

**INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA  
PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN**

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK**

**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES**

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA  
PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN”**

Realizado por:

**DARÍO SEBASTIÁN GORDÓN SUÁREZ**

Director del proyecto:

**MSc. Katty Coral**

Como requisito para la obtención del título de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

Quito, 14 de febrero del 2020

INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA  
VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

**DECLARACIÓN JURAMENTADA**

Yo, DARÍO SEBASTIÁN GORDÓN SUÁREZ, con cédula de identidad número 1717419988, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



FIRMA

DARÍO SEBASTIÁN GORDÓN SUÁREZ

171741998-8

INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA  
VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

**DECLARATORIA**

El presente trabajo de investigación titulado:

**“INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA  
PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN”**

Realizado por:

**DARÍO SEBASTIÁN GORDÓN SUÁREZ**

como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERO AMBIENTAL

ha sido dirigido por el profesor

**KATTY CORAL**

quien considera que constituye un trabajo original de su autor



FIRMA

INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA  
VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

**LOS PROFESORES INFORMANTES**

Los Profesores Informantes:

**WALBERTO GALLEGOS ERAS**

**JEFFERSON RUBIO**

Después de revisar el trabajo presentado,

lo han calificado como apto para su defensa oral ante

el tribunal examinador



FIRMA



FIRMA

Quito, 14 de febrero del 2020

# INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

El presente Trabajo de Fin de Carrera ha sido realizado dentro del Programa de  
Investigación de la Universidad Internacional SEK denominado:

## **BIODIVERSIDAD Y RECURSOS NATURALES APLICADOS A LA GESTIÓN AMBIENTAL Y LA BIOTECNOLOGÍA**

Perteneciente a la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales.

# INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

## **DEDICATORIA**

A mi madre y abuela “Terecita” por ser un pilar fundamental para terminar mis estudios, por estar siempre a mi lado apoyándome y dándome sus consejos.

A mis familiares por ser cómplices de mis locuras y de cada uno de mis logros.

A todos mis amigos los mismos que quisiera nombrar de uno en uno, a mis profesores de toda mi formación académica que siempre estuvieron a mi lado prestos a aguantarme y brindarme sus conocimientos; y a todas aquellas personas que durante toda mi vida estuvieron ahí para mí que sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento, alegrías y tristezas.

# INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

## AGRADECIMIENTO

Al amor recibido y la paciencia con la que cada día se preocupaban mi mamá y mi abuelita por la culminación y éxito de mi carrera, fue simplemente de gran valor e intensidad emocional, para que pudiese cumplir una de las metas que marcarían mi vida.

A toda mi familia que pareciese como si nunca hubiéramos estado en paz, siempre batallando por cualquier cuestión para lograr mejorar, les agradezco por estar presentes aportando siempre buenos momentos a mi vida, y por las inmensas ocasiones de felicidad, aprendizaje y aventura que me han brindado, cuanto quisiera agradecer a cada uno de ustedes pero ya saben lo que voy a decir.

A mis profesores que conformaron mi tribunal, en especial a Katty Coral como mi tutora, por sus valiosos conocimientos y paciencia que ayudaron a mi formación profesional, a todos aquellos profesores que ya no se encuentran en la Universidad Internacional SEK, pero que siempre los llevare en mis recuerdos.

A todos mis amigos, colegas y camaradas que me acompañaron a lo largo de mi vida estudiantil, cotidiana y profesional, donde vivimos locos momentos, inolvidables y entrañables, gracias por ser un pilar fundamental para no bajar la cabeza y poder lograr mis triunfos y metas, gracias amigos míos que han aportado tanto para ser quien soy.

No puedo echar de menos la apertura y el apoyo que me dio la procesadora VYMSA que me dio la apertura y las facilidades para el desarrollo de esta investigación y poder culminar mis estudios universitarios.

INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA  
VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

Para someter a:

To be submitted:

**Inertización de los lodos de galvanizado de la procesadora VYMSA con fines de  
valorización.**

Sebastián Gordón Suárez<sup>1</sup>, Katty Coral<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito,  
Ecuador.

\*AUTOR DE CORRESPONDENCIA: MSc Katty Coral.

Universidad Internacional SEK,

Facultad de Ciencias Ambientales y Naturales, Quito, Ecuador.

Teléfono: 0983084617; email: [katty.coral@uisek.edu.ec](mailto:katty.coral@uisek.edu.ec)

# INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

## **Resumen**

La investigación presenta la valorización económica y práctica, a partir de la Inertización de los residuos de lodos, obtenidos del galvanizado de las piezas metálicas producidas por la procesadora VYMSA. Se logró la minimización de impactos ambientales y mejor aprovechamiento del proceso. La investigación requirió la caracterización de los lodos para determinar la concentración de metales pesados presentes, tanto vía residuo como vía lixiviado a través del ensayo de TCLP, para el sistema de aprovechamiento sometido a estudio consistente en la fabricación de morteros de cemento portland aprovechables en la construcción, logrando que los morteros encapsulen los lodos de galvanizado entre el 80 y 90%, y alcanzando una resistencia a la compresión hasta un 0.316 MPa.

Palabras clave: Galvanizado, residuos peligrosos, Inertización, Lodos, economía circular.

# INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

## **Abstract**

The research presents the economic and practical valorization, from the Inertization of sludge waste, obtained from the galvanizing of the metal parts produced by the VYMSA processor. The minimization of environmental impacts and better use of the process.

The investigation required the characterization of the sludge, to determine the concentration of heavy metals present, both via waste and leachate through the TCLP test. For the use system under study consisting of the manufacture of portland cement mortars usable in the construction, making the mortars encapsulate the galvanized sludge between 80 and 90%, and reaching a compressive strength up to 0.316 MPa.

## **KEY WORDS**

Galvanized, hazardous waste, Inertization, sludge, economic value, circular economy

# INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

## **Introducción**

El estado ecuatoriano genera y desarrolla políticas de regulación, acuerdos ministeriales y ordenanzas, para controlar el desarrollo de actividades y procesos en los que se generen residuos especiales o peligrosos en las empresas, por esta razón, las normativas ambientales vigentes en el Ecuador; y en Quito, son muy estrictas en lo que respecta a límites máximos permisibles, y en particular con los metales pesados existentes en desechos sólidos industriales (Sandoval, 2018).

De acuerdo con el Reglamento al Código Orgánico del Ambiente (RCOA), les corresponde a las entidades de control y regularización, la verificación del cumplimiento de las normas de calidad ambiental referentes al aire, agua, suelo, ruido, desechos y agentes contaminantes, así como la verificación del régimen de permisos y licencias sobre actividades potencialmente contaminantes (Decker, 2014).

Toda organización que realice proyectos dentro del DMQ, generando impacto o posibles riesgos ambientales, debe cumplir las normas estipuladas en la Código Municipal Único, misma que dispone de la Norma Técnica de Desechos Peligrosos y Especiales (NT005) y la Norma Técnica para el Control de Descargas Líquidas (NT002), el incumplimiento de dichas estipulaciones, acarrearía con ella la suspensión y/o revocatoria de los permisos ambientales en las empresas (Piedra, 2015).

La norma técnica de desechos peligrosos y especiales establecidos por el consejo del DMQ (2016) tiene por objetivo establecer métodos y procedimientos que deben aplicarse a todos los establecimientos públicos o privados que generan desechos peligrosos y especiales, y a los gestores ambientales involucrados en su gestión, para poder determinar si un desecho puede categorizarse como especial o peligroso, al haber

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

analizado previamente, si las sustancias que le otorgan características tóxicas no superan los límites permisibles establecidos en las tablas 1y 2 (Piedra, 2015).

*Tabla 1 Límites máximos permisibles en el extracto PECT (Prueba de Lixiviación) para constituyentes inorgánicos (metales pesados)*

<b>CONTAMINANTE</b>	<b>LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE (mg/L)</b>
Arsénico	5,0
Bario	100,0
Cadmio	1,0
Cromo	5,0
Mercurio	0,2
Plata	5,0
Plomo	5,0
Selenio	1,0

*Norma Técnica de Desechos Peligrosos y Especiales, 2016, p. 6*

*Tabla 2 Límites máximos permisibles para extracción de metales pesados en base seca (Digestión Ácida)*

<b>CONTAMINANTE</b>	<b>LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE (mg/kg)</b>
Arsénico	75
Cadmio	85
Cromo	3000
Plomo	4300
Mercurio	840
Níquel	57
Zinc	420

*Norma Técnica de Desechos Peligrosos y Especiales, 2016, p. 8*

La norma técnica para el control de descargas líquidas tiene como objetivo proteger la calidad del recurso agua para salvaguardar la salud e integridad de las personas, estableciendo límites máximos permitidos a las concentraciones de cargas contaminantes de origen industrial, comercial o de servicios, pública o privada vertidos al sistema de alcantarillado y cauce de aguas dentro del DMQ (Concejo del Distrito Metropolitano de Quito, 2016)

Bajo este contexto, las empresas públicas y privadas han puesto mayor interés en el manejo a la problemática causada por la generación de residuos especiales o

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

peligrosos dentro de sus procesos productivos, a causa de las inadecuadas prácticas que tienen en la disposición final de los residuos peligrosos, considerados así por su elevada toxicidad y siendo únicamente un potencial generador de impactos al suelo y acuíferos (Posada, 2010).

