cargas siempre es en el mismo sentido.

**RECTIFICADOR DE CORRIENTE:** mecanismo por el cual la corriente alterna se convierte en corriente continua

**ELECTRODO:** ánodo de hierro presente en la electrocoagulación, que por acción de la oxidación se disuelve generando partículas de hierro capaces de aglomerar contaminantes.

**HIDROXIDO FERRICO:** composición principal del lodo producto de la electrocoagulación.

**BOMBA AUTOCEBATE:** tipo de bomba que posee mecanismos que le permiten liberar el aire que tenga en su interior generando el vacío necesario para la succión.

**MUESTRA COMPUESTA:** unión de varias muestras puntuales, tomadas a diferentes baches de lodo fluido.

## **RESUMEN**

**TÍTULO** PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS PROVENIENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS STARTWATER COMO MATERIA PRIMA EN LA FABRICACIÓN DE LADRILLO.

El presente trabajo de grado, se plantea una propuesta para el aprovechamiento de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas crómicas por el proceso STARTWATER como materia prima en la fabricación de ladrillo, disminuyendo el pasivo ambiental que estos representan y valorizando este residuo. Para esto se llevó a cabo la caracterización de los lodos, determinando parámetros de composición química como también de propiedades físicas, se definieron tres mezclas de lodo y arcilla para la fabricación de los ladrillos. Se elaboró un dispositivo dosificador de lodos y el proceso se dividió en tres lotes cada uno correspondiente a la mezcla que se definió. Del material obtenido se escogió el que se ajustaba a los criterios de apariencia y calidad deseados. Se evaluó la calidad del producto mediante la normatividad colombiana de unidades de mampostería donde se midió resistencia mecánica y absorción en frío.

Con los resultados se definió que equipos se requerían para desarrollar el proceso a escala industrial y el dimensionamiento de estos. Se formaliza la propuesta con los costos de los equipos y los requerimientos del proceso y como podría mejorarse la calidad del producto.

### **PALABRAS CLAVES**

- Electrocoagulación.
- Inertización de residuos.
- Ladrillos.
- Lodos.
- Floc.

## INTRODUCCIÓN

La empresa INDUSTRIAS ELECTROQUÍMICAS se encuentra ubicada en la zona industrial de Puente Aranda en la ciudad de Bogotá, cuenta con 35 años de presencia en el mercado, Desde hace aproximadamente 10 años ha invertido importantes recursos económicos y humanos en la investigación y desarrollo acerca de la aplicación de PROCESOS ELECTROQUÍMICOS AVANZADOS para el tratamiento de aguas residuales altamente contaminadas y el mejoramiento en procesos de recubrimientos galvánicos basados en cromo trivalente no cancerígeno. Como resultado ha obtenido dos patentes de invención para un reactor electroquímico de electrodos intercambiables y un proceso de cromado trivalente en continuo. Desde hace 7 años tiene en operación su proceso de cromado trivalente, una planta móvil, una planta piloto, ha construido y comercializado plantas de tratamiento de aguas residuales industriales de marca comercial SATARTWATER para alto contenido en metales pesados, complejos órgano metálicos, tensoactivos y para aguas residuales domésticas.

El tratamiento de aguas residuales por procesos fisicoquímicos, biológicos y los procesos emergentes, como el patentado por INDUSTRIAS ELECTROQUÍMICAS, al final entregan agua que debe cumplir con unos parámetros de acuerdo al uso final. Todos estos procesos finalmente producen lodos, que dependiendo de su composición, generan impactos ambientales, altos costos económicos por su disposición y crean pasivos ambientales.

Por esto se crea la necesidad de buscar alternativas de valorización de estos residuos, como una posible materia prima que no presente inconvenientes ambientales, ni riesgos para su aprovechamiento; lo cual representaría para la empresa INDUSTRIAS ELECTROQUÍMICAS, un valor agregado a su tecnología y mayores oportunidades de negocio.

Para valorizar este residuo se plantea la fabricación de ladrillos con un porcentaje de lodo que cumpla la función de colorante, para esto se hace una caracterización donde se analizan metales pesados y se determinan propiedades físicas que permiten establecer la naturaleza del lodo y como definir mezclas para la fabricación de ladrillo. Para el control de calidad del producto final se evaluaron parámetros de resistencia mecánica y absorción de agua, comprobando si el lodo afecta las propiedades del ladrillo y si este efectivamente podría ser empleado como colorante.

A partir de la experimentación se determinan que equipos serían necesarios para implementar esta propuesta en la transformación del lodo del tratamiento de aguas en la materia prima lista para la fabricación del ladrillo, realizando un dimensionamiento y balance masa para los equipos involucrados en el proceso de adecuación.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Proponer una alternativa para el aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas STARTWATER como materia prima en la fabricación de ladrillo.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar cuáles son las características físicas y químicas de los lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas STARTWATER.
- Evaluar el proceso de adecuación de los lodos provenientes de la planta STARTWATER como materia prima en la fabricación de ladrillo.
- Establecer el dimensionamiento de equipos y condiciones de trabajo que se requieren para transformar los lodos de acuerdo a los resultados experimentales.
- Estimar cuáles serían los costos de la propuesta desarrollada.

## 1. GENERALIDADES

Las generalidades comprenden la problemática ambiental en la disposición de residuos sólidos resultantes de los procesos de tratamiento de aguas, los tipos de disposición que se emplean para el lodo que se trata en este proyecto, las ventajas de este residuo como materia prima y como se realiza el proceso de fabricación de los ladrillos.

### 1.1 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

En la actualidad, los residuos peligrosos son la principal fuente de impactos al ambiente y a la salud. La generación, por parte de la industria, se ha convertido en tema de preocupación por su creciente volumen y su alto contenido de material contaminante. El punto más crítico sobre estos residuos son los problemas a futuro, que se dan cuando se hace una disposición sin parámetros técnicos.<sup>1</sup>

Los principales problemas ambientales que genera un inadecuado manejo de los residuos sólidos son, el deterioro estético de los centros urbanos y el paisaje natural, y los efectos adversos para la salud humana por la proliferación de vectores transmisores de enfermedades. “Lo anterior se agrava considerando que, en la gran mayoría de los centros urbanos del país, la disposición de residuos sólidos se realiza en forma indiscriminada: en los sitios de disposición final, es común encontrar residuos industriales mezclados con residuos hospitalarios o con los residuos doméstico”.<sup>2</sup>

Uno de los efectos ambientales más serios provocados por el manejo inadecuado de los residuos sólidos, es la contaminación de las aguas superficiales por el vertimiento de éstos en los ríos, quebradas y otros cuerpos de agua. Como consecuencia, se produce la pérdida del recurso para el uso humano (consumo o recreación), la muerte de la fauna acuática y el deterioro del paisaje.

En Colombia el problema tiende a ser especialmente grave por la falta de verticalidad al momento de hacer cumplir la normatividad y la falta de instalaciones y tecnología para el manejo de estos residuos, lo que genera el aumento en la contaminación de fuentes hídricas por infiltración, debido a lixiviación de lodos, como también la contaminación de suelos por la misma razón, afectando a las personas que se encuentran en estas áreas donde se arrojó el residuo.<sup>3</sup>

Las corporaciones autónomas regionales afirman que los mismos se vierten en altas proporciones en los cuerpos de agua y que, en muchos casos, el agua es utilizada

---

<sup>1</sup> MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE DE COLOMBIA. Análisis Sectorial de Residuos Sólidos en Colombia, Abril de 1996; 26 de Agosto 1999. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/eswww/fulltext/analisis/colombia/colombia6.html>.

<sup>2</sup> ibid.

<sup>3</sup> ibid.,

para consumo humano. “La CVC menciona que 3% de las basuras son vertidas al río Cauca y 20% a la bahía de Buenaventura; CORPOMAG, que 100% de los municipios por los que pasa el río Magdalena disponen sus residuos sólidos en sus riberas; la CRC, que la mayoría de los municipios del departamento del Cauca vierten sus residuos al río Cauca”<sup>4</sup>.

Según la normatividad colombiana<sup>5</sup>, es responsabilidad del generador elaborar un plan de gestión integral de los residuos, donde se identifique a que categoría pertenece por su proceso productivo, determinar el grado de toxicidad, al igual que se debe hacer un registro ante el ministerio del medio ambiente según el volumen de generación para hacer un control sobre estos y trabajar en la disminución en la fuente. Esta normativa define como se debe realizar la disposición final y con esto disminuir el impacto ambiental generado por la disposición.

El generador del residuo sólido debe realizar una caracterización físico-química de sus residuos “podrá proponer a la autoridad ambiental los análisis de caracterización de peligrosidad a realizar, sobre la base del conocimiento de sus residuos y de los procesos que los generan”.<sup>6</sup>También es responsabilidad del generador definir empaques o embalajes para sus residuos que garanticen la seguridad tanto para transporte como para el personal en contacto con este.

Según lo definido en el decreto, en la clasificación del residuo se establece como se debe realizar la disposición final y con esto disminuir el impacto ambiental generado por la disposición.

## **1.2 PROCESOS DE DISPOSICIÓN DE LODOS**

Actualmente, los lodos provenientes de los proceso de tratamiento de aguas galvánicas se disponen por medio de la incineración y las celdas de seguridad. Debido a que para estos lodos, el proceso de compostaje y ciertos tratamientos biológicos no aplica por su contenido en metales pesados, condiciones de pH y que no se presenta la relación carbono nitrógeno que son los componentes que recrean mejor los medios de crecimiento de microorganismos y la producción de energía”<sup>7</sup>.

---

<sup>4</sup> *Ibíd.*,

<sup>5</sup> COLOMBIA.MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 4741 de 2005.manejo de los desechos o residuos peligroso generados en el marco de la gestión integral.

<sup>6</sup> *Ibíd.*,

<sup>7</sup> MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE DE COLOMBIA. Análisis Sectorial de Residuos Sólidos en Colombia, Abril de 1996; 26 de Agosto 1999. Op., cit.,

**1.2.1 Incineración.** La incineración de lodos de tratamiento de aguas ha sido una de las alternativas regularmente empleada a nivel mundial según la EPA, debido al incremento en el volumen y por su alto contenido tóxico, los rellenos y la agricultura han dejado de ser la solución a este problema.

Este proceso consiste en el calentamiento de lodo de aguas residuales a altas temperaturas dentro de una estructura cerrada, Este proceso reduce el lodo a una masa de ceniza que es menos del 20% de su volumen original.

La combustión completa de la materia presente en los lodos a incinerar, se produce en exceso de oxígeno y consigue:

- Eliminar toda el agua presente.
- Minimizar a menos de 1% la materia orgánica en los productos resultantes (reducción al 95% del volumen de fango húmedo).
- Las cenizas humectadas son un 10% de la cantidad de fangos que se generaría en un proceso convencional.
- Destrucción completa de patógenos.
- Destrucción y reducción a límites aceptable de compuestos orgánicos tóxicos que podrían crear problemas medioambientales.
- Metales pesados captados en las cenizas formadas.
- “Permite recuperar energía (turbinado de vapor generado, recuperación 15 %)”<sup>8</sup>.

Este proceso presenta las siguientes desventajas:

- Elevados costos de instalación y mantenimiento.
- Requieren personal para explotación y mantenimiento más calificado.
- Tratamiento extra de gases, partículas, aguas de lavado y cenizas.
- Oposición social a la incineración, por la producción de gases nitrosos, vapores con alto contenido toxico por metales como cromo VI.

**1.2.2 Celdas de seguridad.** “Las celdas de seguridad principalmente son rellenos sanitarios, ubicados en sitios específicos adecuados para la disposición final de residuos sólidos, por esto cuenta con ciertas medidas de seguridad en su diseño y operación muy estrictas.”<sup>9</sup>.

“En Colombia, existe solo un relleno en el país que da la disposición final a los residuos catalogados como peligrosos y está ubicado en Mosquera Cundinamarca,

---

<sup>8</sup> UTADEZA, UNIÓN TEMPORAL DE EMPRESAS DE LA DEPURADORA DE ZARAGOZA. Incineración de lodos como alternativa en la línea de fangos de una Edar. Disponible en: <http://catedramin/unizar.es/files/confe>

<sup>9</sup> CORANTIOQUIA. Términos de referencia para la elaboración de estudios de impacto ambiental para la realización de proyectos de tratamiento y disposición final de residuos especiales, peligrosos y tóxicos. Medellín. Disponible en: 2000. <http://corantioquia.gov.co/sitios/ExtranetCorantioquia/SiteAssets/TerminosdeReferenciaparaRellenosdeSeguridad.pdf>. 2000.

éste no da abasto a la generación de residuos especiales y peligrosos generados en el país, presentando un pasivo ambiental cada vez más riesgoso”<sup>10</sup>.

Hoy en día el costo de las celdas de seguridad y la disminución de los sitios de disposición han llevado a la búsqueda de alternativas de estabilización de estos residuos.

### **1.3 APROVECHAMIENTO DE LODOS**

Por la problemática ambiental anteriormente expuesta, se crea la necesidad de buscar alternativas de aprovechamiento de lodos en algún proceso productivo donde se mitigue el continuo aumento del volumen de estos residuos, como también un valor agregado para disminuir costos de aprovechamiento, para estos efectos la fabricación de ladrillos y algún otro tipo de productos ofrecen una posibilidad viable.

**1.3.1 Funcionalidad de los óxidos de hierro.** El hierro, como metal de transición que es, tiene la capacidad de formar diversos compuestos oxidados, algunos de los cuales han sido usados por la humanidad desde tiempos muy lejanos como los pigmentos utilizados en las pinturas. Estos compuestos presentan una variada gama de colores que va desde el mineral prácticamente blanco, hasta el negro intenso, pasando por diversas tonalidades naranja, rojas, marrones y verdes. Se presentan como óxidos, hidróxidos u oxihidróxidos con o sin agua de hidratación y en estado ferroso o férrico, con propiedades físicas también bastante variadas, como aislantes, semiconductores y conductores.

Con el transcurso de los años, y principalmente en las últimas décadas, se han visto multiplicadas sus aplicaciones, y los usos potenciales son numerosos. Esta situación ha impulsado el desarrollo de diversas vías de síntesis que permiten obtener productos controlados, a la medida, a partir de otros óxidos, de precursores oxálicos, por hidrólisis de sales de hierro, por descomposición de quelatos. La mayoría de las veces se sigue la vía de la hidrólisis (en especial, para obtener hematita, magnetita y maghemita), aunque en los últimos años se ha incrementado la síntesis mediante la técnica sol-gel. “Esta permite obtener productos de gran pureza y homogeneidad en la composición, forma, tamaño y distribución de las partículas, características esenciales en las nuevas y exigentes aplicaciones tecnológicas”<sup>11</sup>.

---

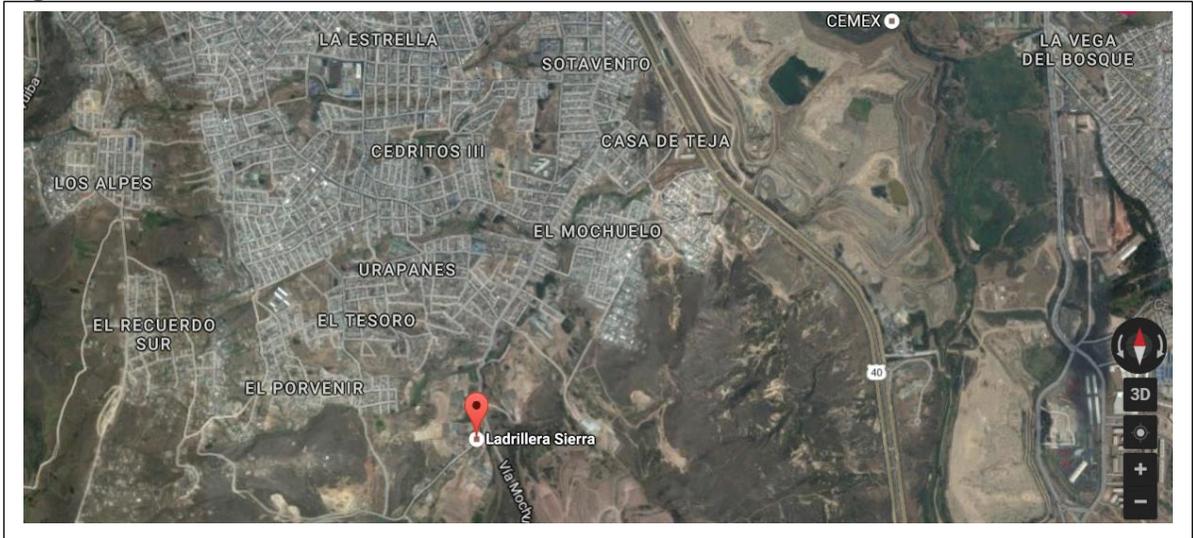
<sup>10</sup> VAS. Disposición final en celdas de seguridad. Envigado. Disponible en: <http://www.evas.gov.co/index.php/servicios/disposicion-final-en-celdas-de-seguridad>. 2002.

<sup>11</sup> CASTAÑO, J.G y ARROYAVE, C. La funcionalidad de los óxidos de hierro. 1997. p. 275.

## 1.4 FABRICACIÓN DE LADRILLOS

La fabricación de los ladrillos para este estudio se realiza en la LADRILLERA SIERRA ubicada en la carrera San Joaquín Km. 1 vía Mochuelo como se observa en la **Figura 1**.

**Figura 1.** Ubicación de la ladrillera Sierra.



Fuente: GOOGLE MAPS. Modificado por la autora.

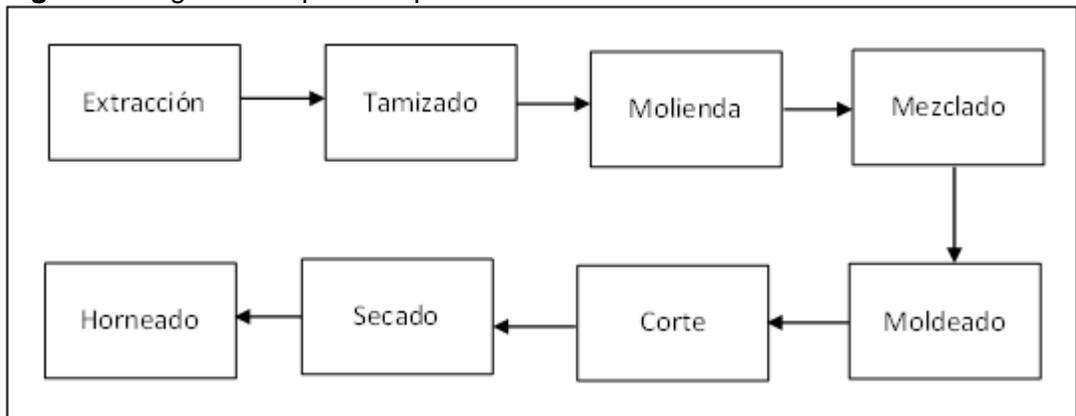
El proceso de fabricación cuenta con los siguientes pasos:

- **Extracción de materia prima.** En este proceso la ladrillera extrae de la montaña la arcilla o arena. Esta operación la realizan con un buldócer o retro que se carga con el material y se acumula en montones en un espacio cerca al proceso de fabricación, de este punto es llevado por una banda transportadora a una tolva.
- **Tamizado.** Aquí se preselecciona el material fino del grueso por medio de mallas y el fino es llevado al molino.
- **Molienda.** El material fino llega a un molino de rodillos, donde se reduce el tamaño de partícula, se pasa por otro tamiz y se coloca en la banda transportadora hacia la mezcladora.
- **Mezclado.** La mezcladora cuenta con un tornillo sin fin y un sistema de aspersion, funciona en continuo mientras se agrega el polvo con el agua y a lo largo de la mezcladora se va generando la arcilla.
- **Moldeado.** La arcilla húmeda pasa a una tolva y un tornillo sin fin que la empuja a través de una boquilla generando el bloque de arcilla.

- **Corte.** En este punto se corta el bloque en porciones que conforman los ladrillos macizos.
- **Secado.** Los ladrillos son apilados en un recinto cubierto, en el cual se deja reposar aproximadamente durante dos días para que se seque.
- **Horneado.** Luego de reposar los ladrillos se llevan al horno, el horneado dura una semana y se realiza un aumento de temperatura progresivo hasta el tercer día, luego se deja el máximo de temperatura durante los cuatro días restantes.

La **Figura 2** presenta el proceso de fabricación del ladrillo en la ladrillera Sierra.

**Figura 2.** Diagrama de proceso para la fabricación de ladrillo en la ladrillera Sierra.



**Fuente:** LADRILLERA SIERRA. Modificado por la autora

## 2. DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LOS LODOS

El diagnóstico de los lodos se realizó para conocer con mayor claridad cómo se producen los lodos, en donde se encuentran y partiendo de esta información se definió cuál sería su caracterización y que parámetros serían los más importantes para el estudio.

### 2.1 FUENTE DE LOS LODOS

Los lodos son el residuo del proceso de tratamiento de aguas crómicas de una planta galvánica, por el proceso de electrocoagulación de marca STARTWATER, en la cual según la patente de invención (CO13270642), la purificación del agua se da en un reactor electroquímico donde se encuentra una serie de ánodos y cátodos que se alimentan con corriente continua generando reacciones de oxidación-reducción que desestabilizan los coloides, descomponen la materia orgánica. Las reacciones anódicas ocasionan disolución del ánodo de hierro a ion  $\text{Fe}^{+2}$ , ion ferroso, el cual reacciona con el  $\text{Cr}^{+6}$  reduciéndolo a  $\text{Cr}^{+3}$  y transformándose en  $\text{Fe}^{+3}$  iones férricos.

En el cátodo se presentan otro tipo de reacciones, el  $\text{Cr}^{+6}$  se reduce a  $\text{Cr}^{+3}$ , el agua se descompone en  $\text{H}_2$  y en iones  $\text{OH}^-$ , iones hidroxilo, agente oxidante fuerte, que ocasiona reacciones de oxidación de materia orgánica. En el cátodo el ion férrico  $\text{Fe}^{+3}$  se transforma en  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , el hidróxido férrico actúa como coagulante dando lugar las reacciones de electrocoagulación, en donde el hidróxido férrico, el cual tiene la propiedad de ocasionar reacciones de precipitación, adsorbe en su estructura metales pesados y materia orgánica, con formación de una matriz estable. En el reactor por acción de la corriente continua hay desprendimiento de  $\text{H}_2$  y  $\text{O}_2$  en los electrodos, estas miles de micro burbujas de gases ascienden a la superficie arrastrando partículas en suspensión dando lugar la reacción de electro flotación.

Dentro del reactor se produce la eliminación de los patógenos mediante una incineración en húmedo, por la formación electroquímica de especies como el oxígeno, ozono y los iones hidroxilo, que son oxidantes de materia orgánica, dando lugar al electro desinfección.

Los productos de la descomposición forman la matriz de hidróxidos de hierro y metálicos como mencionan en la patente donde por medio de la dinámica en el interior del reactor estos precipitan aglomerando todo las impurezas del agua.

## 2.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS LODOS

Para la caracterización de los lodos según su uso en la fabricación de ladrillos y también por recomendación del laboratorio se analizaron parámetros de composición que se observan en el **Cuadro 1**.

**Cuadro 1.** Parámetros de caracterización de los lodos.

Parámetros de caracterización	Unidades	Técnica/Referencia
pH	-	Potenciométrico/NTC 5167
Conductividad eléctrica	dS/m	Conductímetro /NTC 5167
Retención de humedad	%	Gravimétrico
Humedad	%	700oc gravimétrico
Cenizas	%	700oc gravimétrico
Perdidas por volatilización	%	700oc gravimétrico
Capacidad de intercambio catiónico	me/100g	Acetato de amonio/volumétrico
Densidad(Cap base seca)	g/cm <sup>3</sup>	Directo/gravimétrico
Nitrógeno total	%	Micro kjeldahl/ volumétrico
Carbono orgánico oxidable	%	Colorimétrico
Carbono nitrógeno	-	Relación matemática

También se analizaron parámetros de composición, en este procedimiento se cuantifico el contenido en metales pesados de los lodos, en el **Cuadro 2** se encuentran que metales se analizaron y bajo qué metodología.

**Cuadro 2.** Parámetros de composición de los lodos.

PARAMETROS DE COMPOSICION	UNIDADES	TECNICA
Arsénico	mg/kg	ABS. ATÓMICA (MET. INTERNO)
Azufre	%	Colorimétrico
Boro	%	Colorimétrico
Calcio	%	Espectroscopia de emisión atómica
Cadmio	mg/kg	ABS. ATÓMICA (MET. INTERNO)
Cobre	mg/kg	Espectroscopia de emisión atómica
Cromo	mg/kg	ABS. ATÓMICA (MET. INTERNO)
Fosforo total	mg/kg	Colorimétrico
Hierro	%	Espectroscopia de emisión atómica
Magnesio	%	Espectroscopia de emisión atómica
Manganeso	mg/kg	Espectroscopia de emisión atómica
Mercurio	mg/kg	ABS. ATÓMICA (MET. INTERNO)
Níquel	mg/kg	ABS. ATÓMICA (MET. INTERNO)
Nitrógeno total	%	Micro kjeldahl/ volumétrico
Potasio	%	Espectroscopia de emisión atómica
Silicio	%	Espectroscopia de emisión atómica
Sodio	%	Espectroscopia de emisión atómica
Residuos insolubles en acido	%	Gravimétrico
Zinc	mg/kg	Espectroscopia de emisión atómica

Con los datos de la caracterización, se tuvo una composición precisa de los lodos y que componentes se están adicionando en los ladrillos

**2.2.1 Método de muestreo.** El método de muestreo que se utilizó para recolectar todas las muestras de lodos se hizo en base a la norma NTC-ISO 5667-13 “guía para el muestreo de lodos de Aguas residuales y plantas de Tratamiento de aguas”, la norma expone el tipo de muestra más recomendable según los flujos y puntos de muestreo al igual que se referencia a otras normas.

Se tomó la forma de lodo fluido para diferentes baches de agua es decir una muestra compuesta. Se tomaron muestras de lodos posteriores al tratamiento de aguas cuando estas presentaban picos de alta contaminación, asegurando que a pesar de los altos contenidos de metales pesados, los lodos presentan un comportamiento adecuado en la fabricación de los ladrillos según los requisitos de las normas NTC-4205 para mampostería estructural y no estructural y la norma NTC-3829 calidad de adoquines para tráfico peatonal liviano, los picos de contaminación contemplan los siguientes parámetros presentados en la **Tabla 1**.

**Tabla 1.** Parámetros entrada de aguas a proceso de electrocoagulación.

pH	Conductividad μS	TDS mg/l	Cr mg/l	Ni mg/l	Fe mg/l	Cu mg/l
1,94	10.150	5.075	462,84	187,00	10,00	98,00

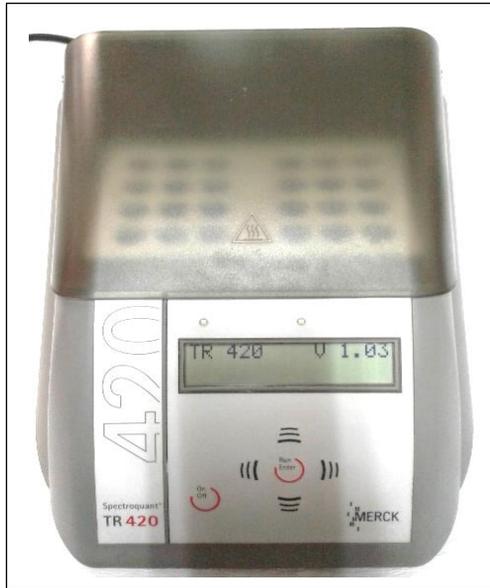
La caracterización del agua se realizó por medio de espectrofotometría con equipos de INDUSTRIAS ELECTROQUIMICAS, a medida que ellos ajustaban sus parámetros de funcionamiento en los reactores, se realizó la caracterización de los diferentes baches de agua a tratar, el equipo de medición fue un Espectroquant® NOVA 60 el cual se observa en la **Figura 3** y un termo reactor TR-420 MERCK presentado en la **Figura 4**.

**Figura 3.** Espectroquant® NOVA 60.



Para determinar parámetros como cromo total presente en las aguas se necesitaba disgregar la muestra, por lo cual se empleó el termo reactor de la **Figura 4**.

**Figura 4.** Termo reactor TR-420  
MERCK.



En el **Anexo A** se encuentran las marchas analíticas que se emplearon para caracterizar del agua con estos equipos de laboratorio.

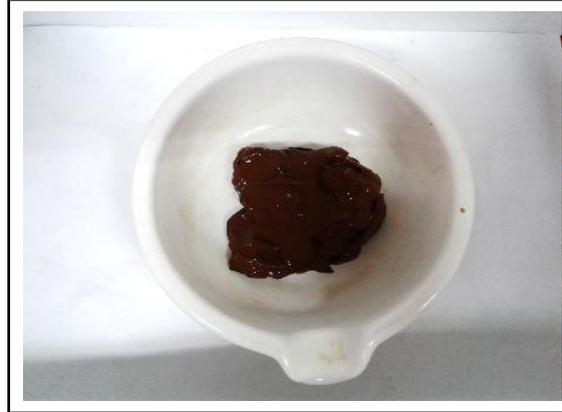
Los puntos de muestreo se muestran a continuación en la **Figura 5**, siendo los cuatro reactores que componen la planta de tratamiento de agua.

**Figura 5.** Reactores de electrocoagulación, puntos de muestra.



**2.2.2 Alistamiento de muestra.** Como se mencionó anteriormente los lodos se sedimentaron y filtraron en laboratorio, según requerimientos del laboratorio AGRILAB donde se realizó la caracterización, se pesaron 1.000 g de lodo húmedo y se empacaron en bolsas con sello hermético para preservar la muestra como se observa en la **Figura 6**.

**Figura 6.** Lodo filtrado.



Los lodos presentan una tonalidad café, al igual que su textura es cremosa como se observa en la **Figura 7**.

**Figura 7.** Lodo empacado para llevar a laboratorio.



La muestra se empaco y se identificó según criterios del laboratorio AGRILAB, donde se especifica el tipo de muestra, lugar de muestreo fecha y el responsable.

### **2.3 RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN**

Los resultados de la caracterización de los lodos se muestran en las **Tablas 2 y 3**.

**Tabla 2.** Resultados de los parámetros de caracterización.

PARÁMETROS DE CARACTERIZACIÓN	UNIDADES	RESULTADO
pH	-	7,53
Conductividad eléctrica	dS/m	12,30
Retención de humedad	%	158,00
Humedad	%	81,50
Cenizas	%	82,00
Perdidas por volatilización	%	18,00
Capacidad de intercambio catiónico	meq/100g	39,90
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	0,39
Nitrógeno total	%	0,75
Carbono orgánico oxidable	%	2,46
Carbono nitrógeno	-	3,00

Los resultados de la **Tabla 2**, muestran que estos lodos efectivamente no sirven para actividades de compostaje o agricultura. La relación carbono nitrógeno es muy baja al igual que sus componentes se encuentran fuera de norma o del límite agrícola.

Los valores de pH 7,53 favorecen el proceso ya que no es necesario un lavado para neutralizar, disminuyendo el posible consumo de materias primas para su reutilización, también a este pH se facilita la manipulación y almacenamiento del lodo.

**Tabla 3.** Resultados de composición de los lodos.

PARÁMETROS DE COMPOSICIÓN	UNIDADES	RESULTADO
Arsénico	mg/kg	N.D.
Azufre	%	0,52
Boro	mg/kg	374
Cadmio	mg/kg	0,81
Calcio	%	0,04
Cobre	mg/kg	438
Cromo	mg/kg	40.995
Fosforo total	mg/kg	1,23
Hierro	%	46,70
Magnesio	%	0,20
Manganeso	mg/kg	0,10
Mercurio	mg/kg	N.D.
Níquel	mg/kg	11.872
Nitrógeno total	%	0,75
Potasio	%	0,04
Silicio	%	2,60
Sodio	%	0,05
Residuos insolubles en acido	%	32,10
Plomo	mg/kg	218
Zinc	mg/kg	73

## 2.4 AFORO DE LODOS

Para realizar el aforo de los lodos por volumen de agua, se tomaron cinco muestras de agua tratada por electrocoagulación sin filtrar. Mediante el empleo de una probeta aforada de 1.000 mL, se midió el volumen que ocupaban los lodos, la **Figura 8** presenta la sedimentación de lodo.

**Figura 8.** Sedimentación de lodo.



Tras realizar el mismo procedimiento con las diferentes muestras y medir el volumen del sedimento se calcula el porcentaje de lodos por litro de agua, el lodo tomaba entre tres y cinco minutos en sedimentarse por completo. Estos resultados se encuentran en la **Tabla 4**.

**Tabla 4.** Determinación de porcentaje de lodos por volumen de agua.

Numero de muestra	Volumen muestra (mL)	Volumen de lodos sedimentado(mL)	Porcentaje de lodo (%v)
1	1.000	50	5
2	1.000	38	3,8
3	1.000	41	4,1
4	1.000	45	4,5
5	1.000	48	4,8

Se toma el punto más alto que es un 5% de lodos por bache de agua lo que significa que de la planta de tratamiento con cuatro reactores, un tiempo de residencia de dos horas por cada uno y trabajando en línea, hay una capacidad de 5 m<sup>3</sup>/h de agua es decir 250 litros/h de lodo húmedo.

### 3. EXPERIMENTACIÓN

En la experimentación se elaboraron los adoquines con lodo, donde se especificó porcentajes de adición, tiempos de secado y se comparó el comportamiento de las mezclas definidas

#### 3.1 DEFINICIÓN DE MEZCLAS

Las proporciones de las mezclas se definieron según datos encontrados en el artículo "Potential uses of Waste Sludge in Construction Industry: A Review"<sup>12</sup>, aquí se hace una revisión a los artículos científicos donde se emplea el lodo del tratamiento de aguas como aditivo en materiales de construcción y como le han dado solución a muchos problemas de disposición de lodos, mejoras a los productos fabricados y sus condiciones de operación. Para los experimentos realizados en ladrillos de cerámica macizo, los autores manejaban porcentajes de 1 a 10% en peso por unidad fabricada, los experimentos que se realizaron con porcentajes más altos afectaban la resistencia mecánica de los ladrillos disminuyendo su calidad.

Los lodos que manejan en estos artículos, no tienen un alto contenido en hierro por esto para este estudio se definieron porcentajes menores al 7%, enfocados a la composición de hierro que podría tener el ladrillo, en la **Tabla 5** se describen las mezclas.

**Tabla 5.** Mezclas con diferentes concentraciones de lodo húmedo por unidad de ladrillo.

Mezcla	% lodo húmedo	Peso lodo (kg)	Peso arcilla (kg)
M1	2%	0,060	2,94
M2	4%	0,120	2,88
M3	6%	0,180	2,82

La mezcla se refiere a la composición aproximada de una unidad de mampostería de 3 kg, teniendo las mezclas definidas con un 2% , 4% y 6% se puede afirmar que tienen un contenido de hierro del 1%, 2% y 3% respectivamente.

#### 3.2 DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA DOSIFICADORA DE LODOS

Para realizar la mezcla se desarrolló una maquina dosificadora de lodo, con el fin de facilitar la dosis siendo progresiva y homogénea. La **Figura 9** presenta la máquina de lodo utilizada.

<sup>12</sup> JOHNSON, O. A; NAPIAH, M y KAMARUDDIN, I. Potential uses of Waste sludge in construction industry. 2014. p. 170.

**Figura 9.** Máquina dosificadora de lodo.



**3.2.1 Descripción de equipos.** En descripción de equipos, se especifican condiciones de operación, para algunas partes se describen sus dimensiones y material.

- **Motor.** El motor es un voge con brida trifásico de 1 HP de potencia como se observa en la **Figura 10**, las características del motor se encuentran en la **Tabla 6**.

**Figura 10.** Motor.



**Tabla 6.** Características del motor.

HP	Velocidad		Armazón	Corriente(A)			Conexión
	RPM sincrónica	RPM a plena carga		En vacío	Plena carga	arranque	
1	1800	1745	143T	1,1	1,5	11	Y

**Fuente:** SIEMENS. Disponible en: <http://industria.siemens.com.mx/Motores/Docs/Motores%20NNM.pdf>.

- **Variador.** Es siemens, con este se reduce la frecuencia de giro del motor controlando la velocidad. se puede aumentar o disminuir según la cantidad de lodo que se desee adicionar, también el encendido de la máquina. La **Figura 11** presenta este variador.

**Figura 11.** Variador Siemens.



Las características del variador se encuentran en la **Tabla 7**, aquí se especifica para que potencia de motor aplica al igual que su referencia y la corriente a la cual funciona.

**Tabla 7.** Características técnicas del variador.

Tipo	Pot. del motor		Corriente de entrada(A)	Corriente de salida(A)
	HP	KW		
SINAMIC G110	1	0,75	10	3,9

**Fuente:** SIEMENS. Disponible en: <https://www.industry.siemens.com/home/aan/es/ecuador/Documents/Lista%20de%20Pecios%20Final%20Final%20Siemens%20Industry%20Ecuador.pdf>.

- **Tornillo sin fin.** Este tornillo se encuentra en el interior de una tubería galvanizada de dos pulgadas, el tornillo tiene una longitud aproximada de 90 centímetros y se ilustra en la **Figura 12**.

**Figura 12.** Tornillo sin fin.



Aquí es a donde llega el lodo que está en la tolva, girando según la velocidad deseada, el lodo pasa a través de él y al final lo deposita en la banda transportadora que lleva la arcilla previamente molida.

- **Tolva.** Aquí se coloca la cantidad de lodo que se va a dosificar, la capacidad máxima para esta tolva fue de 20 kg de lodo y se ilustra en la **Figura 13**.

**Figura 13.** Tolva.



La estructura metálica fue pintada con pintura epóxica, para evitar que se deteriorara u oxidara la máquina.

La máquina dosificadora fue colocada en la cinta transportadora antes del mezclador, donde el lodo se agregaba paulatinamente mientras avanzaba la arcilla.

### 3.3 FABRICACIÓN DE LADRILLO

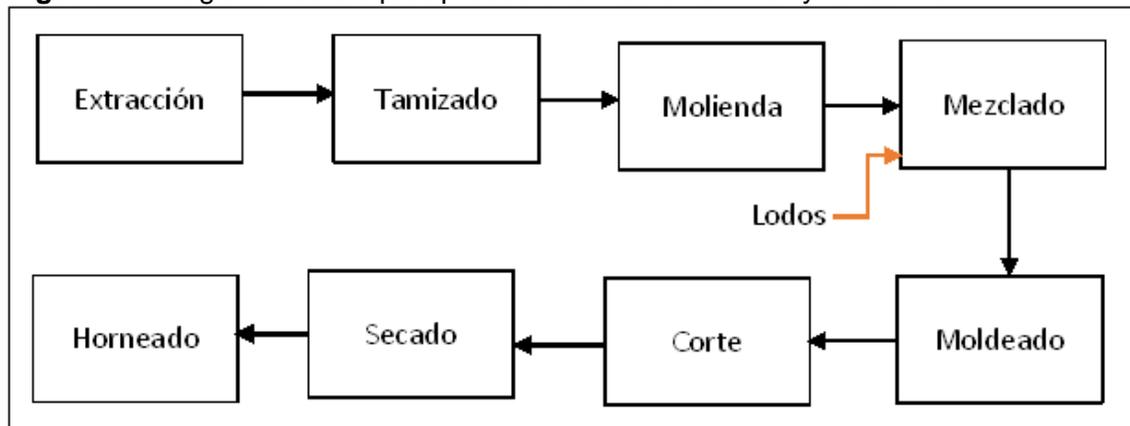
Según los ensayos de mezclas expresados en la **Tabla 5** en el capítulo anterior, se definieron tres pruebas de fabricación de ladrillos las pruebas se denominaron M1, M2, M3 y se ilustran a continuación en la **Tabla 8**.