La procesadora VYMSA es una empresa metalmecánica, que se dedica a la producción y comercialización de partes y piezas de acero, tales como mecanismos para electrodomésticos o productos de sujeción de vidrios arquitectónicos, los cuales son preparados para su presentación y distribución por medio de la galvanización, procesos de pintura electrostática y cromatización, dando como resultado residuos que contienen lodos peligrosos, que fueron objeto de análisis del presente estudio (VYMSA, 2018).

Para el caso de este estudio, se hará referencia a la norma técnica para el control de descargas líquidas del Código Municipal Único, dado que exige a toda descarga proveniente de actividades industriales los valores máximos permisibles establecidos en la Tabla 3 (Concejo del Distrito Metropolitano de Quito, 2016)

*Tabla 3 Límites máximos permisibles de descargas líquidas a cauce de agua para constituyentes inorgánica (metales pesados)*

CONTAMINANTE	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE (mg/L)
Aluminio	5,0
Arsénico	0,1
Cadmio	0,02
Cobre	1,0
Hierro	25
Mercurio	0,01
Níquel	2,0
Plata	5,0
Plomo	0,5
Zinc	2,0

*Concejo de Distrito Metropolitano de Quito, 2014c, pp. 6-7*

# INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

La procesadora VYMSA se encuentra ubicada dentro del Distrito Metropolitano de Quito, en una zona rural del sector de Carcelén Industrial, en las calles José Larrea OE1-178 y Francisco García.



Ilustración 1. Ubicación de la procesadora VYMSA.

Fuente: Autor

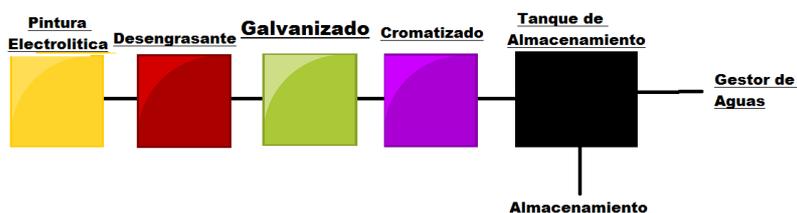


Ilustración 2. Diagrama de flujo de procesos generadores de residuos peligrosos.

Fuente: Autor

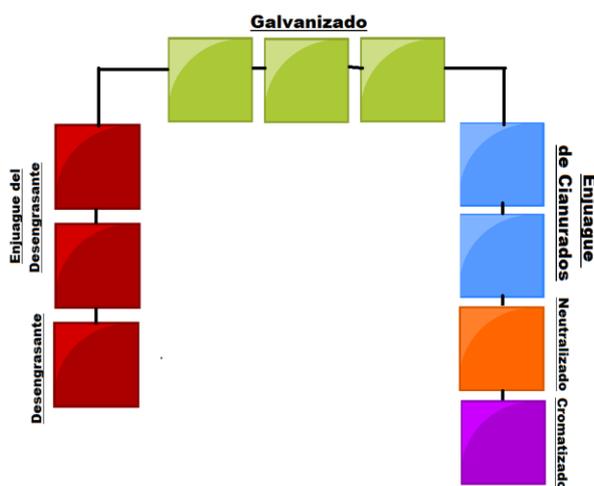
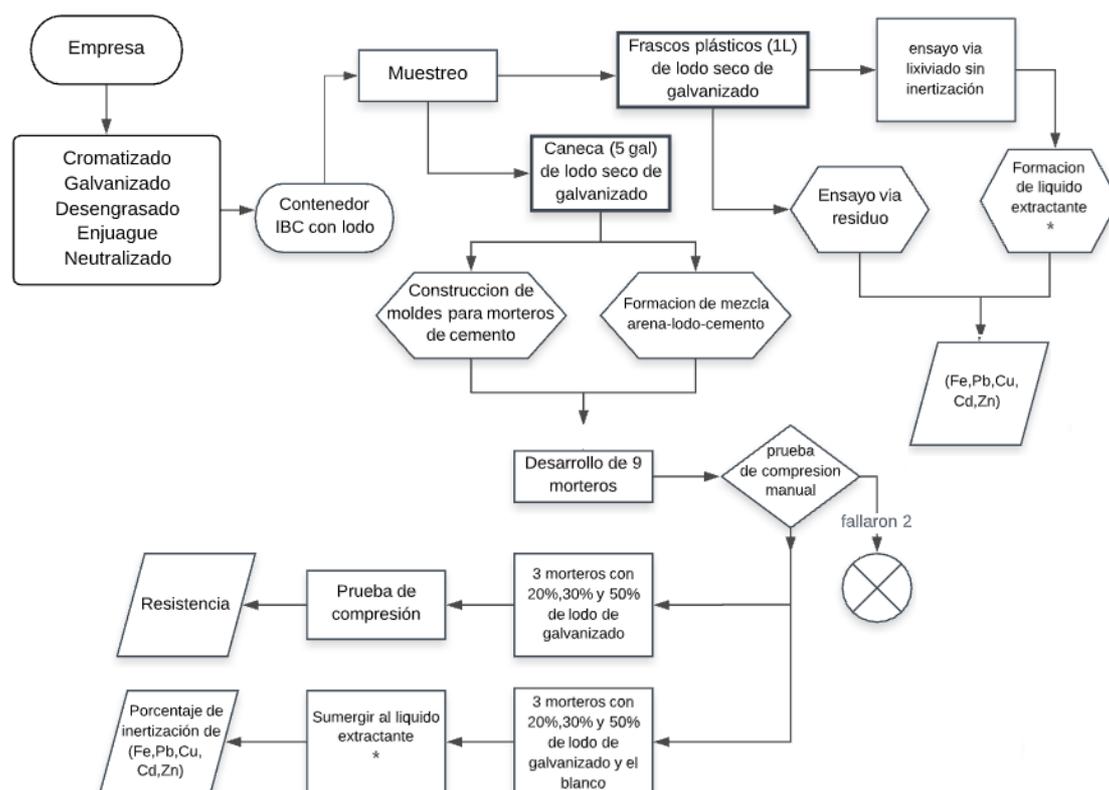


Ilustración 3. Diagrama de flujo de procesos del área de galvanizado.

Fuente: Autor

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN



*Ilustración 4. Diagrama de flujo del desarrollo de los procesos del presente estudio.*

*Fuente: Autor*

### *Descripción de los procesos de galvanizado y pintura electrostática*

La procesadora VYMSA cuenta con los procesos de Pintura electrostática o “Fosfato 3 en 1” (se colocan 3 L de Fosfato en 1 L de agua), de galvanizado y cromatizado, los cuales son los puntos en donde se generan los residuos, mientras que los lodos peligrosos se obtienen de un contenedor plástico de un metro cúbico IBC (Intermediate Bulk Container) que en español se traduce en contenedor intermedio a granel, que se encuentra conectado a un sistema de recolección de aguas residuales provenientes del área de galvanizado.

El proceso de pintura electrostática también conocida como pintura en polvo, es llamado así por su forma de adherencia a las piezas metálicas y plásticas, esta técnica es una excelente alternativa de recubrimiento, evitando que se formen escurrimientos y

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

burbujas en la superficie de las piezas, ofreciendo un acabado más uniforme y una disminución al impacto ambiental (Simba, 2008).

Para que este proceso tenga mejores resultados, requiere que las superficies de las piezas metálicas se encuentren libres de grasas y limpias, por lo que se usan fosfatizantes (derivados del ácido fosfórico) para el lavado de las piezas metálicas y evitar la corrosión al momento de producir una película continua y poco porosa (Simba, 2008).

La aplicación de fosfatizantes en general se puede hacer por inmersión, spray o una combinación de ambos. La elección del método dependerá de varios factores, entre los cuales se destacan el tamaño de las piezas, la geometría de las mismas, el tipo de resistencia a la corrosión requerido, la cantidad de piezas a fosfatizar, entre otras (Simba, 2008).

Al igual que el proceso de pintura electrostática, el proceso de galvanizado, es utilizado frecuentemente por la industria metalúrgica, para proteger de la corrosión a las piezas metálicas fabricadas por la procesadora, mediante un tratamiento electroquímico que consiste en cubrir un metal a las superficies asociadas, parte de su composición contiene metales pesados, considerados como peligrosos (VYMSA, 2018).

Cada proceso genera diferentes cantidades de lodos, de los cuales se desconoce la cantidad de metales pesados que estos contienen, por lo que se pretende brindar una solución a los lodos almacenados por la procesadora VYMSA, con el método de Inertización y valorización económica a través de un proceso de cementación, minimizando el potencial grado contaminante y problemáticas de gran importancia a nivel ambiental, al correcto manejo y disposición final de los lodos generados por la

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

industria metalúrgica y generando un nuevo producto a partir de un residuo, lo que redundará en la calidad y responsabilidad ambiental de la empresa (VYMSA, 2018).