**Tabla 8.** Definición de mezclas y cantidad de ladrillos.

Mezcla	Cantidad de lodo (kg)	Cantidad de arcilla (kg)	Unidades fabricadas
M1	30	1.470	500
M2	90	2.160	750
M3	180	2.820	1.000

Con la **Tabla 8** se definieron las corridas de ladrillos por mezcla, ya que se contaba únicamente con 300 kilos de lodo por esto no se hicieron las mismas unidades por mezcla. En los ensayos se realizó la metodología que se describe a continuación en la **Figura 14**.

**Figura 14.** Diagrama de bloques proceso de fabricación incluyendo lodo.



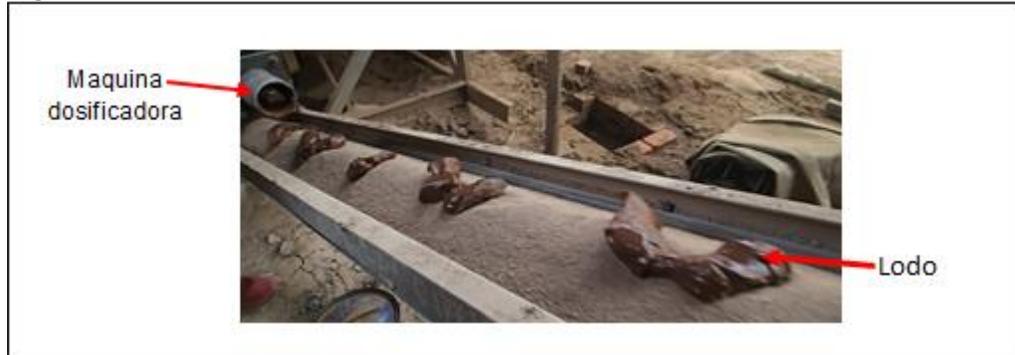
Fuente: Ladrillera sierra. Modificado por la autora.

Se planteó el mismo proceso de fabricación del ladrillo expresado en el capítulo 1, después de la molienda y antes del mezclador se coloca la maquina dosificadora de lodo y se vierte a la arcilla llegando al mezclador, se homogeniza la mezcla junto con agua. Este parámetro no se pudo cuantificar ya que esto es manejado por los operarios de la ladrillera de una manera muy empírica, ellos se basan en su experiencia y deciden qué cantidad adicionar, se mencionaba que no agregaban la misma cantidad de agua en comparación con el proceso de fabricación sin lodo por la humedad de estos, y se dejaba homogenizar correctamente antes de pasar al moldeado; lo que pudo garantizar una mezcla uniforme.

Como se observa en la **Figura 15** se adicionaron los lodos a la arcilla fina y por medio de la banda transportadora llega al mezclador, de esta manera se agregaba

el lodo a la mezcla paulatinamente evitando la formación de grumos, evitando inconvenientes en el formado de ladrillos.

**Figura 15.** Muestra de dosificación de lodos a la arcilla.



En la parte superior izquierda de la **Figura 15** se aprecia la tubería en donde está el tornillo sin fin, el lodo es color café oscuro que se observa a lo largo de la figura y este está sobre la arcilla molida.

La **Figura 16** presenta el mezclador de arcilla.

**Figura 16.** Mezclador de arcilla.



En este punto se homogenizo el lodo con la arcilla y se agregó agua mediante un sistema de aspersión, se observa en la tubería de PVC.

En la **Figura 17** se presenta la mezcla lista para moldeado.

**Figura 17** Mezcla lista para moldeado.



Por último se pasó al moldeado y corte, donde la mezcla es llevada por la cinta transportadora hasta el proceso de moldeado por compresión.

La **Figura 18** ilustra el ladrillo moldeado obtenido.

**Figura 18.** Ladrillo moldeado



En la **Figura 19** se observa el corte del ladrillo.

**Figura 19.** Corte del ladrillo.



Después de este corte los ladrillos se llevaron a un recinto cubierto para su secado al aire libre durante cinco a ocho días, estos días de secado dependen de las condiciones climáticas, es decir si son días muy húmedos el proceso de secado es muy lento pero si son días más calientes de 18 o 19°C el proceso solo dura cinco días, para las pruebas que se realizaron se dejaron 15 días secando debido a inconvenientes de la ladrillera y capacidad de los hornos, esto se observa en la **Figura 20.**

**Figura 20.** Ubicación de ladrillos en el horno.

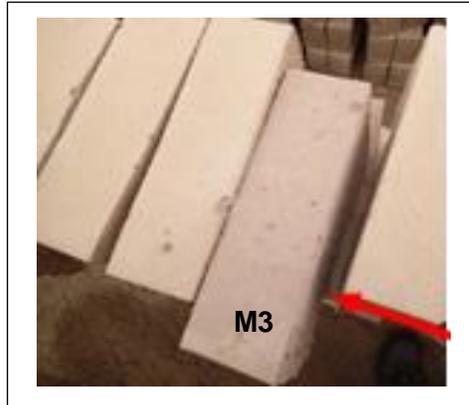


El horneado si se hizo según los parámetros de la ladrillera tomando un tiempo de cocción de ocho días, donde la temperatura aumenta paulatinamente durante los tres primeros días hasta 1.200°C aproximadamente y se mantiene la temperatura por los cinco días restantes del proceso.

### 3.4 RESULTADOS DE LAS MEZCLAS

Después del proceso de fabricación y en una verificación que se hizo a los ladrillos durante los 15 días de secado, se observa un cambio en la apariencia de estos incluso sin el proceso de horneado como se presenta en la **Figura 21** presentada a continuación.

**Figura 21.** Comparacion de ladrillos crudos sin contenido de lodo y los ladrillos de la mezcla M3.



Se observa que el ladrillo de la mezcla M3 ya presenta un tono más rojizo que los ladrillos comunes.

El horneado tomo ocho días y se tomaron ocho días más para el enfriamiento del horno y su descarga. A continuación se observa en la **Figura 22** los resultados que se obtuvieron.

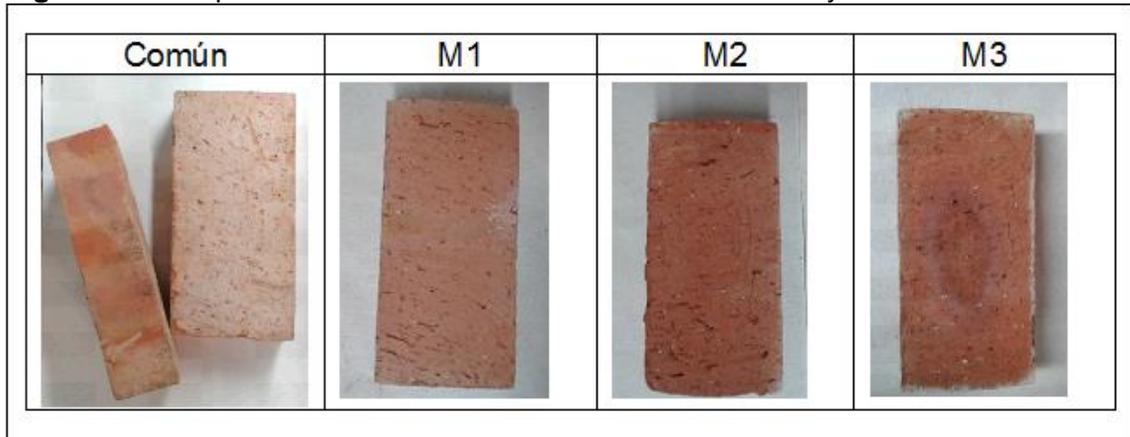
**Figura 22.** Resultados de las tres mezclas de lodo y arcilla.



Como se observa en la **Figura 22**, se aprecia la diferencia de colores en las diferentes corridas de ladrillos. Se tiene un resultado exitoso, los lodos si resultan

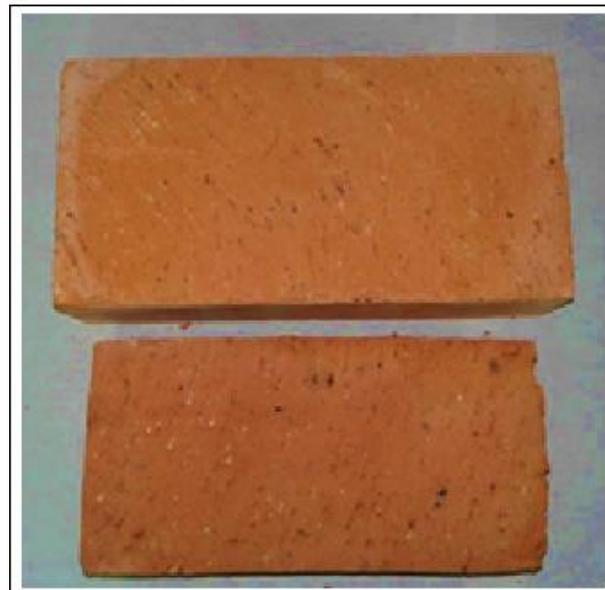
ser un pigmento para los ladrillos, aunque presento un mejor comportamiento la mezcla M2 con un 4% de lodo en la mezcla. Se puede observar en la **Figura 23** la pigmentación de los ladrillos para cada mezcla y la comparación con el ladrillo común.

**Figura 23.** Comparación de ladrillos resultados de las mezclas y común.



**3.4.1 Comportamiento de la mezcla M1.** Estos ladrillos no presentan una coloración muy diferente a la de un ladrillo sin lodo, pero se aprecia cierto color en el material. Como se observa en la **Figura 24**.

**Figura 24.** Ladrillo común en comparación con Ecobrick<sup>®</sup> M1.



(\*) Nombre tomado de JOHNSON, O.A.; NAPIAH, N y Kamaruddin, I. Potential uses of Waste Sludge in Construction Industry: A Review. En Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. Julio, 2014, p. 565.

Son adoquines de color uniforme, no sufrieron fractura durante el horneado, también al momento de manipularlos no se desmoronaban con facilidad.

La estructura de estos ladrillos se ve homogénea, no se ven grietas ni agujeros significativos que puedan afectar el desempeño de este material como adoquín. Pero para las pruebas de resistencia y absorción no se elige estos ladrillos ya que hubo otra mezcla que si se acercó a la apariencia deseada.

**3.4.2 Comportamiento de la mezcla M2.** Este material muestra una muy buena coloración en comparación de las otras 2 mezclas, siendo muy similar a la de los adoquines que normalmente cuentan con la dosificación de mineral para darles color. La apariencia de estos es muy homogénea y tampoco presentan grietas profundas en su superficie, en comparación con un ladrillo sin lodo es bastante significativa la diferencia de color como se ve en la **Figura 25**.

**Figura 25.** Ladrillo común en comparación con el Ecobrick M2.

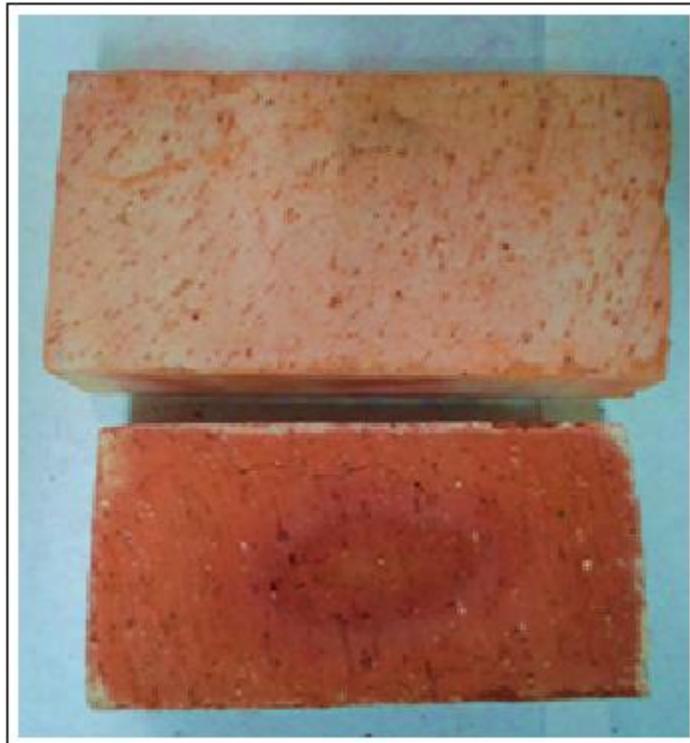


En cuanto a acabado final es el que más se resaltó, se alcanzó a detectar que alrededor de 30 adoquines un 4% del lote si presentaron bastantes grietas y algunas puntas desportilladas, esto puede darse por el alto contenido de humedad de los lodos y cuando la arcilla queda muy húmeda se presentan estas grietas, pero el resto del material si se veía en muy buen estado.

**3.4.3 Comportamiento de la mezcla M3.** La mezcla, no tuvo el mismo comportamiento, gran parte del lote sufrió fracturas como también se observaban bastantes grietas en el material, incluso si se observa la **Figura 21**, ya en este punto se alcanza a evidenciar grietas muy profundas, también se observan círculos más oscuros en estos adoquines, esto se dio por dos factores la humedad del lodo en este lote se la dosificación fue más alta y la falta de homogeneidad en la mezcla, en esta mezcla se tuvo inconvenientes con la mezcladora y no se pudo realizar de manera homogénea en la primera parte del lote, ya para finalizar la prueba con esta se hicieron ajustes con la máquina, pero de todas formas el material no se desempeñó correctamente.

En la **Figura 26** se compara el acabado del adoquín de la mezcla M3 y un ladrillo común, aquí se aprecia mejor los círculos mencionados en el párrafo anterior, estos se deben al mezclado que no fue uniforme y es posible que esto sea una aglomeración de lodo. El pigmento es bastante notorio, pero la calidad del material se afectó y por ello no hubo un buen resultado con esta mezcla.

**Figura 26.** Ladrillo común en comparación con el Ecobrick M3.



## **4. VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA PARA APROVECHAMIENTO DE LODOS COMO MATERIA PRIMA**

Para validar el material, se realizó un control de calidad en donde se evaluaron los parámetros de resistencia a la compresión y la absorción en frío.

### **4.1 MUESTRA DE LADRILLO MACIZO COMÚN**

Para validar la parte experimental es pertinente tomar muestras de ladrillos producidos normalmente y realizar los análisis que requiere la NTC 4205 para ladrillos macizos, con esto se tienen datos que permitan comparar el comportamiento de los ladrillos con lodo frente a los ladrillos “vírgenes”, se tomaron 10 ladrillos aleatoriamente de una producción de alrededor de unos 8.000, se hace para dos lotes de producción teniendo un total de 20 ladrillos. Según recomendaciones del laboratorio, es necesario tomar cinco ladrillos para cada parámetro que se va a analizar.

### **4.2 MUESTRA DEL ECOBRICK**

La selección de las muestras para este ladrillo se hizo de manera cualitativa, como se mencionó en el capítulo 3, la mezcla de arcilla y lodo que tuvo el mejor comportamiento en cuanto a calidad de la superficie y color fue la M2, por esto se tomaron los 10 ladrillos de este lote de producción para realizarles las pruebas de laboratorio.

### **4.3 PROPIEDADES DE LADRILLOS SEGÚN NORMATIVIDAD Y USO**

Se realizaron las pruebas de resistencia a la compresión, absorción a las muestras de ladrillo según la NTC 4017-2005 numeral 7 y numeral 8. Esta norma se empleó para el muestreo y desarrollo de los ensayos solicitados al laboratorio Contecon Urban.

El control de calidad de los ladrillos se realizó con las normas NTC 4205 y la norma NTC 3829.

Los valores mínimos se presentan en los **Cuadros 3 y 4**, para unidades de mampostería estructural y no estructural.

**Cuadro 3.** Propiedades físicas de las unidades de mampostería estructural.

Tipo	Resistencia mínima a la compresión MPa(Kgf/cm <sup>2</sup> )		Absorción de agua máxima en %			
			Interior		Exterior	
	Prom 5 U	Unidad	Prom 5 U	Unidad	Prom 5 U	Unidad
M	20,0	15,0	13	16	13,5	14

M= unidad de mampostería maciza

**Cuadro 4.** Propiedades físicas de las unidades de mampostería no estructural.

Tipo	Resistencia mínima a la compresión MPa(Kgf/cm <sup>2</sup> )		Absorción de agua máxima en %			
			Interior		Exterior	
	Prom 5 U	Unidad	Prom 5 U	Unidad	Prom 5 U	Unidad
M	14,0	10,0	17	20	13,5	14

La norma NTC 3829 para tráfico liviano, cuenta con las siguientes clasificaciones y la resistencia mínima que deben tener las unidades de mampostería según su posible uso, esto se observa en el **Cuadro 5** presentado a continuación.

**Cuadro 5.** Requisitos de acuerdo a la norma NTC 3829 para resistencia.

TIPO	Características	Resistencia a compresión mínima área total MPa (psi)	
		Prom 5 Un	Individual
I	Usados en edificios públicos y comerciales , abrasión alta	55,2(8.000)	48,3(7.000)
II	Usados en tiendas y calzadas exteriores, abrasión media	38(5500)	48,3(7.000)
III	Usados en pisos o patios unifamiliares, abrasión baja	20,7(3.000)	17,2(2.500)

Esta norma también se contempla para validar los ladrillos producidos, ya que puede representar una oportunidad de aprovechamiento de este nuevo producto en un mercado más amplio.

Es importante resaltar que el parámetro para definir si el ladrillo puede usarse según las clasificaciones de las normas es la resistencia a la compresión. El **Cuadro 6** presenta los requisitos de acuerdo a la norma NTC 3829 para absorción en frío.

**Cuadro 6.** Requisitos de acuerdo a la norma NTC 3829 para absorción en frío.

TIPO	Características	Absorción de agua fría máxima	
		Prom 5 Un	Individual
I	Usados en edificios públicos y comerciales , abrasión alta	8	11
II	Usados en tiendas y calzadas exteriores, abrasión media	14	17
III	Usados en pisos o patios unifamiliares, abrasión baja	No hay limite	No hay limite

#### 4.4 COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL LADRILLO VIRGEN Y EL “ECOBRIK” SEGÚN RESULTADOS DE LABORATORIO

Para evidenciar el comportamiento de la dosificación del lodo en los ladrillos, se realiza una comparación de los parámetros de resistencia y absorción a ladrillos comunes y a los Ecobrick con esto determinar si se ve afectada la calidad del ladrillo o si es posible que el lodo la mejore.

La muestra de ladrillo común se denominó A-1 por parte del laboratorio y para el Ecobrick se denominó A-2 se da esta aclaración ya que esta es la denominación que se encuentran en los reportes del **Anexo C y Anexo D**.

**4.4.1 Resistencia.** En la **Tabla 9**, se encuentran los resultados de la resistencia a la compresión de ambos materiales, se observa que el mejor promedio lo tiene el Ecobrick en comparación al ladrillo normal.

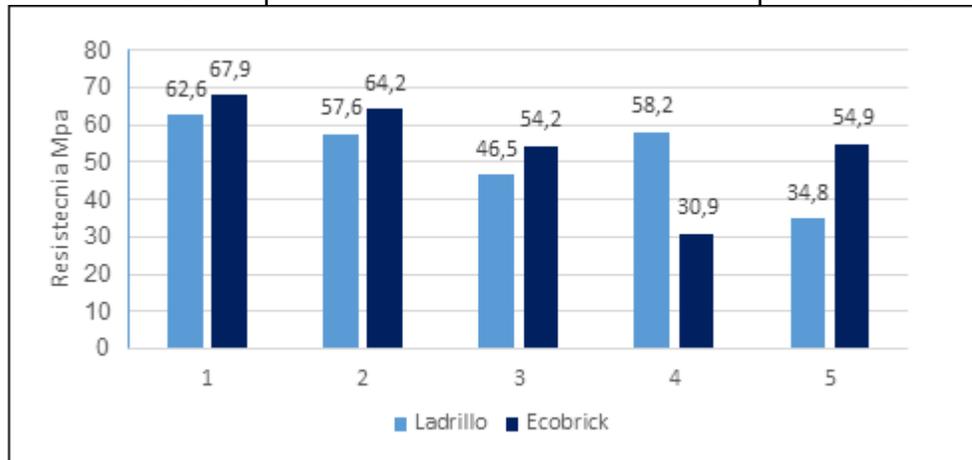
**Tabla 9.** Resultados resistencia a la compresión.

Muestra	Resistencia MPa	Promedio (MPa)	Muestra	Resistencia MPa	Promedio (MPa)
Comun-1	62,6		Ecobrick-1	67,9	
Comun-2	57,6		Ecobrick-2	64,2	
Comun-3	46,5	51,9	Ecobrick-3	54,2	54,4
Comun-4	58,2		Ecobrick-4	30,9	
Comun-5	34,8		Ecobrick-5	54,9	

En la **Gráfica 1** se comparan los resultados obtenidos para cada unidad en el ensayo de resistencia a la compresión, se puede observar que el contenido en lodo no afecta negativamente la calidad del ladrillo por el contrario se puede decir que

incrementa la resistencia del material. Para las muestras 1, 2, 3 y 5 la resistencia del Ecobrick supera la resistencia del ladrillo estándar.

**Grafica 1.** Comparación de la resistencia de los dos tipos de ladrillo.



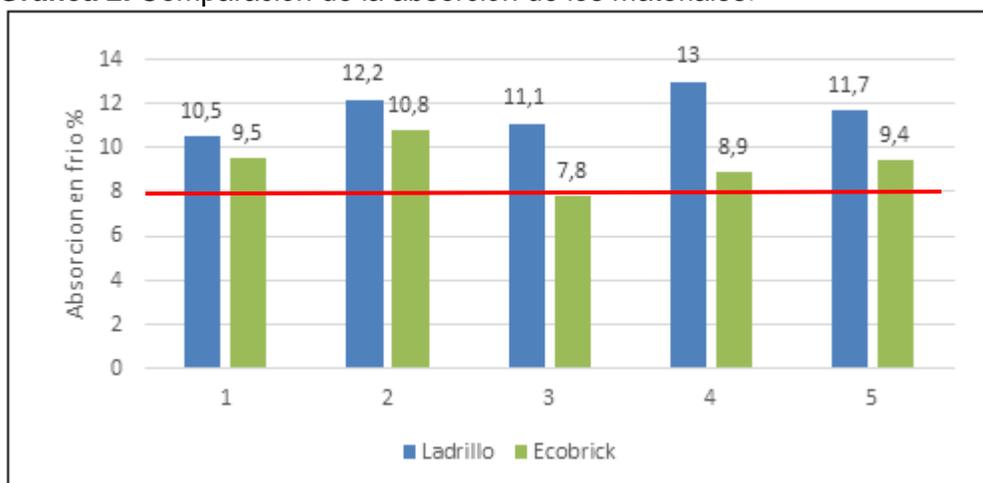
**4.4.2 Absorción.** En este parámetro se mide que tanta agua absorbe el material durante un tiempo controlado. La **Tabla 10** presenta los resultados de absorción obtenidos.

**Tabla 10.** Resultados de absorción.

Muestra	Absorción (%)	Promedio	Muestra	Absorción (%)	Promedio
Comun-1	10,5		Ecobrick-1	9,5	
Comun-2	12,2		Ecobrick-2	10,8	
Comun-3	11,1	11,7	Ecobrick-3	7,8	9,3
Comun-4	13,0		Ecobrick-4	8,9	
Comun-5	11,7		Ecobrick-5	9,4	

La absorción promedio del Ecobrick es baja comparada con el ladrillo. En la **Gráfica 2** se aprecia el comportamiento de la absorción de ambos materiales.

**Grafica 2.** Comparación de la absorción de los materiales.



Según la norma, no es recomendable que los niveles de absorción sean muy bajos por debajo de un 8%, esto podría impedir la adherencia del cemento dificultando la elaboración de paredes o muros, al igual que si es muy alto sería un material muy susceptible a un apresurado deterioro por la erosión del agua, corrosión o quiebres.

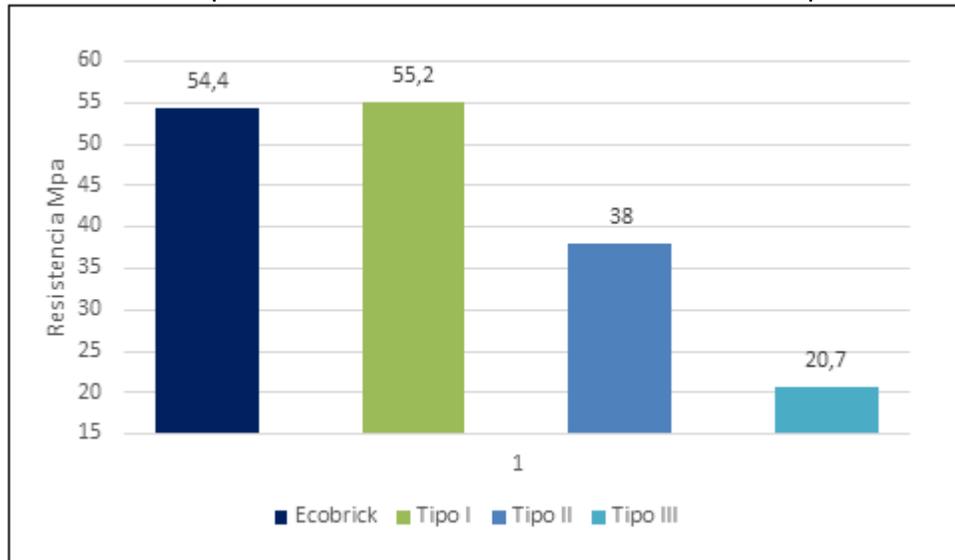
Para los ladrillos que tienen un 4% de lodo, su absorción es muy cercana al límite, solo una unidad se ubicó por debajo del 8% de humedad lo que significa que en la superficie de este adoquín no se hayan presentado los poros suficientes para que se diera una mejor absorción.

#### 4.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para determinar el potencial uso del producto se debe tomar como parámetro principal la resistencia a la compresión.

Según el **Cuadro 3** para mampostería estructural, el promedio de la resistencia debe ser mínimo de 20 MPa en la **Tabla 9** se observa que el promedio del ladrillo fue de 54,4 MPa lo que significa que puede ser empleado en la construcción sin ningún problema, también puede ser usado como revestimiento de fachadas ya que en el **Cuadro 5** la resistencia mínima es de 14 MPa y este lo sobrepasa. Lo anterior se refiere a parámetros según la norma NTC 4205 estos criterios cambian según la norma. Para los usos de la **Gráfica 3**, la norma es la NTC 3829 para tráfico liviano.

**Grafica 3.** Comparación de la resistencia del ecobrick con su posible uso.



La **Grafica 3**, muestra que uso podría dársele al ladrillo según el **Cuadro 5**, donde se encuentran los valores mínimos de resistencia para adoquines tipo I, II, y III. Este material hace parte de la clasificación tipo II y III, puede usarse para oficios de abrasión intermedia que son tiendas y calzadas exteriores, como también en abrasión baja como pisos y patios unifamiliares. Podría usarse como tipo I aunque está por debajo del límite por 0,8 MPa, pero si se observa el comportamiento individual de estos ladrillos más del 50% de ellos sobrepasa la resistencia mínima por 3 MPa hasta 12,7 MPa. La muestra cuatro al ser enviada al laboratorio ya presentaba unas grietas en su superficie en comparación con las otras unidades de Ecobricks, de acuerdo a lo anterior es posible que por esta razón su resistencia fuera tan baja, afectando el promedio de las cinco muestras evaluadas.

Se tendría que trabajar en la patología de los ladrillos y aplicarla al control de calidad de estos, para segregar los que puedan estar por debajo de 55,2 MPa de resistencia por grietas o poros profundos.

Según la patología de los ladrillos, los defectos por cocción como grietas, pueden originarse por diferentes razones, una es si el horno no alcanza la temperatura necesaria para generar la vitrificación, por estar menos tiempo del requerido para su cocción, o finalmente si la temperatura excede la necesaria para que se dé la correcta cocción de material.

“Cuando no se forman las fases vítreas, no se alcanza la resistencia mecánica adecuada. La fase vítrea es un fenómeno que sucede durante el horneado, donde las altas temperaturas forman vidrio líquido rellenando los poros del ladrillo

generando una estructura uniforme y resistente”<sup>13</sup>, estas fases vítreas suelen aumentarse con aditivos formadores. Para los ladrillos que produjeron con lodo, si se formaron estas fases debido a que estos no presentaron baja resistencia a la compresión, por el contrario esta mejoro con la dosis de lodo, podría asegurarse que el lodo sirve como un aditivo formador y por su alto contenido en hierro presenta una estructura ordenada y estable al momento de la cocción.

Los defectos de grietas que presentaron algunos ladrillos con lodo, se atribuye a muy altas temperaturas de horneado, ya que es una operación manual durante tiempos prolongados, teniendo lugar a descuidos del proceso y como también se pudo agregar demasiado carbón, aumentando drásticamente la temperatura del horno afectando los ladrillos.

Estos resultados obtenidos, aseguran que si es posible el uso del lodo de tratamiento de aguas crómicas como materia prima para ladrillo, debido a la mejora de las propiedades mecánicas, como también físicas en cuanto a color del material.

La coloración del adoquín fue el parámetro más importante, ya que el diseño de las mezclas y sus proporciones se desarrollaron por el contenido de hierro que tendría el ladrillos terminado, el 4% de lodo es el porcentaje optimo ya que genero la pigmentación buscada al igual que fue la cantidad apropiada para no afectar la superficie ni las características del adoquín.

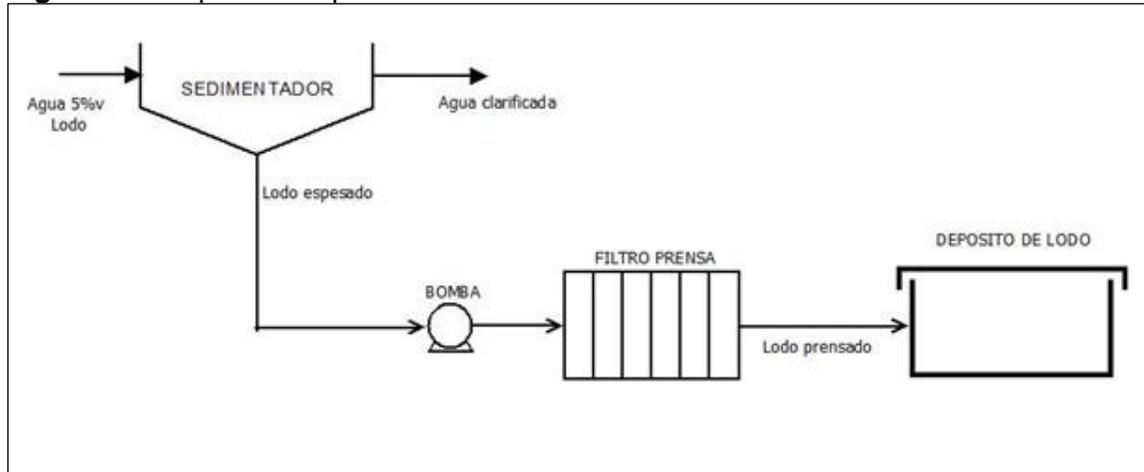
---

<sup>13</sup> INGENIERÍA DE CONSTRUCCIÓN. The influence of the addition of calcium carbonate on the Energy Efficiency of fired caly bricks manufacture. 2007. p. 34.

## 5. DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS PARA LA PROPUESTA DESARROLLADA

Los equipos requeridos para el proceso se dimensionan según el volumen de agua que puede tratar la planta, lo que significa una capacidad de 5 m<sup>3</sup>/h de agua con un contenido del 5% de lodos. En la **Figura 27** se observa el proceso de adecuación del lodo.

**Figura 27.** Esquema del proceso de adecuación del lodo.



Los equipos que se contempla en esta propuesta, solo llegan hasta el punto de adecuar el lodo como materia prima, sedimentado, deshidratado y listo para ser usado en la fabricación de ladrillo.

El dimensionamiento de los equipos se realizó basándose en la naturaleza del lodo. Según la literatura, “los lodos que son floculo de hierro pueden ser clasificados como un lodo primario”<sup>14</sup> ya que es un lodo químico estable cumpliendo con las características que el autor menciona.

### 5.1 TANQUE SEDIMENTADOR

El agua proveniente de los reactores electroquímicos se encuentra coagulada por los efectos de la electrocoagulación que se da por la acción del hierro presente en los ánodos. Partiendo de esto se asume una sedimentación química, que puede dimensionarse igual a una sedimentación primaria.

<sup>14</sup>ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y principios de diseño. Bogotá. Escuela Colombiana de Ingeniería.2008. p. 647.

**5.1.1 Área del sedimentador.** El área del sedimentador se calcula para el caudal promedio de agua, se asume lo siguiente presentado en el **Cuadro 7**.

**Cuadro 7.** Cargas superficiales para sedimentación química.

Suspensión	Carga superficial, m/d
Floc de hierro	28-33

**Fuente:** ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y principios de diseño. Bogotá. Escuela Colombiana de Ingeniería.2008. p. 647.

- Calculo del caudal para una operación de la planta de 24 horas.

$$Q = 5 \frac{m^3}{h} * \frac{24 h}{1 dia} = 120 m^3 / dia$$

- Calculo del área para la operación de 24 horas con el caudal promedio utilizando la **Ecuación 1** presentada a continuación.

**Ecuación 1.** Calculo del área del sedimentador

$$A = \frac{Q}{V_{sc}}$$

**Fuente:** ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y principios de diseño. Bogotá. Escuela Colombiana de Ingeniería.2008. p.646.

Dónde:

- Q= el caudal de operación.m<sup>3</sup>/d
- V<sub>sc</sub>= carga superficial de sedimentación. m/d

$$A = \frac{120 m^3 / dia}{33 m / dia} = 3,6 m^2$$

- Cálculo del diámetro del sedimentador utilizando la **Ecuación 2** presentada a continuación.

**Ecuación 2.** Cálculo del diámetro para el sedimentador.

$$\phi = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}}$$

**Fuente:** ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y principios de diseño. Bogotá. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2008. p.646.

Donde:

- $\phi$  = diámetro del sedimentador.
- A = área del sedimentador

El diámetro se calcula con el área del sedimentador para el caudal promedio de agua.

$$\phi = \sqrt{\frac{4 * 3,6m^2}{\pi}} = 2,14 m$$

**5.1.2 Volumen del sedimentador.** El volumen, se calcula asumiendo una altura del sedimentador de 3 m, comercialmente es más económico al igual que para la carga superficial que se tomó en el diseño la altura de los sedimentadores deben estar entre 3 y 4 metros de altura. En la **Ecuación 3** se presenta el cálculo del volumen del sedimentador.

**Ecuación 3.** Volumen del sedimentador.

$$V = A * H$$

$$V = 3,6 m^2 * 3m = 7,2 m^2$$

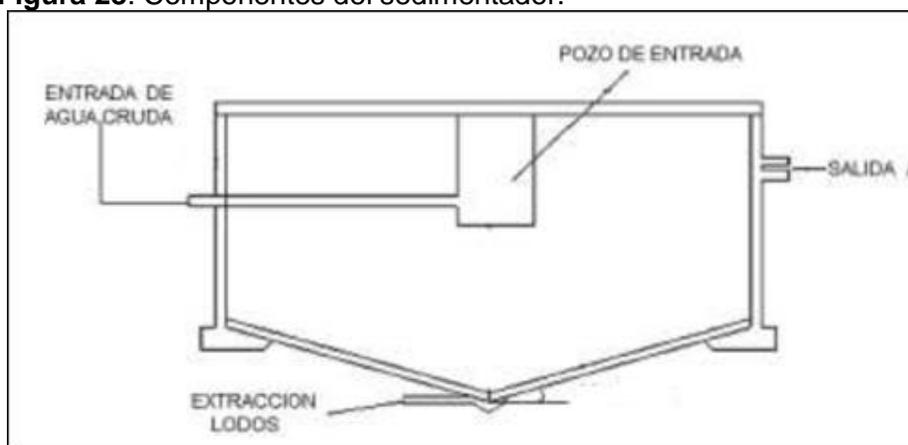
**5.1.3 Tiempo de retención.** Se calcula el tiempo de retención necesario en el sedimentador para clarificar el caudal de agua del efluente. Para este tipo de sedimentadores y el lodo que se maneja, son típicos tiempo de retención de 1 a 2 horas, esto se observa en la **Ecuación 4** presentada a continuación.

**Ecuación 4.** Calculo del tiempo de retención del sedimentador.

$$\theta = \frac{V}{Q}$$
$$\theta = \frac{7,2m^3}{120 m^3/d} * \frac{24 h}{1 dia} = 1,44 h$$

La **Figura 28** presenta los componentes del sedimentador.

**Figura 28.** Componentes del sedimentador.



**Fuente:** UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA: ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE. GOMEZ RENDON, Claudia Patricia. Manejo de aguas residuales en pequeñas comunidades. 2012. p. 85.

**5.1.4 Bomba de lodos.** Para el diseño de la bomba, se debe tener en cuenta los siguientes criterios.

- **Caudal máximo.** Para todo el diseño del proceso de adecuación del lodo se ha manejado el valor pico de caudal de agua que trata la planta, evitando inconvenientes o insuficiente capacidad de los equipos.

$$Q = 5 m^3/h$$

- **Presión.** Se recomienda para este tipos de fluidos que tienen una carga de solidos de 20g/l, ser manejados con bombas de alta presión entre 1.000 y 2.000 kPa.

- **Tamaño de partícula.** La mayoría de bombas de lodos en el tratamiento de aguas maneja un rango de tamaño de partícula de 0,1 a 8 mm, los lodos de electrocoagulación contienen partículas de menos de 1  $\mu\text{m}$  (0,001 mm). Se evitaría el rápido desgaste de estas al igual que su operación sería más ligera.
- **Carga de sólidos.** Con la **Ecuación 5** presentada a continuación es posible determinar la carga de sólidos requerida.

**Ecuación 5.** Carga de sólidos.

$$m = \rho * v$$

Donde:

- $m$ = masa de lodo.
- $\rho$ = Densidad del lodo determinado en la caracterización.
- $v$  = volumen de lodo calculado en el aforo de lodos.

Como se observa en la **Tabla 4**, por volumen se tiene un contenido de 5% en volumen de sedimento, lo que significa 50 ml de lodo. Tomando este valor experimental y con la densidad del lodo que se encuentra en los resultados de la caracterización del **Cuadro 1** se calcula la masa de lodos húmedos en el agua.

$$m = 0,39 \text{ g/ml} * 50 \text{ ml} = 19,5 \text{ g/ml}$$

Teniendo esta masa de solidos se define una concentración aproximada de lodos húmedos

$$C_{sH} \cong 20 \text{ g/l}$$

Este valor fue corroborado por análisis fotométrico y el contenido era de 17,5 g/L de sólidos suspendidos.