### *Estabilización y Solidificación*

La Inertización de residuos sólidos es un proceso basado en la integración de un residuo peligroso en una matriz sólida que lo aísla del ambiente, con una fijación química parcial del residuo al material utilizado. Estos materiales pueden ser de cemento, vidrio o cerámica, según sea la necesidad requerida, con ello se garantiza, evitar la dispersión de los contaminantes al ambiente. El presente estudio, utilizará la cementación dado que se encuentra clasificada como un mecanismo de estabilización-solidificación, tiene como objetivo principal minimizar la velocidad de migración de los contaminantes al medio ambiente y reducir la toxicidad del mismo (Chinchay, 2014). En este caso se construyeron morteros de cemento para su aprovechamiento en la construcción.

Para reducir la movilidad al medio ambiente y la toxicidad de los contaminantes presentes en los residuos de lodos del proceso de galvanizado, se utilizan procesos de estabilización y solidificación, que permiten la inmovilización de los componentes peligrosos con ayuda de aglomerantes y aditivos, estos tratamientos son flexibles, tanto en cuestión de contaminantes como en economía, pero según Chinchay (2014), para que tenga efectividad la técnica se tiene que tener en cuenta varios aspectos como: el material solidificante, el tipo de contaminante y su concentración, el medio donde está contenido y la compatibilidad entre estos tres aspectos (Piedra, 2015).

Los mecanismos de solidificación-estabilización, han sido ampliamente utilizados para gestionar aquellos residuos en los que se tiene dificultad para ser

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

reutilizados o tratados en su disposición final, por lo que se define a la solidificación como un cambio en las propiedades físicas del material contaminado, en otras palabras se refiere a las modificaciones que incluyen el encapsulamiento y aumento en la resistencia a la compresión, generando un material sólido inerte, por otra parte la estabilización se refiere a un cambio químico de los contaminantes en el material, utilizando, en algunos casos, aditivos para reducir el estado de oxidación de los componentes, transformándolos en un mortero, logrando así la minimización de la velocidad de migración al medio ambiente y el nivel de toxicidad (Piedra, 2015).

### *ENSAYO TCLP (procedimiento de lixiviación característico de toxicidad):*

El análisis de TCLP “Toxicity characteristic leaching procedure” es un método de extracción de muestra de sólidos que se utiliza en la clasificación de residuos en algunos productos que contienen químicos, en este estudio se lo utilizó para medir el nivel de solubilidad que poseen los metales pesados contenidos en los lodos de la procesadora VYMSA, el método a seguir es el EPA: 1311. Este método fue diseñado para determinar la característica de toxicidad por lixiviación de un residuo independientemente de su estado, sea líquido, sólido o mezcla entre estas fases, definiendo la movilidad en el residuo de determinados compuestos tóxicos que sean de origen orgánico e inorgánico (Keith, 2008).

### *Tipos de encapsulantes*

La técnica de encapsulación tiene como propósito encerrar e inertizar residuos de componentes tóxicos para lo cual la composición química del contribuyente encapsulado tiene gran relevancia para poder escoger la técnica de estabilización y solidificación adecuada para la gestión del residuo peligroso (Unlü, 2003).

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

Existe actualmente una gran variedad de materiales y técnicas para la encapsulación, tal como se detalla en la tabla 4, las aplicaciones de materiales como el cemento, puzolanas, termoplásticos y polímeros orgánicos termoestables para la estabilización de residuos sólidos con metales pesados; en el presente estudio se seleccionó el cemento portland por su compatibilidad con metales pesados, su disponibilidad en el mercado ecuatoriano y su posibilidad de valoración del residuo como material de construcción o aplicaciones arquitectónicas de uso urbano (Unlü, 2003).

*Tabla 4 Aplicación de materiales para la estabilización de residuos con metales pesados*

<b>Cemento</b>	<b>Puzolanas</b>	<b>Termoplástico</b>	<b>Polímero Orgánico Termoestable</b>
Compatible. Puede aumentar el tiempo de fraguado	Compatible. Eficacia demostrada sobre determinados elementos (plomo, cadmio, cromo)	Compatible. Eficacia demostrada sobre determinados elementos (plomo, cadmio, cromo)	Compatible. Eficacia demostrada con arsénico

*Autor: Unlü (2003)*

### *Cemento*

En la industria, el cemento es reconocido y ampliamente utilizado por su solidez, baja permeabilidad y durabilidad, esto lo convierte en un aglomerante hidráulico con una consistencia homogénea y con la facilidad de que con el agua; genera un material manejable, convirtiéndose en el principal agente de estabilización; de todas las marcas y tipos disponibles en el mercado, se prefiere el cemento Portland ya que según Unlü (2003) reduce la permeabilidad del material peligroso encapsulándolo para reducir su solubilidad y toxicidad.

Como se menciona anteriormente, el cemento portland forma parte de los conglomerantes hidráulicos, en otras palabras, según Barbudo (2015) son materiales artificiales de naturaleza inorgánica y mineral, que forman pastas que ingresan a procesos de fraguado y endurecimiento a causa de las reacciones de hidrólisis e hidratación de sus componentes, dando lugar a productos hidratados resistentes y

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

estables, prefiriéndose el cemento Portland cuya composición propia se detalla en la tabla 5, al momento de entrar en contacto con el agua la mezcla se vuelve alcalina.

*Tabla 5 Composición química del cemento Portland en porcentaje en peso*

COMPUESTO	COMPOSICIÓN QUÍMICA (%w)
Óxido de calcio (CaO)	61-67
Óxido de silicio (SiO <sub>2</sub> )	17-24
Óxido de aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3-8
Óxido férrico (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1-6
Óxido de Magnesio (MgO)	0,1-4
Óxido de sodio o potasio (Na <sub>2</sub> ó K <sub>2</sub> O)	0,5-1,5
Óxido de azufre (SO <sub>3</sub> )	1-3

*Autor: Piedra (2015)*

### **MÉTODOS**

En los lodos de la empresa se analizaron cinco metales pesados (cadmio, cobre, hierro, plomo y zinc) de los lodos almacenados, mediante análisis vía residuo y vía lixiviado, para determinar las concentraciones y cantidades de metales presentes en los lodos provenientes del proceso de galvanizado. Se establece, la mezcla óptima lodo-arena-cemento portland, para formar morteros de construcción con elevados índices de Inertización y una resistencia a la tracción suficiente para su utilización.

Con el propósito de evaluar el proceso de inertización de los lodos peligrosos utilizando cemento portland, se utilizaron métodos para medir y evaluar la solubilidad e insolubilidad de los constituyentes inorgánicos contenidos en el lodo, su capacidad de migración al ambiente y la resistencia a la compresión del lodo inertizado.

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

### *Caracterización Física y Química de los lodos del área de galvanizado.*

#### *Muestreo*

El muestreo constó de dos partes llevadas a cabo por la procesadora VYMSA en el área de almacenamiento de lodos de galvanizado, mismo que contiene dos contenedores IBC (Intermediate Bulk Container) y canecas a granel cerrado.

Para la primera etapa de muestreo se recolectaron los lodos de galvanizado en dos frascos plásticos con volumen de un L cada uno, con el que se trabajó en el laboratorio de la Universidad Internacional SEK para generar las primeras muestras se enviaron a analizar a un laboratorio acreditado contratado por parte de la empresa.

La segunda etapa consistió en obtener una caneca de 24,5 kg de lodo peligroso seco, con el cual se trabajó en el proceso de cementación y fabricación de los morteros de cemento que contiene los metales pesados.

El punto de recolección de los residuos de los lodos de galvanizado fue el contenedor plástico IBC (Intermediate Bulk Container), en el que se almacenan los lodos provenientes del proceso de fosfato 3 en 1 y del área de galvanizado indicados en las ilustraciones 2 y 3, mismos que son almacenados posteriormente en canecas de cinco galones a granel, cuando el contenedor se halla llenado en su totalidad.

Posteriormente en el laboratorio de “Procesos” de la Universidad Internacional SEK; la muestra de lodo de galvanizado fue caracterizada mediante parámetros físicos y químicos como: pH y humedad para ser utilizados en la evaluación de este estudio. Adicionalmente se procedió con la digestión ácida del lodo para su posterior análisis vía residuo de los metales, en un laboratorio acreditado.

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

### *Determinación de pH para sólidos.*

Para la determinación del pH de los lodos se empleó un medidor de pH Thermo Scientific modelo Orion Star A111 del laboratorio de “Procesos” de la Universidad Internacional SEK. Para lo cual, se colocaron 50 g de lodo en un vaso de precipitación de 100 mL, junto con 50 mL de agua destilada, se agitó y se dejó reposar el residuo por aproximadamente 12 h, para posteriormente introducir el electrodo en la mezcla. Se esperó hasta que la medida se estabilice en el equipo. Este procedimiento se repitió dos veces para la muestra de los lodos de galvanizado, registrándose el pH en cada ocasión.