## 5.2 FILTRO PRENSA

Al igual que para el diseño del sedimentador, se asumieron ciertos parámetros iniciales por la naturaleza del lodo tratado presentados en la **Cuadro 8**.

**Cuadro 8.** Rendimientos típicos de filtros prensa.

Tipo de lodo	% de sólidos del efluente	Carga por metro de ancho de correa		Dosis de polímero g/kg de sólidos secos	% de sólidos en la torta	
		L/min	Kg/h		Típico	Intervalo
Espesado	4-8	40-190	135-225	2-8	18	12-25

**Fuente:** ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y principios de diseño. Bogotá. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2008. p. 627.

La producción total de lodos se calcula de la misma manera en que se hizo para la bomba en el numeral anteriormente descrito.

$$m = 0,39 \text{ g/ml} * 50 \text{ ml} = 19,5 \text{ g/ml}$$

Para una operación de 7 días a la semana, se calcula la carga de sólidos por metro cúbico y se escala utilizando la **Ecuación 6** presentada a continuación.

**Ecuación 6.** Carga de sólidos por metro cúbico.

$$P_s = Q_s * 7 \text{ dias}$$

Dónde:

- $Q_s$ = caudal de sólidos.
- $P_s$ = producción de sólidos por semana de trabajo.

Para determinar el caudal de sólidos se debe conocer la concentración de sólidos para la operación del filtro prensa por semana, se realiza el siguiente cálculo donde se contempla el porcentaje de humedad que presenta el lodo, este dato se encuentra reportado en la **Tabla 2**, en los resultados de la caracterización del lodo.

La **Ecuación 7** representa la relación que permite determinar los sólidos espesados.

**Ecuación 7.** Concentración de sólidos secos

$$C_s = C_{sH} - \left( \frac{C_{sH} * \%H}{100\%} \right)$$

$$C_s = 20 \text{ kg/m}^3 - \left( \frac{20 \text{ kg/m}^3 * 81,5}{100\%} \right) = 3,7 \text{ kg/m}^3$$

Donde:

- $C_s$ = concentración de sólidos secos.
- $C_{sH}$ = concentración de sólidos húmedos.
- $\%H$  = porcentaje de humedad aproximado que tendrían los lodos.

Teniendo la concentración de sólidos se calcula el caudal diario de lodos que procesaría el filtro prensa y para una semana de operación la producción semanal de sólidos

$$Q_s = Q * C_s$$

$$Q_s = 120 \text{ m}^3/\text{dia} * 3,7 \text{ kg/m}^3 = 444 \text{ kg/dia}$$

$$P_s = 444 \text{ kg/dia} * 7 \text{ dia/semana} = 3108 \text{ kg/semana}$$

**5.2.1 Producción de lodos semanal.** Se calcula la producción de sólidos húmedos para determinar el volumen que debe manejar el filtro prensa por semana de trabajo, se maneja la misma **Ecuación 6** anteriormente presentada pero el caudal volumétrico de sólidos.

$$P_L = 120 \text{ m}^3/\text{d} * 7 \text{ dia/semana} = 840 \text{ m}^3/\text{semana}$$

**5.2.2 Tiempo de operación.** Para este cálculo se asume una capacidad de 115 L/min del **Cuadro 5** y se emplea la **Ecuación 8** presentada a continuación.

**Ecuación 8.** Tiempo de operación.

$$\theta = \frac{P_L}{\text{Capacidad}}$$

$$\theta = \frac{840 \times 10^3 \text{ L/semana}}{6900 \text{ L/m.h}} = 121 \text{ h.m/semana}$$

Dónde:

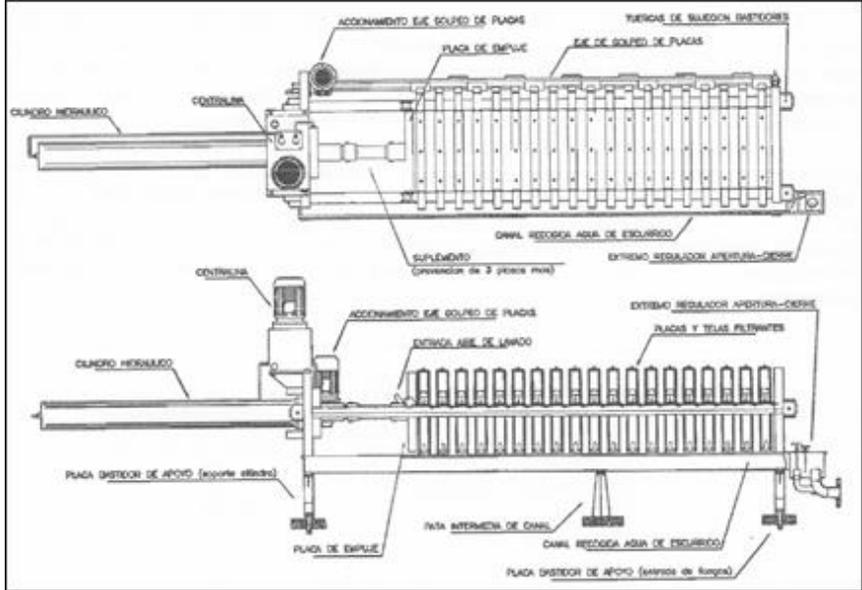
- $\theta$  = periodo de tiempo h/semana.
- $P_L$  = producción de lodos semanales L/semana.
- Capacidad = capacidad de manejo de lodos por metro de correa L/ min.

Se calcula el periodo de operación diaria para un filtro con ancho de correa de 1m, 2m y 3m con 6 días de operación.

$$\begin{aligned}
 t_{1m} &= \frac{121 \text{ h.m/semana}}{1m * 6 \text{ d/semana}} = 20,16 \text{ h} \\
 t_{2m} &= \frac{121 \text{ h.m/semana}}{2m * 6 \text{ d/semana}} = 10 \text{ h} \\
 t_{3m} &= \frac{121 \text{ h.m/semana}}{3m * 6 \text{ d/semana}} = 6,7 \text{ h}
 \end{aligned}$$

Se calcula para estos tres diferentes ancho de corra, para comparar eficiencia con el costos de filtro, en la **Figura 29** se observa la filtro prensa.

**Figura 29.** Filtro prensa.



Fuente: HIDROMETALICA. Equipos para tratamientos de aguas y reciclaje de residuos. Disponible en: <https://http://hidrometalica.com/filtros-de-prensa/>.

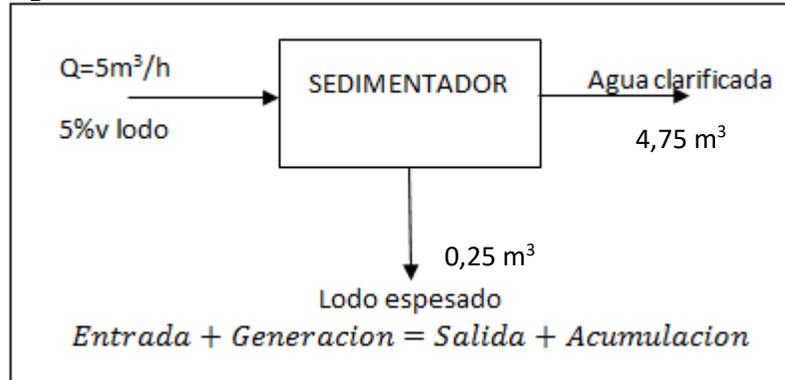
**5.2.3 Almacenamiento de lodos.** El almacenamiento de lodos se puede realizar en un cuarto de cuatro metros cuadrados cubiertos con un desnivel y rejilla como plan de contingencia para posibles lixiviado de los lodos.

**5.3 BALANCE DE MASA**

El balance de masa se hace para las tres unidades de proceso, sedimentador, filtro prensa y mezclador. Para el balance se toma el caudal de agua tratada que maneja la planta de tratamiento de agua que es 5 m<sup>3</sup>/h.

**5.3.1 Sedimentador.** La **Figura 30** presenta balance de masa realizado en el sedimentador.

**Figura 30.** Balance de masa en el sedimentador.



- **Generación.** La generación no se da lugar en este proceso ya que no hay reacción, no se producen nuevos componentes.
- **Acumulación.** No se contempla acumulación en el proceso lo que se busca es el aprovechamiento total del lodo.

La **Ecuación 8** presenta el balance de masa realizado en el sedimentador.

**Ecuación 9.** Balance de masa en el sedimentador.

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

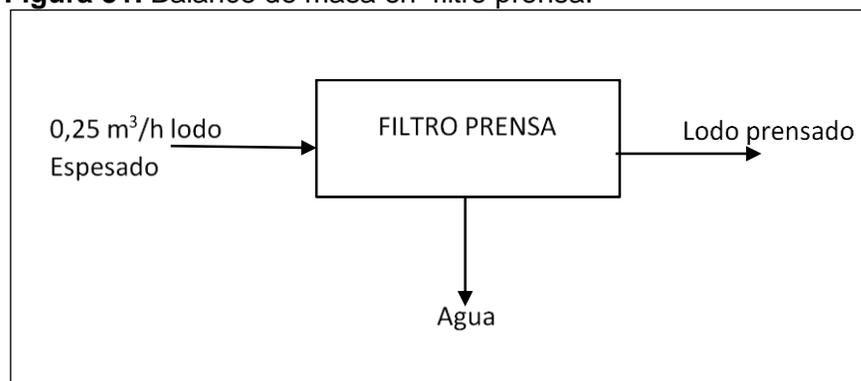
$$5\text{m}^3 = 4,75\text{m}^3\text{agua clarificada} + 0,25\text{m}^3\text{lodo espesado}$$

Los  $0,25\text{ m}^3$  del lodo espesado, contienen  $18,5\text{ kg}$  de solidos que son el total de solidos presentes en los  $5\text{m}^3$  agua tratada, valor que se obtiene por la concentración de solidos expresada en la **ecuación 7**.

$$5\text{ m}^3 * 3,7\text{ kg/m}^3 = 18,5\text{ kg}$$

**5.3.2 Filtro prensa.** La **Figura 32** presenta balance de masa realizado en el filtro prensa.

**Figura 31.** Balance de masa en filtro prensa.



Del balance total para este proceso, los términos de generación y acumulación no se contemplan por las mismas razones que no se dan en el sedimentador del numeral anterior teniendo la **Ecuación 10** presentada a continuación.

**Ecuación 10.** Balance de masa en la filtro prensa.

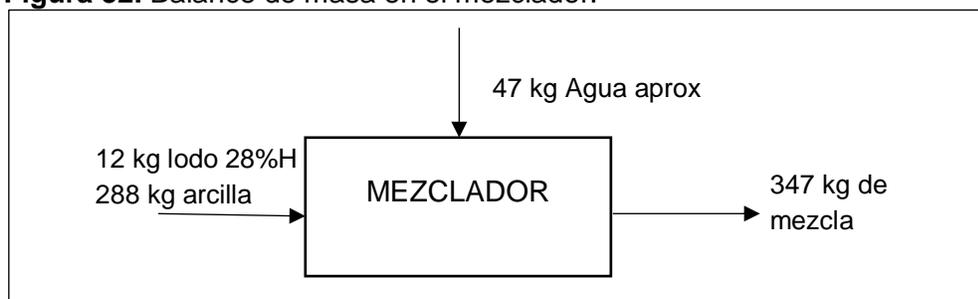
$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$
$$0,25 \text{ m}^3 \text{ lodo espesado} = 0,06 \text{ m}^3 \text{ lodo prensado} + 0,19 \text{ m}^3 \text{ agua}$$

El volumen del lodo se calcula asumiendo que este sale del filtro prensa con una humedad del 28% y la densidad reportada en la **Tabla 2**.

$$\text{lodo prensado} = 18,5 \text{ kg} + 5,18 \text{ kg agua} = 23,7 \text{ kg lodo prensado}$$
$$V_{\text{Lodo prensado}} = \frac{23,7 \text{ kg lodo prensado}}{390 \text{ kg/m}^3} = 0,06 \text{ m}^3$$

**5.3.3 Mezclador.** Esta unidad de proceso hace parte de la fabricación del ladrillo, pero se muestra para mostrar cómo sería la mezcla del lodo y la arcilla en este proceso. Para el balance de masa en el mezclador se toma la capacidad de 100 unidades de ladrillo con el 4% de lodo. El esquema se observa en la **Figura 32**.

**Figura 32.** Balance de masa en el mezclador.



Para el balance en el mezclador tampoco se contempla acumulación ni generación. La **Ecuación 10** muestra el balance de esta unidad.

**Ecuación 11.** Balance de masa en el mezclador.

$$\text{Entrada} = \text{salida}$$
$$12 \text{ kg lodo} + 288 \text{ kg arcilla} + 47 \text{ kg agua} = 347 \text{ kg}$$

## 6. COSTO DE LA PROPUESTA

El costo de la propuesta se hizo a partir de los costos de mano de obra, equipos y demás servicios que pueda requerir la propuesta de adecuación de los lodos a materia prima para ladrillo.

### 6.1 SELECCION DE EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

Para la selección de equipos se evaluaron parámetros técnicos, al igual que recomendación de los proveedores.

**6.1.1 Filtro prensa.** Para la deshidratación del lodo se propone el uso de un filtro prensa, se tienen tres tipos diferentes de cotizaciones de filtros prensa por correa, placas y multiplicas. En el **Cuadro 9.** Se comparan los diferentes criterios de selección

**Cuadro 9.** Comparación de filtros prensa.

Ítem	Filtro prensa de correa	Filtro prensa de placas	Filtro prensa de tornillo
Operador necesario	Si	Si	Si
Humedad en la torta del filtro	40%-60%	28%-45%	25%-35%
Sedimentación y floculación	Si	No	No
Costo del equipo(FOB)	\$105'404.943	\$84'467.144	\$101'320.000
Equipos adicionales	Si	No	No

Para elegir de manera correcta el filtro prensa se realizó una matriz de decisión donde se estiman los criterios de decisión y también se le otorga un valor a su importancia. Esto se observa en el **Cuadro 10.**

**Cuadro 10.** Porcentaje de importancia de los criterios de selección.

Criterios de selección	Porcentaje de importancia (%)
Inversión	25
Costos de operación	15
Eficiencia del equipo	15
Área requerida	10
Mantenimiento	15
Facilidad de operación	10
Seguridad Industrial	10

Los criterios de inversión y costo de operación se van a enfocar a los precios de cada filtro prensa, al igual que los costos de los demás equipos que requiere cada uno para su funcionamiento. También se evalúa sobre todos ello la operación y el mantenimiento, a medida en que aumentan los equipos este costo aumenta. Cada criterio se calificara mediante los siguientes valores expresados en el **Cuadro 11**.

**Cuadro 11.** Calificación de los criterios de selección.

Clasificación	Calificación
Excelente	5
Bueno	4
Aceptable	3
Regular	2
Malo	1

Cada criterio se calificó (C) y dicho valor se multiplicó por su porcentaje de importancia (I) correspondiente, para al final realizar la sumatoria de todos los factores y así determinar cuál alternativa es la más viable. Los resultados de estos criterio y su importancia se observan en la **Tabla 11**.

**Tabla 11.** Matriz de decisión

Criterio de selección	Filtro prensa de correa		Filtro prensa de placas		Filtro prensa tornillo	
	C	C*I	C	C*I	C	C*I
Inversión	2	0,50	3	0,75	2	0,50
Costos de operación	2	0,30	4	0,60	4	0,60
Eficiencia del equipo	3	0,45	3	0,45	4	0,60
Área requerida	2	0,20	3	0,30	4	0,40
Mantenimiento	2	0,30	4	0,60	3	0,45
Facilidad de operación	3	0,30	4	0,40	4	0,40
Seguridad Industrial	4	0,40	4	0,40	4	0,40
TOTAL		2,45		3,50		3,35

Según lo obtenido en la anterior matriz de decisión, la alternativa más objetiva según los criterios analizados es el filtro prensa de placas.

- **Sedimentador.** Para este equipo se eligió un tanque de PVC de doble capa con protección UV, cónico. La protección UV y el número de capas de la pared se recomendó para garantizar la durabilidad del tanque.
- **Bomba de lodos.** La bomba seleccionada para la propuesta fue una bomba autocebante de 2 HP capaz de manejar solidos de hasta 15 mm y fluidos viscosos. Se seleccionó de este modo para garantizar que el agua se transportara adecuadamente y la capacidad de la bomba no se disminuyera por efecto de la carga de sólidos.

- **Materiales adicionales.** Las tuberías, válvulas y accesorios son en PVC de 2 pulgadas, se emplea soldadura de PVC para el acoplamiento de todas las piezas.

## 6.2 COSTOS DE LA INVERSON

Es el costo inicial que se debe tener en cuenta para la instalación física de un proyecto, en este caso, el sistema de deshidratación del lodo.

**6.2.1 Costos de equipos y materiales.** En la **Tabla 12** se referencia el costo de los equipos seleccionados y los materiales para realizar el montaje. Se encuentran los precios sin IVA, y con IVA también el precio por unidad y el precio total de todas las unidades.

**Tabla 12.** Costos de equipos.

Equipo	Especificación	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Filtro prensa	Placas	1	\$ 84.476.144	\$ 84.476.144
Bomba	Autocebante de 2HP	1	\$ 863.600	\$ 863.600
Tanque	PVC 5000L	1	\$ 373.000	\$ 373.000
Tubería	PVC de 2"	5	\$ 53.676	\$ 268.380
Válvulas	Bola PVC 2" con doble universal	4	\$ 61.855	\$ 247.420
<b>Subtotal</b>				\$ 86.228.544
<b>IVA</b>				\$ 13.796.567
<b>transporte</b>				\$ 230.000
<b>TOTAL</b>				\$ 100.255.111

Se asume un costo de flete de transporte promedio para llevar los equipos a lugares como Mosquera, Funza, Sopo o Cajicá. Al costo de los equipos debe sumarse el valor del arancel del 8% del valor del filtro prensa que es \$6.758.092 COP para un total de \$107.013.202 COP

**6.2.2 Costos de mano de obra para la construcción.** En este costo interviene la mano de obra de 2 operarios para labores de plomería, acople de equipos y construcción en general. Para la calibración de equipos y supervisión de la obra se maneja el costo de un ingeniero o técnico que haga esta labor. Estos costos se organizaron en la **Tabla 13**.

**Tabla 13.** Costos de mano de obra.

Perfil del empleado		Operario	Ingeniero
Tiempo contratado		3 meses	1 mes
Cantidad		2	1
Salario		\$ 689.455	\$ 1.200.000
Subsidio de transporte		\$ 77.700	\$ 77.700
Prestaciones sociales	21,83%	\$ 150.508	\$ 261.960,00
Aportes a pensión	12,00%	\$ 82.735	\$ 144.000,00
Aportes ARL	2,44%	\$ 16.823	\$ 29.280,00
Aporte caja de compensación	4,00%	\$ 27.578	\$ 48.000,00
Valor mes empleado		\$ 1.044.799	\$ 1.760.940,00
Subtotal		\$ 3.134.396	\$ 1.760.940,00
TOTAL		\$ 4.895.335,59	

El salario mínimo vigente para los operarios será de \$689.455,00 y para el ingeniero o técnico se asumió un salario de \$1.200.000,00. El ingeniero hace el papel de interventor de la instalación física de la obra.

El costo total de inversión de la propuesta sería

$$\$107.013202 COP + \$4.895.335,59 COP = \$111.908.538,1 COP$$

### 6.3 COSTO ANUAL DEL PROCESO

Los costos anuales son los gastos que se tienen a lo largo de todo el año para la operación de los equipos, no se contempla el salario de una persona ya que se cuenta con un operario de planta para el tratamiento de aguas solo tendría que verificar el proceso y el manejo de los lodos ya hace parte de sus funciones. Para este costo anual se tiene en cuenta el consumo energético de los equipos. Los resultados se encuentran en la **Tabla 14**. Para empresas en Bogotá el Kw/h cuesta \$492,7542.

**Tabla 14.** Costos de energía anual.

Ítem	Valor unitario	Cantidad	Valor anual
Energía filtro prensa	\$ 492,7542 /kW	6 kW/h	\$ 15.965.236,1
Energía bomba	\$ 492,7542 /kW	2,9 kW/h	\$ 7.769.748,2
TOTAL			\$ 23.734.984,3

## 6.4 COSTOS DE LA DISPOSICIÓN

Se compara el costo de la disposición actual con los posibles costos si se implementa el proceso de adecuación de los lodos como materia prima.

**6.4.1 Disposición actual.** Actualmente la disposición de los lodo tiene un costo de \$800 pesos por kilo, en la **Tabla 15** se especifica cuanto representa al año la disposición teniendo que se hace una producción de 25 toneladas al mes.

**Tabla 15.** Costo anual de disposición en celda de seguridad.

Ítem	Valor unitario	Cantidad/mes	Valor mensual	Valor anual
Lodo	\$ 800	25000 kg	\$ 20.000.000	\$ 240.000.000

Esta cantidad de lodos corresponde al tratamiento fisicoquímico, por esta razón es que los sólidos son tan altos situación que cambia notablemente con el proceso de electrocoagulación.

La empresa que hace la disposición, recoge los lodos en la planta donde se producen y los lleva a Mondoñedo donde se encuentra el relleno de seguridad.

**6.4.2 Costo nueva forma de disposición.** En los costos de la nueva forma de disposición no se involucra el proceso de fabricación, porque no se modifica el proceso son costos que permanecen constantes, también no hace parte de la educación del lodo.

Con la ladrillera se acordó que, podría manejarse un costo de \$500/ kg. Si se hace de esta manera el costo anual por la disposición de los lodos se encuentra en la **Tabla 16**.

**Tabla 16.** Costo de reutilización como materia prima.

Ítem	Valor unitario	Cantidad/mes	Valor mensual	Valor anual
Lodo	\$ 500	12432 kg	\$ 6.216.000	\$ 74.592.000

Con el nuevo tratamiento de aguas se reducen los lodos en un 87% y por ello el costo de disposición como se ve en la **Tabla 16** en comparación con la **Tabla 15** es significativamente menor.

En la **Tabla 17**, se hace la comparación del costo de continuar enviando el lodo de electrocoagulación a celdas de seguridad o ser empleado como materia prima.

**Tabla 17.** Comparación costos de disposición como materia prima y celda de seguridad.

Modo de disposición	Valor kilo	Cantidad/mes	Valor mensual	Valor anual
Celda de seguridad	\$ 800	12432 Kg	\$ 9.945.600	\$ 119.347.200
Materia prima	\$ 500	12432 Kg	\$ 6.216.000	\$ 74.592.000

Si se implementa esta alternativa, el ahorro anual es de \$44.755.200, se sigue obteniendo un ahorro significativo en la disposición. Con la **Tabla 18** se puede estimar en cuanto tiempo se recuperaría la inversión si se implementa esta alternativa en caso puntual de esta planta de tratamiento.

Para calcular el tiempo en que se vería amortizada esta inversión, se tomó como flujo de efectivo el ahorro anual que se obtendría de implementarse la opción de disponer el lodo como materia prima. También se estima el valor presente neto con una tasa de descuento anual del 15%.

**Tabla 18.**Recuperación de la inversión.

Año	Flujo de efectivo	Valor presente	Tasa de descuento anual
0	-\$ 111.908.538	-\$111.908.538,00	15,00%
1	\$ 44.755.200	\$ 38.917.565,22	
2	\$ 44.755.200	\$ 33.841.361,06	
3	\$ 44.755.200	\$ 29.427.270,49	
4	\$ 44.755.200	\$ 25.588.930,86	
	Valor presente neto	\$ 15.866.589,62	

Observando los resultados de la **Tabla 18**, el valor presente neto demostró que en cuatro años se vería amortizada la inversión, lo que significa la viabilidad de implementar el proyecto como y también como opción ambiental. Al igual que la disminución del pasivo ambiental es un intangible que a futuro disminuye el riesgo de multas por responsabilidad sobre una celda de seguridad.

## 7. CONCLUSIONES

- De acuerdo a la caracterización de los lodos provenientes del proceso de electrocoagulación para aguas crómicas de la planta STARTWATER, se determinaron las características físicas y composición química de los lodos, obteniendo un 46% de hierro, parámetro primordial para el desarrollo del estudio, al igual que el análisis de metales pesados demostró que es una matriz valorizable. Los demás parámetros del análisis, indicaron que el lodo se encontraba fuera de los límites de la norma agrícola para remediación de suelos o uso como compostaje.
- El alto contenido en metales pesados principalmente el hierro, fue el aspecto determinante para el diseño de las mezclas M1, M2 y M3 para los ladrillos fabricados en este estudio. El hecho de que la matriz de hierro fuera tan estable le mejoro las características físicas al producto haciéndolo más resistente a la compresión mecánica, teniendo como resultado que el ladrillo común obtuvo un promedio 51,9 MPa de resistencia y el Ecobrick 54,4 MPa.
- Se determinaron los requerimientos técnicos y el dimensionamiento de cada uno de los equipos a utilizar en la propuesta de adecuación de lodos como materia prima para fabricación de ladrillos, los cuales son sedimentador, bomba de lodos, deshidratador o filtro prensa y el tanque de almacenamiento.
- El costos total de la inversión fue de \$111'908.538 este valor contempla el filtro prensa, la bomba para lodos y todos los demás insumos y equipos que requiere la obra. también se tuvo en cuenta los requerimientos de personal para la construcción y un ingeniero o técnico para la supervisión de la obra.

## 8. RECOMENDACIONES

- Se sugiere realizar otros estudios para utilizar el lodo en productos como: pinturas, cerámica roja, en la industria del vidrio o industria cementera.
- Se recomienda verificar en la operación, que los lodos no sean mezclados con lodos que contengan cal o soda caustica, porque afecta la estabilidad de la matriz y evitar la mezcla con productos clorados ya que en el momento de la se da una volatilización a temperaturas más bajas de metales como plomo, cromo y níquel.
- Se sugiere que el horneado de estos ladrillos se realice a temperaturas más bajas, ya que el exceso de temperatura puede causar grietas en el producto final afectando su resistencia.
- Es recomendable realizar varios lotes de la mezcla M2, para disminuir el error en el muestreo. Según la NTC- 4017 se deben tomar 5 unidades por cada veinte mil ladrillos, para este estudio solo se hicieron 500 y los resultados en la resistencia se vieron afectados por fallas en la muestra representativa.
- Se requiere un análisis estadístico, que permita identificar la falla del muestreo y como podría mejorarse para próximas pruebas de calidad.
- Se sugiere a STARTAWATER desarrollar un plan de negocios que incluya una forma de comercialización de lodo como materia prima de manera directa con la ladrillera, para que el costo de la disposición se reduzca.
- Se propone que los equipos y dimensiones de esta propuesta, puedan escalarse a otras plantas de tratamiento de aguas STARTWATER que tengan diferentes caudales de agua.
- Es recomendable realizar un análisis de toxicidad de los ladrillos por medio de una lixiviación, para garantizar la inertización de metales como cadmio, plomo, cromo hexavalente y otros componentes.
- Se recomienda colocar un medidor de flujo de agua en la etapa de mezclado en la ladrillera, para evitar excesos de humedad en los ladrillos y por consecuente defectos en el producto final.
- Se propone realizar un análisis para determinar si ciertamente se generan las fases vítreas en los ladrillos y comprobar si el lodo favorece este parámetro.
- Se aconseja realizar un análisis de poder calorífico a los lodos y si es posible modificar las temperaturas del proceso para el horneado de los ladrillos.

## BIBLIOGRAFÍA

ANDREOL, F. *Et al.* Physical-chemical characterization of a galvanic sludge and its inertization by vitrification using container glass. En: WIT Transactions on Ecology and the Environment. Vol. 92. 2006. 30 p.

BADR EL-DIN, E; HEGAZY, Hanan A Fouad y AHMED, M Hassanain. Brick Manufacturing From Water Treatment Sludge And Rice Husk Ash. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. [En línea: <[www.sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/](http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/)>]. ISSN 1991-8178.

CASTAÑO, J.G; ARROYAVEV, C. La funcionalidad de los óxidos de hierro. Medellín: Revista de metalurgia, 1997. 170 p.

CORANTIOQUIA. Términos de referencia para la elaboración de estudios de impacto ambiental para la realización de proyectos de tratamiento y disposición final de residuos especiales, peligrosos y tóxicos. Medellín, [En línea: [tioquia.gov.co/sitios/ExtranetCorantioquia/SiteAssets/TerminosdeReferenciaparaRelenosdeSeguridad.pdf](http://tioquia.gov.co/sitios/ExtranetCorantioquia/SiteAssets/TerminosdeReferenciaparaRelenosdeSeguridad.pdf)]. 2000.

GILARRANZ REDONDO, Miguel Ángel. Sedimentación. Guiones de laboratorio. Universidad Autónoma de Madrid. Ingeniería Química. [En línea: <[https://www.uam.es/personal\\_pdi/ciencias/mgilarra/Fluid/Sedimentacion%202006-2007.pdf](https://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/mgilarra/Fluid/Sedimentacion%202006-2007.pdf)>]. 2006.

INGENIERÍA DE CONSTRUCCIÓN, The influence of the addition of calcium carbonate on the energy efficiency of fired clay bricks manufacture. Vol. 22, No. 3, 2007. 60 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y DE CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Sexta actualización. Bogotá: El instituto, 2008. 110 p.

- - - - - . Referencias bibliográficas, contenido, forma y estructura. NTC 4490. Bogotá: El Instituto, 1998, 12 p.

- - - - - . Referencias documentales para fuentes de informaciones electrónicas. NTC 5613. Bogotá: El Instituto, 1998. 8 p.

JOHNSON, O. A; NAPIAH, M. y KAMARUDDIN, I. Potential uses of Waste Sludge in Construction Industry: A Review. En: Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. Vol. 8, No 4, 2014. 750 p.

MAGALHÃES, J.M; SILVA, J.E; CASTRO, F.P y LABRINCHA, J.A. Journal of Hazardous Materials. Effect of experimental variables on the inertization of galvanic sludges in clay-based ceramics. 2004. 147 p.

MINISTERIO DE FOMENTO. Aprovechamiento de fangos de depuradora. España, 2013. 150 p.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE DE COLOMBIA. Análisis Sectorial de Residuos Sólidos en Colombia. Abril de 1996; 26 de Agosto 1999. [En línea: <<http://www.bvsde.paho.org/eswww/fulltext/analisis/colombia/colombia6.html>>]

MORALES GUETO, Juan. Tecnología de los materiales cerámicos. España: Ediciones Díaz de santos, 2005. 73 p.

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y principios de diseño. Bogotá. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2008. 680 p.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, COLLAZOS, Julio. Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas e Industriales [En línea: <[http://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2013-09-07\\_10-54-35tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales\\_domesticas\\_e\\_industriales.pdf](http://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2013-09-07_10-54-35tratamiento_de_aguas_residuales_domesticas_e_industriales.pdf)>].

UTADEZA: UNION TEMPORAL DE EMPRESAS DE LA DEPURADORA DE ZARAGOZA. Incineración de lodos como alternativa en la línea de fangos de una Edar. [En línea: <<http://catedramin.unizar.es/files/conferencias/lodos2013/Palacios.pdf>>].

VAS. Disposición final en celdas de seguridad. Envigado. [En línea: <<http://www.evas.gov.co/index.php/servicios/disposicion-final-en-celdas-de-seguridad>>]. 2002.

## **ANEXOS**

## ANEXO A

### MARCHA ANALÍTICA ESPECTOQUANT Y TERMO REACTOR

Figura 1. Análisis de cromatos.

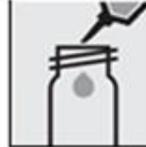
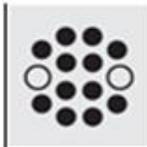
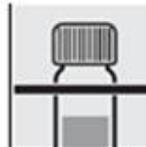
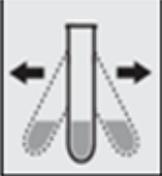
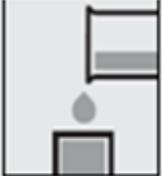
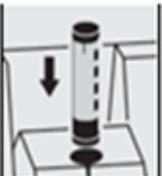
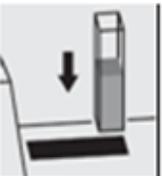
 <b>INDUSTRIAS ELECTROQUÍMICAS S.A.S</b>	ID-11-01	Página 1																			
<p><b>MATERIALES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- PIPETA 10 cm<sup>3</sup> TIPO A</li> <li>- CUBETAS ROSCADAS</li> </ul> <p><b>EQUIPOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- pH-METRO</li> <li>- TERMORREACTOR TR-420 MERCK</li> <li>- FOTOMETRO SPECTROQUANT NOVA 60</li> </ul> <p><b>REACTIVOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- SPECTROQUAN CRACK SET 10 MERCK</li> <li>- SPECTROQUAN TEST CROMATOS 14758</li> </ul>																					
<p><b>PROCEDIMIENTO</b></p> <table border="1" data-bbox="381 892 1388 1144"> <tr> <td data-bbox="381 892 503 1008">  </td> <td data-bbox="506 892 1185 1008" style="text-align: center;"> <h1>Cromatos</h1> <p>Determinación de cromo (VI)</p> </td> <td data-bbox="1188 892 1388 1008" style="text-align: center;"> <h1>14758</h1> <p>Test con reactivos</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="381 1039 503 1071">Intervalo</td> <td data-bbox="506 1039 722 1071">0,05 – 3,00 mg/l de Cr</td> <td data-bbox="725 1039 941 1071">0,11 – 6,69 mg/l de CrO<sub>4</sub></td> <td data-bbox="945 1039 1185 1071">cubeta de 10 mm</td> </tr> <tr> <td data-bbox="381 1075 503 1106">de medida:</td> <td data-bbox="506 1075 722 1106">0,03 – 1,50 mg/l de Cr</td> <td data-bbox="725 1075 941 1106">0,07 – 3,35 mg/l de CrO<sub>4</sub></td> <td data-bbox="945 1075 1185 1106">cubeta de 20 mm</td> </tr> <tr> <td></td> <td data-bbox="506 1110 722 1142">0,010 – 0,600 mg/l de Cr</td> <td data-bbox="725 1110 941 1142">0,02 – 1,34 mg/l de CrO<sub>4</sub></td> <td data-bbox="945 1110 1185 1142">cubeta de 50 mm</td> </tr> <tr> <td colspan="4" data-bbox="381 1146 1185 1155">                 Es posible expresar los resultados también en mmol/l.             </td> </tr> </table>				<h1>Cromatos</h1> <p>Determinación de cromo (VI)</p>	<h1>14758</h1> <p>Test con reactivos</p>	Intervalo	0,05 – 3,00 mg/l de Cr	0,11 – 6,69 mg/l de CrO <sub>4</sub>	cubeta de 10 mm	de medida:	0,03 – 1,50 mg/l de Cr	0,07 – 3,35 mg/l de CrO <sub>4</sub>	cubeta de 20 mm		0,010 – 0,600 mg/l de Cr	0,02 – 1,34 mg/l de CrO <sub>4</sub>	cubeta de 50 mm	Es posible expresar los resultados también en mmol/l.			
	<h1>Cromatos</h1> <p>Determinación de cromo (VI)</p>	<h1>14758</h1> <p>Test con reactivos</p>																			
Intervalo	0,05 – 3,00 mg/l de Cr	0,11 – 6,69 mg/l de CrO <sub>4</sub>	cubeta de 10 mm																		
de medida:	0,03 – 1,50 mg/l de Cr	0,07 – 3,35 mg/l de CrO <sub>4</sub>	cubeta de 20 mm																		
	0,010 – 0,600 mg/l de Cr	0,02 – 1,34 mg/l de CrO <sub>4</sub>	cubeta de 50 mm																		
Es posible expresar los resultados también en mmol/l.																					
<h3>PREPARACIÓN DE LA MUESTRA - DIGESTIÓN</h3>																					
 <p>Comprobar el valor de pH de la muestra (<b>EXTRACCIÓN DE RESIDUOS</b>), intervalo previsto: pH 1 - 9</p>	 <p>En caso necesario corregir el valor del pH añadiendo gota a gota solución diluida de hidróxido de sodio o ácido sulfúrico</p>	 <p>Pipetear 10 ml de la muestra en una cubeta redonda vacía</p>	 <p>Añadir una gota de R-1 cerrar con la tapa roscaada y mezclar</p>																		
 <p>Añadir una dosis de R-2 con el dosificador azul, cerrar firmemente con la tapa roscaada</p>	 <p><b>TERMORREACTOR</b> Introducir la cubeta y seleccionar el método 3 (disgregación a 120°C y 1 hora)</p>	 <p>Sacar la cubeta del TERMORREACTOR, dejar enfriar a temperatura ambiente.</p>	 <p>Después de enfriar la cubeta Añadir 3 gotas de R-3 y mezclar</p> <p style="color: blue;"><b>MUESTRA PREPARADA</b></p>																		

Figura 2. Análisis de cromo total.

ANÁLISIS DE CROMO TOTAL			
			
Comprobar el valor de pH de la muestra (MUESTRA PREPARADA), intervalo previsto: pH 1 - 8	En caso necesario corregir el valor del pH añadiendo gota a gota solución diluida de hidróxido de sodio o ácido sulfúrico	Introducir 2 microcápsulas, rasa de Cr-1 en un tubo de ensayo seco	Añadir 8 GOTAS DE Cr-2
			
Agitar intensamente el tubo para disolver la sustancia sólida	Añadir 10 ml de la MUESTRA PREPARADA y mezclar	Tiempo de resolución 1 minuto	Añadir la solución en la cubeta rectangular de 50 mm
	<b>CROMO TOTAL</b> CONFIGURAR EL EQUIPO EN PARAMETRO METODO PARA QUE CITE EL RESULTADO EN CROMO TOTAL Cr		REGISTRE EL RESULTADO OBTENIDO COMO Cr mg/l
Seleccionar el método con el AUTOSELECTOR		Colocar la cubeta en el compartimento para cubetas	

---

**ANÁLISIS CROMO HEXAVALENTE**

**MATERIALES**

- PAPEL pH
- PIPETA 10 cm<sup>3</sup> TIPO A
- TUBO DE ENSAYO
- CUBETA RECTANGULAR DE 50 mm

**EQUIPOS**

- FOTOMETRO SPECTROQUANT NOVA 60

Figura 3. Análisis de cromo hexavalente.

**REACTIVOS**  
- SPECTROQUAN TEST CROMATOS 14758

**PROCEDIMIENTO**

Spectroquant		<b>Cromatos</b>		<b>14758</b>
Determinación de cromo (VI)				Test con reactivos
Intervalo	0,05 – 3,00 mg/l de Cr	0,11 – 6,69 mg/l de CrO <sub>4</sub>	cubeta de 10 mm	
de medida:	0,03 – 1,50 mg/l de Cr	0,07 – 3,35 mg/l de CrO <sub>4</sub>	cubeta de 20 mm	
	0,010 – 0,600 mg/l de Cr	0,02 – 1,34 mg/l de CrO <sub>4</sub>	cubeta de 50 mm	
Es posible expresar los resultados también en mmol/l.				