### *Determinación gravimétrica de humedad*

La determinación de la humedad de los lodos producto del galvanizado se realizó por medio de la determinación gravimétrica de humedad en la que se utiliza una estufa de secado. Se pesó una muestra de 150 g aproximadamente en un Crisol (recipiente cerámico). La muestra fue sometida a secado en el horno a una temperatura de  $105 \pm 5$  °C, la muestra se retiró en un intervalo de 24h para ser pesada. El contenido de agua fue calculado utilizando la ecuación establecida en el estudio de Oviedo (2000):

$$w = \left[ \frac{M_{cms} - M_{cds}}{M_{cms} - M_c} \right] \times 100 \quad \text{Ecuación (1)}$$

En Donde:

$w$  = contenido de agua, %

$M_{cms}$  = masa del recipiente y la mezcla húmeda, g

$M_{cds}$  = masa del recipiente y la mezcla seca, g

$M_c$  = masa del recipiente, g

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

*Ensayo vía residuo para determinar la solubilidad de los constituyentes inorgánicos en los lodos de galvanizado.*

Las muestras de lodo seco de galvanizado entraron previamente a un proceso de trituración con un mortero y pistilo para disgregar los terrones formados y sacar pequeñas piezas metálicas, plásticas y materia orgánica que contenía el residuo.

De igual manera fueron las muestras de lodo de galvanizado fueron secadas en una estufa por un lapso de 24 horas a una temperatura de 105°C. Después del secado y triturado se obtuvo una textura homogénea y se procedió a pesarla en una balanza analítica hasta obtener cinco gramos.

Se siguió el procedimiento EPA: 3050B: Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils para la preparación de las muestras y el respectivo envió al laboratorio acreditado seleccionado para la determinación de la cantidad de constituyentes inorgánicos que contiene el lodo de galvanizado.

Para dar inicio al método de la EPA: 3050B, se colocó 1 g de muestra seca, previamente preparada en un matraz Erlenmeyer, posteriormente se añadió 5 mL de ácido nítrico concentrado y dar inicio a la digestión acida de los constituyentes inorgánicos (Agurto, 2016).

El matraz Erlenmeyer con la mezcla entre el lodo de galvanizado preparado y el ácido nítrico concentrado, se lo colocó sobre un calentador eléctrico de laboratorio, seteada a 95°C en un sistema de digestión de reflujo abierto colocando sucesivamente volúmenes de 5 mL de peróxido de hidrógeno, a través de la parte superior de un refrigerante, hasta completar la digestión acida, observando el cambio de color de la

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

solución, dando por terminado el proceso luego de la estabilización del color de la misma.

Una vez terminado el proceso de digestión se esperó a que la solución se enfriara y se procedió a filtrar mediante un papel filtro y se aforó la muestra a 100 mL (Agurto, 2016).

*Ensayo vía lixiviado para determinar la solubilidad de los constituyentes inorgánicos en los lodos de galvanizado.*

*Preparación de muestras del lodo de galvanizado sin inertizar*

Para que, en el presente ensayo, las muestras de lodo de galvanizado obtengan una textura uniforme, se utilizó el método anteriormente descrito en el ensayo vía residuo y así poder aplicar el procedimiento EPA: 1311: Toxicity Characteristic Leaching Procedure, mismo presenta las siguientes indicaciones:

Se pesaron y mezclaron la masa de lodo con una cantidad de fluido extractante igual a 20 veces el peso de la fase sólida, se colocó en un sistema de giro rotatorio y se mantuvo girando a  $20 \pm 2$  rpm durante 18 horas.

La temperatura se mantuvo entre  $22 \pm 3$  °C durante el periodo de extracción. El fluido extractante es función de la alcalinidad de la fase solida del residuo.

*Determinación del fluido extractante a utilizar:*

Se tomó una sub-muestra de la fase solida (5g), y se la redujo a un tamaño de partícula menor o igual a 1 mm de diámetro, colocándose en un Erlenmeyer de 500 mL.

Se añadió 96,5 mL de agua destilada y se agitó vigorosamente durante cinco minutos, utilizando un agitador magnético.

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

Se midió y anotó el pH; se podrían presentar dos casos, si es menor a 5, el fluido extractante a usar será el #1, si el pH es mayor a 5, se le añade 3,5 mL de ácido clorhídrico (HCl) 1 N (normal), durante 30 s, se calienta a ebullición y se hierve durante dos minutos. Se deja enfriar la solución a temperatura ambiente (no se usa baño de hielo) y se anota el pH, si es menor de 5 se usa el fluido extractante #1 y si es mayor a 5 se usa el fluido extractante #2 (EPA, 1992).

### *Para preparar el Fluido extractante*

Fluido extractante #2: se obtiene disolviendo 5,7mL de ácido acético glacial en agua destilada hasta un litro. El pH diluido deberá estar entre  $2,88 \pm 0,02$ .

Una vez identificado el fluido extractante, se dividió 1 litro de líquido extractante para 20 y se determinó el peso de la fase sólida que será sometido al fluido durante 18 horas de agitación.

Tras esta operación dictada por la EPA 1311, se recogió la fase líquida o extracto TCLP sobre la que se efectuaron los análisis en el laboratorio acreditado.

### *Dimensión para los moldes de los Morteros*

El dimensionamiento de morteros macizos se obtuvo de la norma INEN 293 que tiene por objeto establecer la clasificación, definiciones y condiciones generales de uso de los ladrillos, mismos que pueden variar entre los 39 cm x 19 cm x 9 cm y 29 cm x 14 cm x 9 cm. Para el presente estudio se decidió fabricar moldes de madera y obtener morteros de 34 cm x 16 cm x 9 cm que se encuentra dentro del rango establecido en la norma mencionada.

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

### *Mezcla*

Para la mezcla que se colocarán en los moldes, se definió la mezcla entre arena-cemento-lodo de galvanizado, que contiene dos variables: sin aglomerado considerado al 0% de lodo de galvanizado, conocido técnicamente como mortero y la segunda variable que comprende cinco porcentajes que representan cada uno como un mortero o probeta al 10%, 20%, 30%, 50% y 100% de composición en peso de lodo de galvanizado, para la mezcla cemento-arena.

Una vez obtenidos los porcentajes en peso, se realizaron las mezclas, mismas que se colocaron en los moldes anteriormente descritos para generar los morteros, mismos que sometidos al mismo tiempo de fraguado y condiciones de exposición, siete días de fraguado a temperatura ambiente de Quito, dado que se trata de imitar condiciones que se tendrán en la operación normal de producción.

Después de los siete días de fraguado, se obtuvieron los seis morteros, mismos que fueron sometidas a la prueba de resistencia manual, exceptuando el blanco ya que este no contiene ningún porcentaje del contaminante.

Una vez sometidas las probetas a los siete días de fraguado e introducidas en el líquido extractante, por el tiempo indicado en el método, se separó la fase sólida de la líquida y el líquido resultante se envió a análisis de metales pesados. Con estos resultados se procedió a calcular el porcentaje de inertización con la formula detallada en el trabajo de Oviedo (2000):

$$\%I = \left( \frac{C_o - C_f}{C_o} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación (2)}$$

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

En donde:

$C_o$  = *Concentración de metal en lixiviados en el lodo sinencapsular*

$C_f$  = *Concentración de metal en lixiviados en el lodo encapsulado*

### *Preparación de muestras del lodo de galvanizado*

Las probetas obtenidas se sometieron a la prueba de compresión manual, para clasificar aquellos morteros que se someterían a la prueba de compresión y lixiviación. Si la probeta se delezaba fácilmente, no superaba la prueba, y la que si lo hacía era seleccionada para las mencionadas pruebas.

Aquellas probetas que pasaron la prueba de compresión manual fueron sumergidas en el líquido extractante determinado durante 18 horas en tinas que permitan el flujo alrededor de los morteros, el líquido extractante deberá cumplir los mismos requerimientos que solicita la EPA: 1311 “*Se pesará y mezclara con una cantidad de fluido extractante iguala a 20 veces el peso de la fase sólida*”, una vez acabada la prueba se colocó el líquido en recipientes plásticos de 1L y se enviaron a analizar en el laboratorio acreditado.

### *Evaluación de la resistencia a la compresión del residuo encapsulado*

La evaluación a la resistencia se lo realizó en la máquina de ensayos universales que se observa en la ilustración 9, en el laboratorio de “Ensayo de materiales y modelos” de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Internacional SEK, para cumplir los requisitos de la norma INEN 1488 donde se establecen los requisitos mínimos necesarios de resistencia a la compresión que deben cumplir los morteros (probetas) correspondientes a la relación en porcentaje lodo-cemento-arena del presente estudio,

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

posteriormente las probetas fueron sometidas a ensayos de resistencia a la compresión, según la norma NTE INEN 1485.

*Tabla 6 Valores mínimos de resistencia a la compresión en adoquines por aplicación*

<b>Aplicación</b>	<b>Resistencia a la compresión MPa(Megapascal)</b>
Peatonal	20
Estacionamiento y calles residenciales	30
Caminos secundarios y calles principales	40

*INEN 1488, 1987b, p. 3*

### *Valoración Económica de los Morteros*

Con la finalidad de valorizar los morteros se verificó la factibilidad económica del proceso, se calculó y comparó el costo en dólares que representa el proceso de cementación de 12 kg de lodo contaminado para las diferentes composiciones lodo: encapsulante

En la tabla 7 se presentan los costos del material usado con el valor de venta al público en una distribuidora de material de construcción, mismos que dan los siguientes valores, 110 libras de cemento en 8 dólares americanos y las 5 libras de arena en 0,25 centavos de dólar.

*Tabla 7 Precio de los materiales utilizados en el proceso de encapsulado*

<b>Material</b>	<b>Presentación</b>	<b>Precio (USD + IVA)</b>
Cemento	13 kg	2,08
Arena fina	26 kg	2,86

*Fuente: Autor*

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los resultados de la primera etapa de investigación; pH y porcentaje de humedad de los lodos peligrosos de la procesadora, se verán reflejados en los anexos 1 y 2.

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

### *Ensayo Vía Residuo*

Una vez realizada la digestión de metales y preparada la muestra, los resultados obtenidos en el laboratorio de AqLab, se reflejan en el anexo 3 y se representaron en la ilustración 5 con unidades en mg/L, donde se observó que ninguno de los parámetros cumplen con la norma técnica. Los parámetros serán transformados a mg/kg y reflejados en la tabla 8, para así poder determinar, los valores originales que arroja el método vía residuo y obtener la cantidad de contaminante seco en la muestra. Se utilizó el factor de conversión descrita en la ecuación 3.

Según la metodología del procedimiento EPA: 3050B: Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils, el ácido nítrico concentrado es un agente oxidante muy fuerte atacó a los metales, generando la liberación de gases sofocantes; la reacción organoléptica que se suscitó al mezclar la muestra de lodo peligroso y el ácido nítrico fue: el aumento de temperatura, cambio de color de amarillo a verde sage (por la presencia de cobre) y un olor penetrante y sofocante.

Al colocar los 5 mL de peróxido de hidrógeno (agua oxigenada) a través del refrigerante en la estructura de digestión a reflujo abierto, aumentó la acción catalítica del ácido nítrico, visto que su uso principal es actuar como un agente oxidante para compuestos orgánicos e inorgánicos; el ácido nítrico al ser un fuerte oxidante, provocó que el peróxido de hidrógeno actúe como un agente reductor.

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

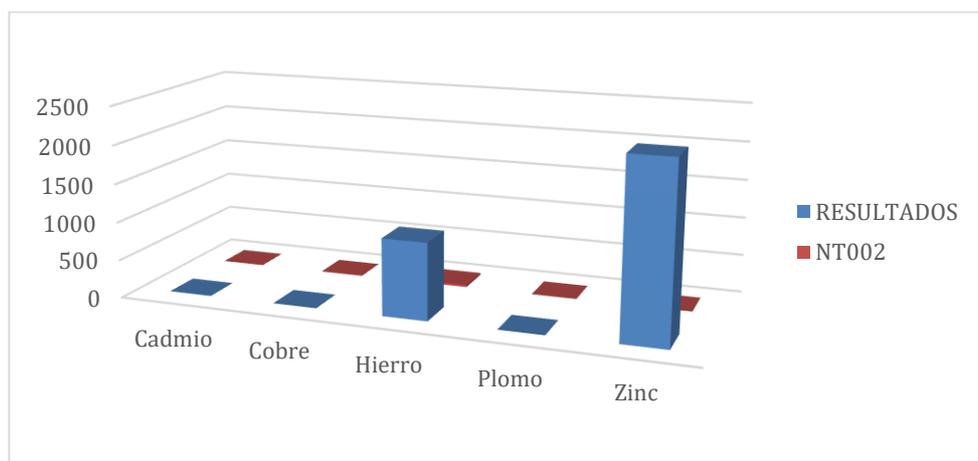


Ilustración 5 Concentración de metales pesados Vía Residuo (M1) en mg/L y comparación con la norma técnica NT002

Fuente: Autor

$$\text{Contaminante} \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{L}_{\text{sol}}}{1000 \text{ mL}_{\text{sol}}} \times \frac{100 \text{ mL}}{m_{\text{muestra}} \text{ g}} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}_{\text{muestra}}} \text{ Ecuación (3)}$$

En donde:

$m_{\text{muestra}}$  = Masa de la muestra de lodo de galvanizado

Para obtener:

$$\text{Contaminante} \frac{\text{mg}}{\text{L}} \rightarrow \frac{\text{mg}_{\text{contaminante}}}{\text{kg}_{\text{muestra}}}$$

Tabla 8 Transformación de las muestras vía residuo (M1) a mg/kg y vía lixiviado (M2) mg/L

Método	Muestra	m muestra (g)	Liq.extra (mL)	Aforado (mL)	Cd	Cu	Fe	Pb	Zn
Vía Residuo(mg/kg)	M1	5	-	100	2,6	24	20010	19,8	45600

Fuente: Autor

Obtenida la cantidad de contaminante seco de la muestra del ensayo vía residuo, se procedió a comparar los resultados con los límites máximos permisibles para extracción de metales pesados en base seca del Código Municipal Único en la tabla 9.

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

Tabla 9 Comparación del método Vía Residuo (M1) en mg/kg con la Código único Municipal; Límites máximos permisibles para extracción de metales pesados en base seca (Digestión Ácida)

		Base Seca		
	RESULTADOS	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	UNIDADES	CUMPLIMIENTO
<b>Cadmio</b>	2,6	85	mg/kg	Si
<b>Cobre</b>	24,0	NA	mg/kg	-
<b>Hierro</b>	20010,0	NA	mg/kg	-
<b>Plomo</b>	19,8	4300	mg/kg	Si
<b>Zinc</b>	45600,0	420	mg/kg	No

Fuente: Autor

Se puede observar altos valores de Cobre y Hierro, sin embargo, la norma técnica de residuos peligrosos del Código Municipal Único, no establece límites máximos permisibles, debido a este vacío legal, no se puede determinar el incumplimiento legal.

Se evidenció la presencia de limaduras metálicas halladas en las muestras, provocando que los valores del Hierro y Zinc sean más insolubles a diferencia del Cadmio y Plomo quienes cumplen con los límites máximos permisibles y se disolvieron completamente.

Las limaduras metálicas mencionadas al momento de ingresar al proceso de digestión a reflujo abierto aportaron al incremento de las concentraciones del Hierro y Zinc. Éstas fueron halladas al momento de utilizar los agitadores magnéticos para determinar el líquido extractante y al agitar la muestra directamente con dicho líquido al utilizar el método vía lixiviado, estas limaduras metálicas tuvieron una reacción magnética, hallándose en los extremos laterales en forma de polvillo de color tiznado.

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

### *Ensayo Vía Lixiviado*

Siguiendo la metodología EPA: 1311 para el desarrollo del líquido extractante, en el laboratorio de la Universidad Internacional SEK, se obtuvo un valor de pH alcalino de 10.15, entrando en los parámetros requeridos para el desarrollo del fluido extractante #2 como se establece en el procedimiento EPA: 1311.

Las muestras líquidas del ensayo vía lixiviado se rotularon con la etiqueta “M2”, de igual manera que en los resultados presentados en los análisis realizados en el método vía residuo por el laboratorio acreditado, las muestras de lodos peligrosos se sometieron al procedimiento EPA: 1311: Toxicity Characteristic Leaching Procedure.

Una vez obtenidos los valores del ensayo vía lixiviado se lo comparó con los siguientes ítems: Límites máximos permisibles en el extracto PECT (Prueba de Lixiviación) para constituyentes inorgánicos (metales pesados) y los límites máximos permisibles de descargas líquidas a cauce de agua para constituyentes inorgánicos (metales pesados) del Código Municipal Único, los resultados obtenidos son reflejados en la tabla 10.

*Tabla 10 Resultados de concentración de metales en el método TCLP (Vía Lixiviado) (M2) en mg/L y comparación con la norma técnica NT002 Y NT005*

PARÁMETROS	RESULTADOS	Descargas líquidas a cauce de agua		UNIDADES	CUMPLIMIENTO
		LIMITE MÁXIMO PERMISIBLE	Lixiviados		
<b>Cadmio</b>	0,09	0,02	1,0	<b>mg/L</b>	<b>No</b>
<b>Cobre</b>	0,69	1,0	NA	<b>mg/L</b>	<b>Si</b>
<b>Hierro</b>	22,14	25,0	NA	<b>mg/L</b>	<b>Si</b>
<b>Plomo</b>	0,48	0,5	5,0	<b>mg/L</b>	<b>Si</b>
<b>Zinc</b>	8,89	2,0	NA	<b>mg/L</b>	<b>No</b>

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

Fuente: Autor

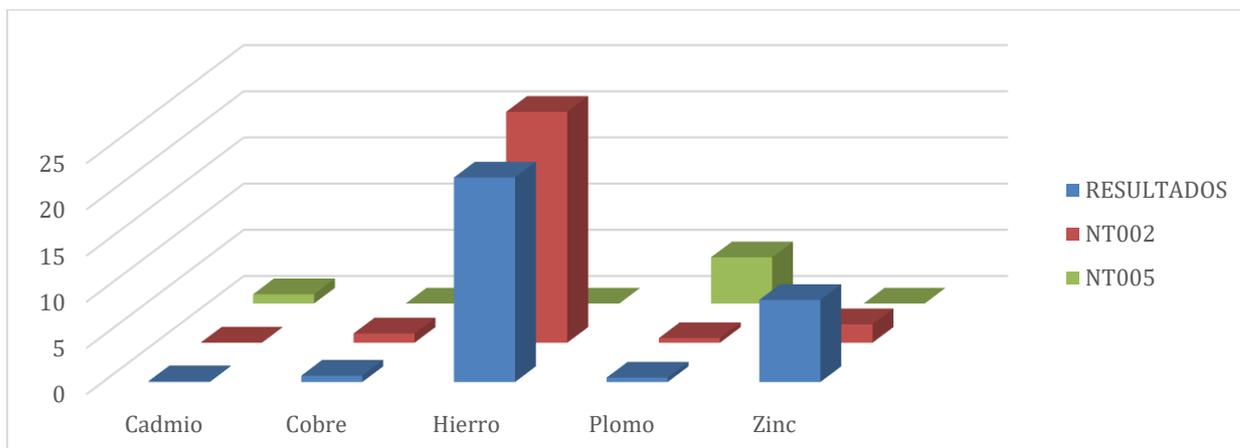


Ilustración 6 Concentración de metales pesados en el método TCLP (Vía Lixiviado) (M2) en mg/L y comparación con comparación con la norma técnica NT002 Y NT005