Comprobar el valor de pH de la muestra (**EXTRACCIÓN DE RESIDUOS**), Intervalo previsto: pH 1 - 8



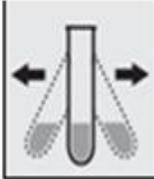
En caso necesario corregir el valor del pH añadiendo gota a gota solución diluida de hidróxido de sodio o ácido sulfúrico



Introducir 2 **microesferas** raras de Cr-1 en un tubo de ensayo seco



Añadir 8 GOTAS DE Cr-2



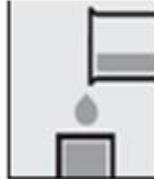
Agitar intensamente el tubo para disolver la sustancia sólida



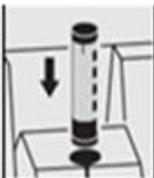
Añadir 10 ml de la MUESTRA **EXTRACCIÓN DE RESIDUOS** y mezclar



Tiempo de reacción 1 minuto

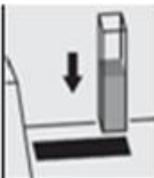


Añadir la solución en la cubeta rectangular de 50 mm



Seleccionar el método con el **AUTOSELECTOR**

**CROMO HEXAVALENTE**  
CONFIGURAR EL EQUIPO EN PARAMETRO METODO PARA QUE CITE EL RESULTADO EN CROMO HEXAVALENTE Cr VI



Colocar la cubeta en el compartimento para cubetas

REGISTRE EL RESULTADO OBTENIDO COMO Cr VI mg/l

Figura 4. Análisi de Cobre.

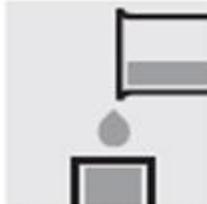
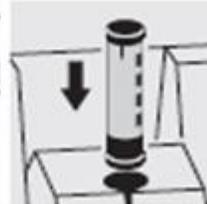
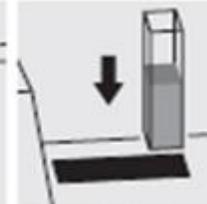
Spectroquant®		<b>Cobre</b>		<b>14767</b>	
				Test con reactivos	
<b>Intervalo</b>	0,10 – 6,00 mg/l de Cu	cubeta de 10 mm			
<b>de medida:</b>	0,05 – 3,00 mg/l de Cu	cubeta de 20 mm			
	0,02 – 1,20 mg/l de Cu	cubeta de 50 mm			
Es posible expresar los resultados también en mmol/l.					
					
Pipetear 5,0 ml de la muestra en un tubo de ensayo.	Añadir 1 cucharada verde de Cu-1 y diluir la sustancia sólida.	Comprobar el valor del pH de la muestra, intervalo previsto: pH 7,0 – 9,5	En caso necesario, corregir el valor del pH añadiendo gota a gota solución diluida de hidróxido sódico o resp. de ácido sulfúrico.	Añadir 5 gotas de Cu-2 y mezclar.	
					
Tiempo de reacción: 5 minutos	Añadir la solución en la cubeta correspondiente.	Seleccionar el método con el AutoSelector.	Colocar la cubeta en el compartimento para cubetas.		
<b>Importante:</b>			<b>Aseguramiento de la calidad:</b>		
Concentraciones muy elevadas de cobre en la muestra producen soluciones de color turquesa (la solución de medición debe ser azul) y valores falsamente bajos; en estos casos debe diluirse la muestra.			Para comprobar el sistema de medición (reactivos del test, dispositivo de medición y manipulación) recomendamos usar Spectroquant® CombiCheck 30, art. 14677.		
Para la determinación de cobre (total) es necesario efectuar una preparación de la muestra con Crack Set 10C, art. 14068 o Crack Set 10, art. 14067 y un termomixador.			Tras la correspondiente dilución también puede utilizarse la solución patrón de cobre lista para el uso CertiPUR®, art. 19786, concentración 1000 mg/l de Cu.		
El resultado puede expresarse como la suma de cobre ( $\Sigma$ de Cu).			Para comprobar los efectos dependientes de la muestra se recomienda el uso de solución de adición (componente de CombiCheck 30).		
Para la medición en la cubeta de 50 mm, el volumen de la muestra debe duplicarse solamente.					

Figura 5. Análisis de Hierro.

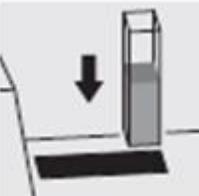
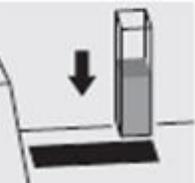
Spectroquant®		<b>Hierro</b>		14761	
				Test con reactivos	
<b>Intervalo de medida:</b>	0,05 – 5,00 mg/l de Fe	cubeta de 10 mm			
	0,03 – 2,50 mg/l de Fe	cubeta de 20 mm			
	0,005 – 1,000 mg/l de Fe	cubeta de 50 mm			
Es posible expresar los resultados también en mmol/l.					
					
Comprobar el valor del pH de la muestra, intervalo previsto: pH 1 – 10	En caso necesario, corregir el valor del pH añadiendo gota a gota ácido clorhídrico diluido.	Pipetear 5,0 ml de la muestra en un tubo de ensayo.	Añadir 3 gotas de Fe-1 y mezclar.	Tiempo de reacción: 3 minutos	
					
Añadir la solución en la cubeta correspondiente.	Seleccionar el método con el AutoSelector.	Colocar la cubeta en el compartimiento para cubetas.			
<b>Importante:</b>			<b>Aseguramiento de la calidad:</b>		
Para la determinación de hierro (total) es necesario efectuar una preparación de la muestra con Crack Set 10C, art. 14688 o Crack Set 10, art. 14687 y un termorreactor.			Para comprobar el sistema de medición (reactivos del test, dispositivo de medición y manipulación) recomendamos emplear Spectroquant® CombiCheck 30, art. 14677.		
El resultado puede expresarse como la suma de hierro ( $\Sigma$ de Fe).			Tras la correspondiente dilución también puede utilizarse la solución patrón de hierro lista para el uso CortiPUR®, art. 19781, concentración 1000 mg/l de Fe.		
Para la medición en la cubeta de 50 mm, el volumen de la muestra y el volumen de los reactivos deben ser doblados en cada caso.			Para comprobar los efectos dependientes de la muestra se recomienda el uso de solución de adición (componente de CombiCheck 30).		

Figura 6. Análisis de Níquel.

Spectroquant®		<b>Níquel</b>		<b>14785</b>	
				Test con reactivos	
<b>Intervalo de medida:</b>	0,10 – 5,00 mg/l de Ni	cubeta de 10 mm			
	0,05 – 2,50 mg/l de Ni	cubeta de 20 mm			
	0,02 – 1,00 mg/l de Ni	cubeta de 50 mm			
Es posible expresar los resultados también en mmol/l.					
					
Comprobar el valor del pH de la muestra, intervalo previsto: pH 3 – 8	En caso necesario, corregir el valor del pH añadiendo gota a gota solución diluida de hidróxido sódico o resp. de ácido sulfúrico.	Pipetear 5,0 ml de la muestra en un tubo de ensayo.	Añadir 1 gota de NI-1 y mezclar. Si la solución se decolora, aumentar la dosis de reactivo gota a gota hasta obtener una débil coloración parda.	Tiempo de reacción: 1 minuto	
					
Añadir 2 gotas de NI-2 y mezclar.	Comprobar el valor del pH de la muestra, intervalo previsto: pH 10 – 12	En caso necesario, corregir el valor del pH añadiendo gota a gota solución diluida de hidróxido sódico o resp. de ácido sulfúrico.	Añadir 2 gotas de NI-3 y mezclar.	Tiempo de reacción: 2 minutos	
					
Añadir la solución en la cubeta correspondiente.	Seleccionar el método con el AutoSelector.	Colocar la cubeta en el compartimiento para cubetas.			
<b>Importante:</b>			<b>Aseguramiento de la calidad:</b>		
Para la determinación de níquel (total) es necesario efectuar una preparación de la muestra con Crack Sot 10C, art. 14668 o Crack Sot 10, art. 14667 y un termoreactor.			Para comprobar el sistema de medición (reactivos del test, dispositivo de medición y manipulación) recomendamos usar Spectroquant® CombiCheck 40, art. 14662.		
El resultado puede expresarse como la suma de níquel ( $\Sigma$ de Ni).			Tras la correspondiente dilución también puede utilizarse la solución patrón de níquel TitroSol®, art. 00060.		
Para la medición en la cubeta de 50 mm, el volumen de la muestra y el volumen de los reactivos deben ser doblados en cada caso.			Para comprobar los efectos dependientes de la muestra se recomienda el uso de solución de adición (componente de CombiCheck 40).		
Fecha de emisión 05/04					

## ANEXO B

### REPORTE DE CARACTERIZACIÓN DE LOS LODOS

Figura 1. Determinación de metales pesados en lodo.



**AGRI LAB**  
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICOS INSUMOS AGRÍCOLAS

Calle 79 B No. 79 - 41 Bogotá D.C.  
Teléfono: 55110000  
Teléfono: 55114447  
E-mail: laboratorio@agrilab.com.co

Página 1 de 1  
**Laboratorio de Análisis Químicos**  
**Insumos Agrícolas**

*Registrado ante el ICA según Resolución 001271 del 05 de Mayo de 2014 (Última actualización)*

Remite a:	INDUSTRIAS ELECTROQUÍMICAS S.A.S		
Identificación suministrada:	LODO ELECTROCOAGULACIÓN		Muestra: 1 de 1
Descripción:	Sólido calé	No. Laboratorio	MO 20205
Fecha de Ingreso:	25-abr-16	Fecha de Entrega	13-may-16

**CONTENIDO DE METALES PESADOS EN MATERIALES ORGÁNICOS**

ELEMENTO	Limite Uso	RESULTADOS	L.D.	L.C.	MÉTODO ANALÍTICO
	Agrícola				
	(p.p.m.)	(p.p.m.)	(p.p.m.)		
Arsénico	41	N.D.	1,0	3,3	AAS ATÓMICA (MET. INTENSIV)
Cadmio	39	0,04	0,01	0,04	AAS ATÓMICA (MET. INTENSIV)
Cromo	1200	40995	0,002	0,006	AAS ATÓMICA (MET. INTENSIV)
Mercurio	17	N.D.	1,0	3,0	AAS ATÓMICA (MET. INTENSIV)
Niquel	420	11872	0,01	0,04	AAS ATÓMICA (MET. INTENSIV)
Plomo	300	218	0,10	0,20	AAS ATÓMICA (MET. INTENSIV)

OBSERVACIONES : L.D. : LIMITE DE DETECCIÓN - L.C.:LIMITE DE CUANTIFICACIÓN  
\*NOTA : N.D. : NO DETECTADO CONCENTRACIÓN MENOR AL LIMITE DE DETECCIÓN  
OBSERVACIONES- RESULTADOS EXPRESADOS EN BASE SECA

1. Si usted tiene alguna inquietud, queja o reclamo sobre sus resultados, por favor comuníquese con el Director técnico o con el Coordinador de área.
2. El alcance de la responsabilidad de AGRILAB en el presente informe, se limita a la realización de los análisis de laboratorio mencionados y descritos anteriormente, más NO A GARANTIZAR los productos en su concepción, diseño, calidad y eficiencia.
3. Los resultados analíticos consignados en el presente informe corresponden exclusivamente a la muestra enviada por el cliente y no a otros materiales de la misma procedencia.
4. La concentración de la muestra analizada se almacenará por un periodo de tiempo de 6 meses, luego será desechada.

**ATENCIÓN:**

MYRIAM BENEDECK LUGO  
Química Director Técnico PG-1188

ALVARO ANDRES MORENO OSPINA  
Químico Coordinador de área PG-5887

Figura 2. Caracterización por composición de lodo.

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	MÉTODO ANALÍTICO
Humedad	81,5	%	GRAVMÉTRICO (NTC 5167)
Cenizas	82,0	%	GRAVMÉTRICO (NTC 5167)
Pérdidas por Volatilización	18,0	%	GRAVMÉTRICO (NTC 5167)
Carbono Orgánico Oxidable Total	2,46	%	WALKLEY-BLACK(NTC 5167)
pH (pasta de saturación)	7,53		POTENCIOMÉTRICO
Densidad (Base Seca - 20°C)	0,39	g/c.c.	GRAVMÉTRICO (NTC 5167)
Conductividad Eléctrica	12,3	dS/m	CONDUCTIMETRO
Retención de Humedad	158	%	GRAVMÉTRICO (NTC 5167)
Cap. Intercambio Catiónico	39,9	(me/100g)	VOLUMÉTRICO (NTC 5167)
C/N	3		
Nitrógeno Orgánico (N <sub>Org</sub> )	0,75	%	MICRO-KJELDAH (NTC 5167)
Fósforo Total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	1,23	%	COLORIMÉTRICO (NTC 5167)
Potasio total (K <sub>2</sub> O)	0,04	%	ABS. ATÓMICA (NTC 5167)
Calcio total (CaO)	0,81	%	ABS. ATÓMICA (NTC 5167)
Magnesio total (MgO)	0,20	%	ABS. ATÓMICA (NTC 5167)
Azufre total (S-SO <sub>4</sub> )	0,52	%	TURBIDIMÉTRICO (NTC 5167)
Hierro total	46,7	67% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	ABS. ATÓMICA (NTC 5167)
Manganeso total	0,10	%	ABS. ATÓMICA (NTC 5167)
Cobre total	438	p.p.m	ABS. ATÓMICA (NTC 5167)
Zinc total	73	p.p.m	ABS. ATÓMICA (NTC 5167)
Boro total	374	p.p.m	COLORIMÉTRICO (NTC 5167)
Sodio total	0,05	%	EMISIÓN DE LLAMA (NTC 5167)
Molibdeno	N.D.	p.p.m	ABS. ATÓMICA (NTC 5167)
Selenio	N.D.	p.p.m	ABS. ATÓMICA (NTC 5167)
Silice total SiO <sub>2</sub> (sólido soluble en HF)	2,60	%	ABS. ATÓMICA (NTC 5167)
Residuo Insoluble en ácido	32,1	%	GRAVMÉTRICO (NTC 5167)

**OBSERVACIONES: RESULTADOS EXPRESADOS EN BASE SECA**

- Si usted tiene alguna inquietud, queja o reclamo sobre sus resultados, por favor comuníquese con el Director Técnico o con el Coordinador de Área.
- El alcance de la responsabilidad de AGRILAB en el presente informe, se limita a la realización de los análisis de laboratorio relacionados y descritos anteriormente, más NO A GARANTIZAR los productos en su concepción, diseño, calidad y eficiencia.
- Los resultados analíticos consignados en el presente informe corresponden exclusivamente a la muestra enviada por el cliente y no a otro(s) materiales de la misma procedencia.
- La contramuestra de la muestra analizada se almacenará por un periodo de tiempo de 6 meses, luego será desechada.

ATENTAMENTE,

*Myriam Bendeck Lugo*  
**MYRIAM BENDECK LUGO**  
 Química Director Técnico PQ-1168

*Oscar J. Parra Cortés*  
**OSCAR J. PARRA CORTÉS**  
 Químico Industrial Coordinador De Área

**CIENCIA Y TECNOLOGÍA AL SERVICIO DEL SECTOR AGRÍCOLA**

Calle 79 B No. 70 - 16 Bogotá, D.C. PBX: 223 1999 - Fax: 223 4087  
 Para quejas y reclamos comuníquese al E-mail: servicioalcliente@agrilib.com.co  
 www.agrilib.com.co

## ANEXO C REPORTES PRUEBAS DE RESISTENCIA Y ABSORCIÓN LADRILLO COMÚN

**Figura 1.** Resistencia a la compresión de adoquines.



**CONTECON URBAR**  
INGENIEROS CONSULTORES



ACREDITADO  
**ONAC**  
ORGANISMO NACIONAL DE  
ACREDITACIÓN DE COLOMBIA

ISO/IEC 17025:2005  
09-LAB-010

LABORATORIO DE CONTROL  
DE CALIDAD DE MATERIALES  
Dirección: Cra 69Q No 78 - 55  
PBX: 756 2656  
Bogotá D.C.

**INFORME DE ENSAYO 31-16**  
**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ADOQUINES SEGÚN**  
**NTC 4017 - 2005 NUMERAL 7**

Orden de Trabajo No: 7793	Nombre del Cliente: Industrias Electroquímicas S.A.S.
Muestra No: A-1	Código de Obra: 15250
Tipo de Adoquin: Adoquin En Arcilla	Nombre de la Obra: Control De Calidad- Industrias Electroquímicas
Procedencia: Ladrillera Sierra Electroquímicas	Fecha de Recibo: 2016-08-11
	Fecha de Ensayo: 2016-08-17

Número de Muestra	DIMENSIONES			Carga en toneladas	Área (cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA			LOCALIZACION	OBSERVACION
	Largo	Ancho	Alto			psi	kg/cm <sup>2</sup>	MPa		
	(cm)	(cm)	(cm)							
A-1-1	11.2	12.0	6.0	85.75	134.4	9075	638.0	62.6		
A-1-2	12.0	12.0	6.1	84.63	144.0	8359	587.7	57.6		
A-1-3	11.6	12.1	6.0	66.53	140.4	6742	474.0	46.5		
A-1-4	11.3	12.0	6.0	80.51	135.6	8445	593.7	58.2		
A-1-5	11.6	12.0	6.0	49.35	139.2	5042	354.5	34.8		

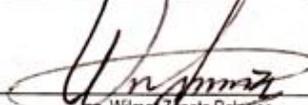
  

PROMEDIO	7532	529.6	51.9
DISPERSION (%)			21.7

REQUISITOS DE ACUERDO CON LA NORMA NTC 3829-2004 PARA TRÁFICO LIVIANO

CLASIFICACIÓN	
TIPO	CARACTERÍSTICAS
I	Usados en edificios públicos y comerciales. Abrasion alta
II	Usados en tiendas y Calzadas exteriores. Abrasion intermedia
III	Usados pisos o patios Unifamiliares, Abrasion baja

REQUISITOS FÍSICOS		
TIPO	Resistencia a compresión, mínima. Área total Mpa (psi)	
	Prom. 5 Un	Individual
I	55,2 (8000)	48,3 (7000)
II	38,0 (5500)	33,0 (4780)
III	20,7 (3000)	17,2 (2500)

Revisó: 

Ing. Wilma Zapata Peláez  
Jefe Técnico

\*\*Este informe no deberá reproducirse parcial o totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio Contecon Urbar S.A.S  
 \*\*\* El presente informe afecta únicamente a las muestras referenciadas en el mismo.  
 Código FT-LB-0082/ Versión 5 / fecha 2016-04-06

Figura 2. Absorción de adoquines de arcilla para tráfico liviano.



**CONTECON URBAR**  
INGENIEROS CONSULTORES



ACREDITADO  
**ONAC**  
ORGANISMO NACIONAL DE  
ACREDITACIÓN DE COLOMBIA  
ISO/IEC 17025:2005  
09-LAB-010

LABORATORIO DE CONTROL  
DE CALIDAD DE MATERIALES  
Dirección: Cra 69Q No 78 - 55  
PBX: 756 2656  
Bogotá D.C.

**INFORME DE ENSAYOS 37-16**  
**ABSORCION DE ADOQUINES DE ARCILLA PARA TRÁFICO LIVIANO**  
**SEGÚN NTC 4017 - 2005 NUMERAL 8**

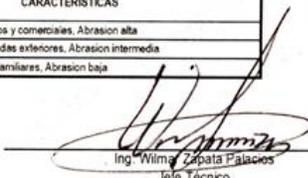
Orden de Trabajo No:	7793	Nombre del Cliente:	Industrias Electroquímicas S.A.S.
Muestra No:	A-1	Código de Obra:	15250
Tipo de Adoquín:	Adoquín En Arcilla	Nombre de la Obra:	Control De Calidad- Industrias Electroquímicas
Procedencia:	Industrias Electroquímicas	Fecha de Recibo:	2016-08-11
		Fecha de Ensayo:	2016-08-18

MUESTRA No.	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	MASA SECA (g)	MASA HUMEDA (g)	LOCALIZACION	ABSORCION (%)
A-1-1	23.6	12.0	5.9	3352.5	3704.5		10.5
A-1-2	23.6	12.0	5.9	3342.0	3751.0		12.2
A-1-3	23.5	12.0	6.1	3361.0	3733.0		11.1
A-1-4	23.5	12.0	6.0	3313.5	3745.0		13.0
A-1-5	23.6	12.1	6.0	3445.5	3848.5		11.7
<b>Promedio</b>							<b>11.7</b>

**REQUISITOS DE ACUERDO CON LA NORMA NTC - 3829 - 2004**

CLASIFICACION	
TIPO	CARACTERISTICAS
Tipo I	Usados en edificios públicos y comerciales. Abrasion alta
Tipo II	Usados en tiendas y Calzadas exteriores. Abrasion intermedia
Tipo III	Usados pisos o patios Unifamiliares. Abrasion baja

TIPO	Absorcion de agua fria máxima %	
	Prom. 5 Adoquines	Individual
TIPO I	8	11
TIPO II	14	17
TIPO III	NO HAY LIMITE	NO HAY LIMITE

Revisó: 

Ing. Wilma Zapata Palacios  
Jefe Técnico

\*\*Este informe no deberá reproducirse parcial o totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio Contecon Urbar S.A.S  
 \*\*\* El presente informe afecta únicamente a las muestras referenciadas en el mismo.  
 Código FT-LB-0070 / Versión 4 / fecha 2016-04-05

## ANEXO D

### REPORTES PRUEBAS DE RESISTENCIA Y ABSORCIÓN LADRILLO ECOLÓGICO

Figura 1. Resistencia a la compresión de adoquines.



**LABORATORIOS  
CONTECON URBAR**  
INGENIEROS CONSULTORES



ACREDITADO  
**ONAC**  
ORGANISMO NACIONAL DE  
ACREDITACIÓN DE COLOMBIA

ISO/IEC 17025:2005  
09-LAB-010

LABORATORIO DE CONTROL  
DE CALIDAD DE MATERIALES  
Dirección: Cra 69Q No 78 - 55  
PBX: 756 2656  
Bogotá D.C.

**INFORME DE ENSAYO 32-16**  
**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ADOQUINES SEGÚN**  
**NTC 4017 - 2005 NUMERAL 7**

Orden de Trabajo No: 7793	Nombre del Cliente: Industrias Electroquímicas S.A.S.
Muestra No: A-2	Código de Obra: 15250
Tipo de Adoquin: Adoquin En Arcilla	Nombre de la Obra: Control De Calidad- Industrias Electroquímicas
Procedencia: Ladrillera Sierra Electroquímicas	Fecha de Recibo: 2016-08-11
	Fecha de Ensayo: 2016-08-17

Número de Muestra	DIMENSIONES			Carga en toneladas	Área (cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA			LOCALIZACION	OBSERVACION
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)			psi	kg/cm <sup>2</sup>	MPa		
A-2-1	10.2	10.2	5.9	72.08	104.0	9854	692.8	67.9		
A-2-2	9.8	10.0	5.9	64.19	98.0	9316	655.0	64.2		
A-2-3	9.7	10.1	6.1	54.12	98.0	7857	552.4	54.2		
A-2-4	10.1	10.0	5.9	31.83	101.0	4482	315.1	30.9		
A-2-5	10.5	10.2	6.0	59.92	107.1	7957	559.5	54.9		

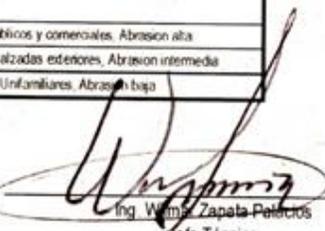
  

<b>PROMEDIO</b>	7893	555.0	54.4
<b>DISPERSION (%)</b>			26.5

**REQUISITOS DE ACUERDO CON LA NORMA NTC 3829-2004 PARA TRÁFICO LIVIANO**

CLASIFICACIÓN	
TIPO	CARACTERÍSTICAS
I	Usados en edificios públicos y comerciales. Abrasión alta
II	Usados en tiendas y Calzadas estaciones. Abrasión intermedia
III	Usados pisos o patios familiares. Abrasión baja

REQUISITOS FÍSICOS		
TIPO	Resistencia a compresión, mínima. Área total Mpa (psi)	
	Prom 5 Un	Individual
I	55,2 (8000)	48,3 (7000)
II	38,0 (5500)	33,0 (4780)
III	20,7 (3000)	17,2 (2500)

Revisó: 

Ing. Wilma Zapata Peláez  
Jefe Técnico

\*\*Este informe no deberá reproducirse parcial o totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio Contecon Urbar S.A.S.  
 \*\*\* El presente informe afecta únicamente a las muestras referenciadas en el mismo.  
 Código FT-LB-0082/ Versión 5/ fecha 2016-04-06

Figura 2. Absorción de adoquines de arcilla para tráfico liviano.



**LABORATORIOS  
CONTECON URBAR**  
INGENIEROS CONSULTORES



ACREDITADO  
**ONAC**  
ORGANISMO NACIONAL DE  
ACREDITACIÓN DE COLOMBIA

ISO/IEC 17025:2005  
09-LAB-010

LABORATORIO DE CONTROL  
DE CALIDAD DE MATERIALES  
Dirección: Cra 69Q No 78 - 55  
PBX: 756 2656  
Bogotá D.C.

**INFORME DE ENSAYOS 38-16**  
**ABSORCION DE ADOQUINES DE ARCILLA PARA TRÁFICO LIVIANO**  
**SEGÚN NTC 4017 - 2005 NUMERAL 8**

Orden de Trabajo No:	7793	Nombre del Cliente:	Industrias Electroquímicas S.A.S.		
Muestra No:	A-2	Código de Obra:	15250		
Tipo de Adoquin:	Adoquin En Arcilla	Nombre de la Obra:	Control De Calidad- Industrias Electroquímicas		
Procedencia:	Industrias Electroquímicas	Fecha de Recibo:	2016-08-11		
		Fecha de Ensayo:	2016-08-18		

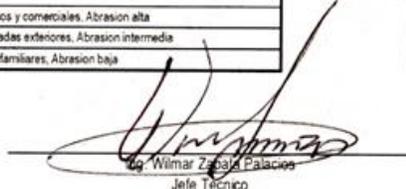
MUESTRA No.	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	MASA SECA (g)	MASA HUMEDA (g)	LOCALIZACION	ABSORCION (%)
A-2-1	20.2	10.1	5.9	2476.5	2711.0		9.5
A-2-2	20.1	10.4	6.2	2415.5	2677.0		10.8
A-2-3	20.0	9.9	5.9	2427.5	2617.5		7.8
A-3-4	20.2	10.2	6.0	2521.0	2745.5		8.9
A-3-5	20.1	10.2	6.1	2569.0	2811.5		9.4
<b>Promedio</b>							<b>9.3</b>

REQUISITOS DE ACUERDO CON LA NORMA NTC - 3829 - 2004

CLASIFICACION	
TIPO	CARACTERISTICAS
Tipo I	Usados en edificios publicos y comerciales. Abrasion alta
Tipo II	Usados en tiendas y Calzadas exteriores. Abrasion intermedia
Tipo III	Usados pisos o patios Unifamiliares, Abrasion baja

REQUISITOS FÍSICOS

TIPO	Absorción de agua fría máxima %	
	Prom. 5 Adoquines	Individual
TIPO I	8	11
TIPO II	14	17
TIPO III	NO HAY LIMITE	NO HAY LIMITE

Revisó: 

Ing. Wilmar Zabala Palacio  
Jefe Técnico

\*\*Este informe no deberá reproducirse parcial o totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio Contecon Urbar S.A.S

\*\*\* El presente informe afecta únicamente a las muestras referenciadas en el mismo.

Código FT-LB-0070 / Versión 4 / fecha 2016-04-05

## ANEXO E

### COTIZACION DE FILTROS PRENSA

**Figura 1.** Filtro prensa de correa

SHUANGFA FILTER				
Item	Picture	Model	Quantity	Unit Price
<b>Belt filter press</b>		DNY2000	1 SET	USD34,840 FOB Qingdao
<b>Dosing device</b>		DS-2000	1 SET	
<b>Send an engineer installation commissioning</b>		USD1,580		
<b>Total Price</b>		USD36,420 FOB Qingdao		
<b>Sales Clauses &amp; Delivery details</b>	Price valid	15 days from the date of this quotation.		
	Terms of payment:	30% advance payment by T/T, 70% to be paid before delivery of goods by T/T;		
	Package	Wooden box, the frame and accessory are packaging with PP.		
	Delivery time	Within 35-40 working days after receiving advance payment;		
	Scope of service	The guarantee period is one year		

Figura 2. Filtro prensa de placas

<b>BOEEP</b>		<b>江苏博一环保科技有限公司</b>				
ADD: No. 88, Zhaozhuang Road, Yangmiao, Hanjiang, Yangzhou, Jiangsu						
Email: jimmy@boeep.com			TEL/FAX: 0514-87848766/0514-87894600			
To:laboratorio@electroquimicas.com			From: Jimmy			
Attn: Mr. Marcela			Page: 1			
Fax:			Date: 2016/9/18			
P						
<b>QUOTATION</b>						<b>UINTS: USD</b>
NO.	NAME	TYPE	QTY.	UNIT PRICE	TATAL PRICE	NOTE
Optional MYDL 302						
1	Sludge screw press	MYDL302	1	\$27,967	\$27,967	Material:SS304; Motor:SEW/ Nord; DS Capacity:100-140 kg/h; Including control caninet;
	The cost of transport	FOB SHANGHAI			1,564	
	Total	\$29,531				
<p>Note: 1. This price includes cost of freight, the effective period of the quotation is 30 days.</p> <p>2. First payment 30% of the total price of the contract as advance payment by TT should be</p> <p>3. Lead time: about 60 days after signing the contract and Down payment.</p> <p>4. Exchange rate: 1USD=6.2CNY.</p>						
<b>Best Regards,</b>				Jiangsu BOE Environmental Protection Technology Co., Ltd.		
				2016/9/18		

Figura 3. Filtro prensa multi discos

## Specifications & Models

### ■ Models Reference

Model <sup>Ⓢ</sup>	Raw Wastewater Waste Activated Sludge Chemically Precipitated Sludge		Dissolved-air Flotation Sludge		Mixed Raw Sludge Aerobic Digested Sludge Sewage Sludge
	0.2%	0.5%	2%	5%	3%
MDS-101	~2kg-DS/h (~1.0m <sup>3</sup> /h)	~3kg-DS/h (~0.3m <sup>3</sup> /h)	~5kg-DS/h (~0.25m <sup>3</sup> /h)	~10kg-DS/h (~0.2m <sup>3</sup> /h)	~13kg-DS/h (~0.43m <sup>3</sup> /h)
MDS-131	~4kg-DS/h (~2.0m <sup>3</sup> /h)	~6kg-DS/h (~0.6m <sup>3</sup> /h)	~10kg-DS/h (~0.5m <sup>3</sup> /h)	~20kg-DS/h (~0.4m <sup>3</sup> /h)	~26kg-DS/h (~0.87m <sup>3</sup> /h)
MDS-132	~8kg-DS/h (~4.0m <sup>3</sup> /h)	~12kg-DS/h (~1.2m <sup>3</sup> /h)	~20kg-DS/h (~1.0m <sup>3</sup> /h)	~40kg-DS/h (~0.8m <sup>3</sup> /h)	~52kg-DS/h (~1.73m <sup>3</sup> /h)
MDS-202	~16kg-DS/h (~8.0m <sup>3</sup> /h)	~24kg-DS/h (~2.4m <sup>3</sup> /h)	~40kg-DS/h (~2.0m <sup>3</sup> /h)	~80kg-DS/h (~1.6m <sup>3</sup> /h)	~104kg-DS/h (~3.47m <sup>3</sup> /h)
MDS-311	~20kg-DS/h (~10m <sup>3</sup> /h)	~30kg-DS/h (~3.0m <sup>3</sup> /h)	~50kg-DS/h (~2.5m <sup>3</sup> /h)	~100kg-DS/h (~2.0m <sup>3</sup> /h)	~130kg-DS/h (~4.33m <sup>3</sup> /h)
MDS-312	~40kg-DS/h (~20m <sup>3</sup> /h)	~60kg-DS/h (~6.0m <sup>3</sup> /h)	~100kg-DS/h (~5.0m <sup>3</sup> /h)	~200kg-DS/h (~4.0m <sup>3</sup> /h)	~260kg-DS/h (~8.67m <sup>3</sup> /h)
MDS-313	~60kg-DS/h (~30m <sup>3</sup> /h)	~90kg-DS/h (~9.0m <sup>3</sup> /h)	~150kg-DS/h (~7.5m <sup>3</sup> /h)	~300kg-DS/h (~6.0m <sup>3</sup> /h)	~390kg-DS/h (~13m <sup>3</sup> /h)
MDS-412	~80kg-DS/h (~40m <sup>3</sup> /h)	~120kg-DS/h (~12m <sup>3</sup> /h)	~200kg-DS/h (~10m <sup>3</sup> /h)	~400kg-DS/h (~8.0m <sup>3</sup> /h)	~520kg-DS/h (~17.3m <sup>3</sup> /h)
MDS-413	~120kg-DS/h (~60m <sup>3</sup> /h)	~180kg-DS/h (~18m <sup>3</sup> /h)	~300kg-DS/h (~15m <sup>3</sup> /h)	~600kg-DS/h (~12m <sup>3</sup> /h)	~780kg-DS/h (~26m <sup>3</sup> /h)



## ■ Specifications

Model	Screw Shaft Specifications (mm)	Sludge Cake Outlet Distance (mm)	Machine Specifications (mm)			Net Weight (kg)	Running Weight (kg)	Power (kW)	Rinsing water (L/h)
			Length	Width	Height				
MDS 101	φ 100×1	215	1816	756	1040	200	290	0.2	24
MDS 131	φ 130×1	250	1969	756	1040	220	315	0.2	24
MDS 132	φ 130×2	250	2069	910	1040	305	450	0.3	48
MDS 202	φ 200×2	350	2500	935	1270	520	730	0.8	64
MDS 311	φ 310×1	495	3255	985	1600	910	1320	0.8	40
MDS 312	φ 310×2	495	3455	1295	1600	1530	2230	1.2	80
MDS 313	φ 310×3	495	3605	1690	1600	2090	3080	1.95	120
MDS 412	φ 410×2	585	4140	1550	2250	2450	3400	3.75	144
MDS 413	φ 410×3	585	4420	2100	2250	3350	4850	6.0	216

Specifications update without notice in advance, please ask for the design drawings.

## ■ Running Conditions

Model	Power (kW)			Rinsing <sup>③</sup> Water Pressure	Maintenance Frequency	Vulnerable Part Replacement Cycle <sup>④</sup> (h)	
	Screw	Mixer	Total			Screw Shaft	Moving Rings
MDS 101	0.1	0.1	0.2	0.1Mpa~ 0.2Mpa(No need High pressure washing device. tap water is fine.)	5min / day	10000	5000
MDS 131	0.1	0.1	0.2			10000	5000
MDS 132	0.2	0.1	0.3			10000	5000
MDS 202	0.4	0.4	0.8			15000	7500
MDS 311	0.4	0.4	0.8			30000	10000
MDS 312	0.8	0.4	1.2			30000	10000
MDS 313	1.2	0.75	1.95			30000	10000
MDS 412	3.0	0.75	3.75			30000	10000
MDS 413	4.5	1.5	6.0			30000	10000

③ Due to the dewatering body has self-cleaning function, it only needs to use atmospheric water (0.1 ~ 0.2 Mpa), on normally closed electromagnetic valve to spray regularly.

④ Replacement time of vulnerable part is an estimated time, in the actual operation process, the types of sludge, the means of processing, operation adjustment status and the running time of the day, will affect the replacement time. Replacement cycle of vulnerable part is calculated as 365 days per year, 8 hours/day of running time.)



## ANEXO F

COTIZACION DE TANQUES VALVULAS, BOMBAS Y TUBERIAS

# TANQUES

## Tanques

	Referencia	Diámetro pulg.	Unidad de empaque	Precio x unidad
<b>Cónico Doble Capa</b>				
	2905419	500	1 u	\$188.912
	2905420	1000	1 u	\$373.000
<b>Botella</b>				
	2905685	300	1 u	\$133.181
	2903125	600	1 u	\$216.621
	2904575	1100	1 u	\$410.300

Elige la zona de envío o retiro:

CUNDINAMARCA [Cambiar](#)

Precios corresponden a la ubicación seleccionada.

Hola Marcela [▼](#)



Ingresar una búsqueda



### Mi carro de compras

Venta Telefónica 01 8000 12 7373 | [Cambios y devoluciones](#) | [Métodos de entrega](#) | [Mis listas](#)

Agregar más productos al carro

**Comprar**

Producto	Métodos de entrega	Cantidad	Precio Unitario	Total
 <p>Pavco 2" x 6 metros de largo presión 21 ... SKU:65897</p>	Envío a domicilio Retira tu compra en tienda	<input type="text" value="5"/> Eliminar	\$63.900 .	\$319.500
			Sub-Total:	<b>\$319.500</b>

Buscar...



4 ITEM(S)



CARRO DE LA COMPRA

	Nombre de Producto		Precio por unidad	Cant.	Total	
	VÁLVULA DE BOLA DE DOS UNIVERSALES EN PVC 2" SOLDAR	Editar	\$73.637,00	4	\$294.548,00	
<a href="#">CONTINUAR COMPRANDO</a>			<a href="#">ACTUALIZAR CARRITO DE COMPRAS</a>		<a href="#">VACIAR CARRO DE LA COMPRA</a>	

TOTAL	\$294.548,00
SUMA TOTAL	\$294.548,00

**Bombas y Motobombas** / Autocebantes / GS Eléctrica

**GS 50-2TW**



Referencia: 63974000A1

Warning: Invalid argument supplied for foreach() in /home/igihm/public\_html/ficha.php on line 675

Conexión succión: 2" NPT

Conexión descarga: 2" NPT

Altura (ADT) Max: 27 m

Caudal Max: 100 GPM

Caudal medio: 70 GPM

Altura media: 18 m

Motor: Trifásico

Potencia: 2 HP

Voltaje: 220/440 V

Velocidad: 3500 RPM

Peso: 36 Kg

Dimensiones: 0.52/0.28/0.33 Mts



Lista de precios: \$ 1,016,000

Promoción tienda: \$ 863,600 + IVA

\*No incluye fletes y seguro



1



AGREGAR AL CARRO

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

## AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES

Yo **Marcela Muñoz Castaño** en calidad de titular de la obra **Propuesta para el aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas STARTWATER como materia prima en la fabricación de ladrillo**, elaborada en el año **2015**, autorizo al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que me corresponde y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autor manifestamos conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autor establezco las siguientes condiciones de uso de mi obra de acuerdo con la **licencia Creative Commons** que se señala a continuación:



**Atribución- no comercial- sin derivar:** permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.



**Atribución – no comercial:** permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.



**Atribución – no comercial – compartir igual:** permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.

Licencias completas: [http://co.creativecommons.org/?page\\_id=13](http://co.creativecommons.org/?page_id=13)

**Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a su autor.**

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá, a los 4 días del mes de **Noviembre** del año 2016

**EL AUTOR:**

**Autor 1**

Nombres	Apellidos
Marcela	Muñoz Castaño
Documento de identificación No	Firma
1015419561	