Fuente: Autor

Después de comparar la tabla 10 con la normativa, se observó en la ilustración 6 la muestra de lodo contiene 0,69 mg/L de cobre, 22,14 mg/L de hierro y 0,48 mg/L de plomo soluble, valores que cumplen la normativa técnica NT002, a diferencia del cadmio y zinc que no cumplen con dicha norma, por otra parte, el ensayo vía lixiviado de lodos de galvanizado refleja la solubilidad que contienen el resto de metales frente al líquido extractante, siendo así, la norma técnica NT005 para el hierro, cobre y zinc no se establecen límites máximos permisibles en el extracto PECT para constituyentes inorgánicos, debido a este vacío legal, no se puede determinar el incumplimiento legal, a diferencia del plomo y cadmio.

### *Preparación de Morteros para ser sometido al líquido extractante*

Una vez obtenidos los moldes de madera rectangulares con las medidas 34 x 16 x 9 cm para contener la mezcla lodo-cemento-arena y generar las probetas necesarias que fueron sometidas al líquido extractante y a la prueba de compresión, se obtuvo el siguiente balance en peso del residuo frente a la arena y cemento, para la elaboración de los bloques.

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

*Tabla 11 Balance Lodo-arena-cemento*

Componente		Relación en porcentaje Lodo-cemento-arena (%)					
		Mortero 1/ 0%	Mortero 2/ 10%	Mortero 3/ 20%	Mortero 4/ 30%	Mortero 5/ 50%	Mortero 6/ 100%
<b>Mortero</b>	<b>Lodo seco(residuo)</b>	0	150	300	450	750	1000
	<b>Arena (g)</b>	1000	1000	1000	1000	1000	1000
	<b>Cemento (g)</b>	500	500	500	500	500	500

*Fuente: Autor*

Después de haber colocado las mezclas de lodo de galvanizado-arena-cemento en cada molde, fueron sometidas a los 7 días de fraguado y a temperatura ambiente requeridos para la formación de los morteros, una vez fraguados y listos, se sometieron a la prueba de resistencia manual, que consistió en aplicar presión mínima con las manos para determinar la resistencia de los morteros fabricados, de los cuales el mortero 2 y 6 no resistieron la presión ejercida a diferencia de las otras tres probetas, al mortero 1 no se lo toma en cuenta para la prueba de resistencia manual porque es el mortero que no contiene lodo de galvanizado, por ende no va tener pérdida de resistencia o se verá afectado por el lodo.

Al momento de retirar los morteros de cemento del molde, se pudo observar que las superficies de los moldes tenían una cubierta de característica mohosa y emanaban un fuerte aroma de humedad y fermentación, de igual manera la composición de las esquinas se deshacía con facilidad de los moldes, no era compacta y firme, esta reacción es anormal en la formación de morteros, siendo una característica negativa debido a que deben mantener una forma uniforme.

Se pudo observar que al momento de someter al primer mortero a la prueba manual, se partió por la mitad liberando un olor fermentado, de igual manera se presenciaron colores opacos a causa de la humedad contenida en el interior del mortero, lo

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

mismo pasó con el quinto mortero, rompiéndose en tres partes y divisándose un color amarillento por las superficies y en el interior tonos más oscuros, por otra parte la constitución de las probetas o morteros 3, 4 y 5 era más firme y compacta, lo que les permitió resistir la prueba de presión manual, las características de las probetas eran similares en olor y color a las que no resistieron la prueba.

Para poder realizar las pruebas de compresión y TCLP, se replicaron las probetas o morteros 3, 4 y 5, dado que si se sometían ambas pruebas, a la misma probeta de cada mezcla, estas no tendrían las mismas propiedades físicas que se requería para cada proceso, generando que los valores sean erróneos o no se pueda realizar la prueba.

### *Prueba TCLP para morteros 1,3, 4 y 5*

Una vez pesada cada probeta se continuó con el procedimiento de la EPA 1311 mencionado en la metodología, mismo que determina la cantidad de líquido extractante necesario para que las probetas sean sumergidas. Al realizar el análisis se observó que los valores en volúmenes para el agua destilada y ácido acético glacial, eran demasiado elevados. Por ejemplo, la cantidad de líquido extractante requerido para la segunda probeta fue de 76386,6 mL de agua destilada y 435,4 mL de ácido acético glacial, dando un total de 76822 mL, que en litro representa 76,82 L.

Como se había mencionado anteriormente, los volúmenes de ácido acético glacial y agua destilada son muy elevados por lo que se decidió disminuir la relación del líquido extractante con la masa de residuo, adicionalmente fue necesario preparar un volumen menor acorde a la capacidad de almacenamiento del contenedor, por lo cual fue necesario calcular la cantidad de agua destilada y de ácido acético glacial,

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

asumiendo que la capacidad máxima de los contenedores es de 10 L, para evitar el derrame del líquido extractante cuando las probetas sean sumergida.

En la tabla 12 se muestra la transformación de los 10 L de capacidad del contenedor a una unidad de masa para poder aplicar la ecuación #4 y retirar la masa de la probeta, obteniendo la diferencia entre el valor máximo de capacidad y la masa del mortero

$$V_{cont} - m_{Mort} \quad \text{Ecuación (4)}$$

Donde:

$V_{cont}$  = Volúmen máximo del Contenedor

$m_{Mort}$  = Masa del Mortero

Tabla 12 Cálculo para la determinación de líquido extractante para una tina de 10L de capacidad

PROBETAS	Tranf. 10L a g	MASA DEL MORTERO (g)	Resultado (g)	Resul. Tranf. g a L
Blanco	10000	1500,0	8500,0	8,5
2	10000	3819,3	6180,7	6,2
3	10000	2048,8	7951,2	8,0
4	10000	2717,2	7282,8	7,3

Fuente: Autor

En la tabla 16 se observa la cantidad de agua destilada que debe poseer el líquido extractante a los 10 L de capacidad máxima asumidos, debido a que inicialmente se obtuvo la masa a partir de las probetas construidas, a diferencia del procedimiento que establece la EPA 1311 donde la incógnita inicial era la masa.

En la tabla 13 se observa la cantidad de ácido acético glacial en L, para la cantidad de agua destilada propuesta en la tabla 12, por lo que se realiza factores de conversión para cada uno de los metales, como se indica en la siguiente fórmula:

INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA  
VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

$$\frac{C_f H_2O \times \text{Ácido} C_o}{C_o H_2O} = x \quad \text{Ecuación (5)}$$

Donde:

$C_o H_2O$  = Concentración inicial de agua destilada

$C_f H_2O$  = Concentración final de agua destilada

Ácido  $C_o$  = Concentración de ácido inicial

Tabla 13 Cálculo para la determinación de la cantidad de ácido acético glacial requerido

PROBETAS	$C_f H_2O$ (L)	Ácido $C_o$ . (L)	$C_o H_2O$ (L)	Ácido $C_f$ . (L)
<b>Blanco</b>	8,5	0,171	3	0,484
<b>2</b>	6,18	0,435	76,3866	0,035
<b>3</b>	7,951	0,234	40,976	0,045
<b>4</b>	7,282	0,310	54,344	0,041

Fuente: Autor

Una vez obtenidas las proporciones de líquido extractante se sumergieron los morteros de cemento en dicho líquido durante 18 h, con la finalidad de poder obtener el porcentaje de inertización y la efectividad del método de cementación, tomando en cuenta que al ser sumergidas las probetas en la solución, estas perderán resistencia; se evidenció la presencia de agrietamientos en las probetas, aumentando la cantidad de superficie de contacto sólido-líquido, se tomaron muestras del líquido extractante de los alrededores de las probetas, para después ser llevadas al laboratorio privado AqLab (Laboratorio de Análisis y Evaluación Ambiental) y así determinar las cantidades de los metales (cadmio, cobre, hierro, plomo y zinc) que probablemente se disolvieron y provienen de los morteros, los resultados obtenidos se reflejan en las tablas 18, 19, 20 y 21.

**INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA  
VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN**

*Tabla 14 Resultado del mortero 1 (Muestra Blanco)*

PARÁMETROS	RESULTADOS	LIMITE MÁXIMO PERMISIBLE		UNIDADES
		Descargas líquidas a cauce de agua	Lixiviados	
<b>Cadmio</b>	<0,03	0,02	1	<b>mg/L</b>
<b>Cobre</b>	<0,20	1,0	NA	<b>mg/L</b>
<b>Hierro</b>	0,23	25,0	NA	<b>mg/L</b>
<b>Plomo</b>	<0,15	0,5	5	<b>mg/L</b>
<b>Zinc</b>	0,85	2,0	NA	<b>mg/L</b>

*Fuente: Autor*

*Tabla 15 Resultado de la Mortero 3 con 20% de concentración de lodo peligroso*

PARÁMETROS	RESULTADOS	LIMITE MÁXIMO PERMISIBLE		UNIDADES	CUMPLIMIENTO
		Descargas líquidas a cauce de agua	Lixiviados		
<b>Cadmio</b>	<0,03	0,02	1	<b>mg/L</b>	<b>Si</b>
<b>Cobre</b>	<0,20	1,0	NA	<b>mg/L</b>	<b>Si</b>
<b>Hierro</b>	69,14	25,0	NA	<b>mg/L</b>	<b>No</b>
<b>Plomo</b>	0,3	0,5	5	<b>mg/L</b>	<b>Si</b>
<b>Zinc</b>	2,95	2,0	NA	<b>mg/L</b>	<b>Si</b>

*Fuente: Autor*

*Tabla 16 Resultado de la Mortero 4 con 30% de concentración de lodo peligroso*

PARÁMETROS	RESULTADOS	LIMITE MÁXIMO PERMISIBLE		UNIDADES	CUMPLIMIENTO
		Descargas líquidas a cauce de agua	Lixiviados		
<b>Cadmio</b>	<0,03	0,02	1	<b>mg/L</b>	<b>Si</b>
<b>Cobre</b>	<0,20	1,0	NA	<b>mg/L</b>	<b>Si</b>
<b>Hierro</b>	20,94	25,0	NA	<b>mg/L</b>	<b>Si</b>
<b>Plomo</b>	0,22	0,5	5	<b>mg/L</b>	<b>Si</b>
<b>Zinc</b>	1,72	2,0	NA	<b>mg/L</b>	<b>Si</b>

*Fuente: Autor*

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

*Tabla 17 Resultado de la Mortero 5 con 50% de concentración de lodo peligroso*

PARÁMETROS	RESULTADOS	Descargas líquidas a cauce de agua		UNIDADES	CUMPLIMIENTO
		LIMITE MÁXIMO PERMISIBLE	Lixiviados		
<b>Cadmio</b>	<0,03	0,02	1	<b>mg/L</b>	<b>Si</b>
<b>Cobre</b>	<0,20	1,0	NA	<b>mg/L</b>	<b>Si</b>
<b>Hierro</b>	26,62	25	NA	<b>mg/L</b>	<b>No</b>
<b>Plomo</b>	0,17	0,5	5	<b>mg/L</b>	<b>Si</b>
<b>Zinc</b>	4,24	2,0	NA	<b>mg/L</b>	<b>Si</b>

*Fuente: Autor*

Se pudo determinar que los resultados de la tabla 14 se encuentran dentro de los parámetros de la legislación del Código Municipal Único. Los valores del blanco se restaran a los de las tablas 15-16 y 17, para descartar el aporte del cemento portland en los morteros y así determinar con precisión los valores reales de los metales que son solubles.

A partir de aquí los morteros 3, 4 y 5 serán considerados como probetas 1, 2 y 3, para poder tener un mejor entendimiento.

Los resultados de las probetas 1,2 y 3 indican que los valores de cadmio y cobre se encuentran por debajo del mínimo nivel de detección del equipo, esto quiere decir a valores inferiores a 0,02 mg/L para el Cadmio y 1 mg/L para el cobre cumpliendo con la normativa NT002, a diferencia del hierro en las probetas 1 y 3 que excede los valores máximos permisibles, por otra parte existe un vacío legal en la norma técnica NT005, para los valores de cobre, hierro y zinc, por lo cual no se puede determinar un incumplimiento a la norma.

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

Tabla 18 Resultados de la diferencia matemática entre los valores del blanco y las probetas

PARÁMETROS	P1/ 20%	P2/ 30%	P3/ 50%	Unidades
Cadmio	0	0	0	mg/L
Cobre	0	0	0	mg/L
Hierro	68,91	20,71	26,39	mg/L
Plomo	0,15	0,07	0,02	mg/L
Zinc	2,1	0,87	3,39	mg/L

Fuente: Autor

En la tabla 18 se pudo observar que a medida que se incrementa la cantidad de lodo en el proceso de cementación, la concentración de metales que son detectados por el equipo es menor, como se puede evidenciar en el caso del plomo disminuyendo de 0,48 mg/L a su mínimo valor al 50% de contaminante de 0,02 mg/L, de igual manera los resultados del plomo al 20 y 30% siguen siendo valores que superan los valores máximos permisibles, por otra parte, en el caso del zinc, los valores obtenidos también cumplen con los valores estipulados en la legislación a pesar de evidenciarse un aumento intermitente del porcentaje de concentración del 20 al 50% de cantidad del lodo peligrosos.

En el caso del hierro se puede destacar el aumento que existe entre el valor inicial de 22,14 mg/L a 68,19 mg/L al 20%, 20,70 al 30% y 26,39 mg/L al 50% de composición en peso de lodo peligroso, debido a una reacción Redox entre el hierro contenido en el lodo peligroso y el óxido de azufre contenido en la composición del cemento portland en la tabla 5, provocando el cambio de estado de oxidación del hierro generando el aumento de los valores de concentración, de igual manera como se evidenció gran cantidad de humedad contenida en el interior de los morteros, esta actuaría como catalizador de la reacción.

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

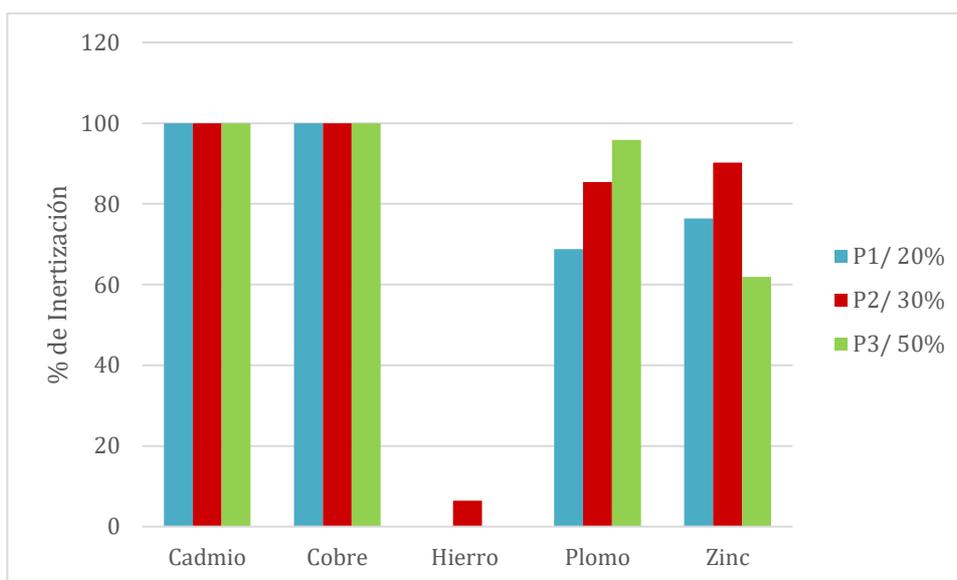
### *Porcentaje de inertización de los lodos de galvanizado*

Con el porcentaje de inertización se puede evaluar la cantidad de contaminante contenido en las probetas y cuánto fue la transferencia de material que hubo en el líquido extractante, para lo que se utilizó la ecuación 2.

*Tabla 19 Cálculo del porcentaje de inertización de lodos peligrosos del proceso de galvanizado*

PARÁMETROS	Relación en porcentaje Lodo-cemento-arena (%)		
	P1/ 20%	P2/ 30%	P3/ 50%
<b>Cadmio</b>	100	100	100
<b>Cobre</b>	100	100	100
<b>Hierro</b>	0	6,459	0
<b>Plomo</b>	68,750	85,417	95,833
<b>Zinc</b>	76,378	90,214	61,867

*Fuente: Autor*



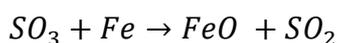
*Ilustración 7 Porcentaje de inertización de lodos peligrosos del proceso de galvanizado*

*Fuente: Autor*

En la ilustración 7 se compararon las especies químicas o constituyentes inorgánicos de las probetas 1,2 y 3, dando como resultado la inertización del 100% del cadmio y cobre, por otra parte en el caso del plomo utilizando los valores de la tabla 23 se puede apreciar que la mayor cantidad inertizada del metal se encuentra en la probeta 3 al 50% de lodo peligroso, siendo contenido el 95,833% , mientras que el zinc posee el

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

90,214% de inertización en la segunda probeta que contiene el 30% del lodo, por otra parte el hierro paso por un mecanismo de oxidación por la combinación entre el óxido de azufre que contiene el cemento portland sobre las limallas de hierro contenido en el lodo, provocando el cambio de fase a óxido de hierro según Ortiz (2017):



Produciendo óxido de hierro más dióxido de azufre en fase gaseosa, siendo el óxido de hierro insoluble en el medio ácido al que fue sometido, obteniendo un aumento en su peso molecular, debido a que se formó a partir de un proceso electroquímico, formando núcleos que se entrelazan permitiendo el transporte de masa de los iones en una dirección normal a la superficie impidiendo la interacción con el encapsulante y aumentando el valor en las muestras (Ortiz, 2017).

*Evaluación de la resistencia a la compresión del residuo encapsulado de las probetas duplicadas.*

Como se mencionaba, se requería obtener réplicas de aquellas probetas que no se hayan deshecho en la prueba manual que se muestra en la tabla 13, correspondientes a las probetas 1,2 y 3 que contienen las cantidades de 20%, 30% y 50% de relación en porcentaje lodo-cemento-arena.

Posteriormente de que los morteros duplicados fuesen sometidos a la compresión en la máquina de ensayos universales se obtuvieron los resultados reflejados en la tabla 20, en donde se demuestra que la composición que posee el lodo de la procesadora VYMSA influye directamente en la resistencia a la compresión de los bloques preparados, dado que podría contener presencia de material orgánico, aceites y

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

grasas provenientes de los procesos de desengrase de las piezas que serán sometidas al galvanizado, quienes quitarían resistencia en la formación de los morteros.

Tabla 20 Resultados de resistencia a la compresión

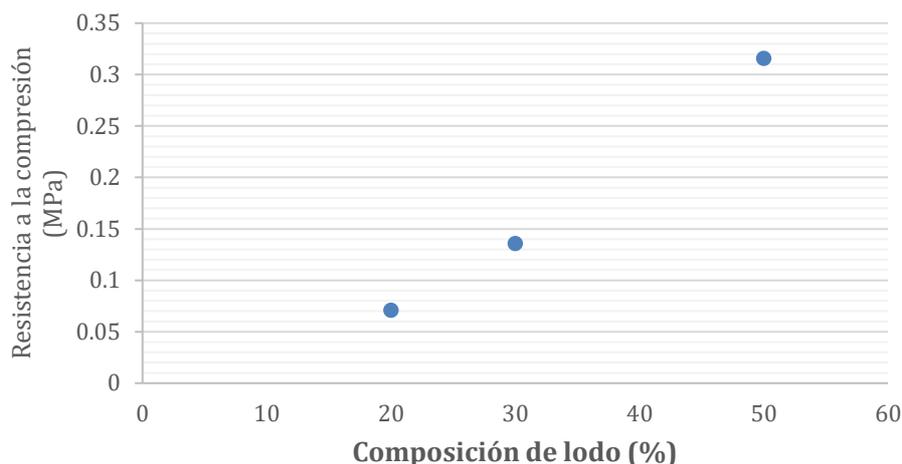
Composición de lodo (%)	Resistencia a la compresión	NTE INEN 1488	Unidades	Cumplimiento
20	0,071	20	MPa	No
30	0,136	30	MPa	No
50	0,316	40	MPa	No

Fuente: Autor

En base a la tabla 24 se observa que a medida que se incrementa la concentración de lodo para la formación de las probetas, se incumple con la normativa INEN 1488 de la resistencia a la compresión que exhibe, a pesar que los valores sean mínimos, estos aumentan paulatinamente.

Al momento de usar la máquina de ensayos universales se observó que la probeta al 20% de composición de lodo se delezno con gran facilidad a diferencia de la probeta al 50% que a pesar de estar despedazada por los costados y cuarteada por el centro, mantuvo resistencia mayor al resto, su centro se mantuvo como un cuadrado que no se deshacía a pesar de estar cuarteada, lo que podría dar falsos valores de resistencia, por consiguiente la resistencia se vería afectada por las variables anteriormente mencionadas, el factor orgánico, presencia de grasas, el porcentaje de humedad que se puede albergar en el interior de las probetas y el dimensionamiento son variables que pueden generar que se impida la compactación y la interacción química de los componentes en el caso de contener grasas.

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN



*Ilustración 8 Resistencia a la compresión en bloques (MPa)*

*Fuente: Autor*

Como se puede observar en la ilustración 8, a mayor porcentaje de lodo la resistencia a la compresión va ser mayor, a pesar de poseer factores en contra como la humedad ya que puede llegar a quitar las propiedades en que el encapsulante se adhiera a los metales que constituye el lodo, de igual manera las dimensiones del mortero juega un papel importante, ya que al momento del fraguado ciertas probetas perdieron grosor, siendo más pequeñas que otras, provocando que su resistencia fuera mayor que aquellas probetas que eran más robustas.

### *Valoración Económica de los morteros de mejor resistencia y porcentaje de inertización*

Se realizó el análisis para el valor económico, tomando una probeta del método vía lixiviado y otra del proceso de compresión, aquella probeta que contenga el mayor porcentaje de inertización y resistencia durante los procesos será seleccionada.

En el primer aspecto se seleccionó a la probeta 2 con el 30% de lodo, con un rango entre el 80 y 90% de inertización para el plomo y zinc, siendo la única que logra

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

inertizar al hierro en un 6,5%. Para el método de compresión se escoge a la probeta 3, porque presentó mayor capacidad de resistencia a pesar de no haber cumplido con la normativa INEN 1488.

Como se mencionó anteriormente para poder rellenar los bloques de manera precisa, se realizó un número de mezclas por molde; dicho proceso, se refleja en la Tabla 21 que contiene la composición de la mezcla 2:1 (Arena – Cemento) de la Tabla 11.

*Tabla 21 Volumen de uso (arena-cemento)*

% de lodo	Componentes		Numero de repeticiones de mezcla	Cantidad total de (Arena)(g)	Cantidad total de (Cemento)(g)	Cantidad total de (Arena-Cemento) (g)
	Mezcla inicial (Arena-Cemento)					
	Arena	Cemento				
P2/30	1000	500	3	3000	1500	4500
P3/50	1000	500	2	2000	1000	3000

*Fuente: Autor*

El costo de las probetas se obtuvo a partir de un factor de conversión usando los valores entre la Tabla 21 y Tabla 7, como se detalla a continuación:

Formula:

$$\frac{M_f \times \$_o}{M_o} = x \quad \text{Ecuación (6)}$$

Donde:

$M_o$  = Cantidad de masa adquirida

$M_f$  = Cantidad de masa utilizada

$\$_o$  = Costo

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

*Tabla 22 Precio estimado de cada mortero*

	Requerida	Material comprado	Cantidad de (Arena)	Cantidad de (Cemento)	Precio al que se adquirió	Precio (USD + IVA) unitario	Costo de cada mortero
<b>P2/30% lodo</b>	Cantidad total de (Arena)	3 kg.	26 kg.	-	\$2,86	\$0,33	\$0,57
	Cantidad total de (Cemento)	1,5 kg.	-	13 kg.	\$2,08	\$0,24	
<b>P3/50% lodo</b>	Cantidad total de (Arena)	2 kg.	26 kg.	-	\$2,86	\$0,22	\$0,38
	Cantidad total de (Cemento)	1 kg.	-	13 kg.	\$2,08	\$0,16	

*Fuente: Autor*

La Tabla 22 indica los valores monetarios y su contenido de material de construcción (arena y cemento) transformados a kg de cada mortero de cemento. Observamos que la probeta 2 con un 30% de lodo nos indica que contiene 3 kg de arena más 1,5 kg de cemento, dando un costo de \$0,57 centavos de dólar. Probeta 3 con un 50% de lodo contiene 2kg de arena más 1kg de cemento, dando un costo de \$0,38 centavos de dólar. En cuanto a costo la probeta 2 contiene más material de construcción que la probeta 3

### **Conclusiones y Recomendaciones**

- El método realizado en el presente trabajo funciona para aquellos lodos que sean secos y que no contengan grasas y aceites; por lo que, se recomienda a la procesadora VYMSA que se realice una correcta separación y disposición final de los efluentes provenientes del proceso de galvanizado con los de desengrasado y lavado.
- El proceso de la EPA: 1311 no funciona para sólidos que contengan mediano o gran peso de masa, puesto que en las indicaciones para la determinación de líquido extractante, se necesita que se multiplique por 20 veces el peso de la fase

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

sólida, lo cual originaría el requerimiento de grandes volúmenes del líquido como sucedió en el presente trabajo, mismo que no es factible.

- En el estudio se determinó que las dimensiones de los morteros no deben ser iguales o mayores a las medidas establecidas en la norma INEN 293, mismas que están entre los 39 x 19 x 9 cm y 29 x 14 x 9 cm, debido a que al someter los morteros al proceso de compresión en la máquina de ensayos universales; estas se desintegraba de inmediato presentando bajos niveles de resistencia como se ve en la tabla 24; por lo que se sugiere construir las probetas en forma de adoquines estandarizados con la norma INEN 3040, ya que estos tienen dimensiones menores, requiriendo menos material y su funcionamiento se puede enfocar a la aplicación de arquitectura de uso urbano de baja presión y no para construcción de edificaciones.
- Al momento de realizar la relación 2:1 (arena-cemento) se recomienda que se incorpore el uso de gravilla, siendo este un aglomerante que brindara una mayor resistencia y consistencia al adoquín.
- A todos los morteros se los sometieron a siete días de fraguado, se detectó la presencia de humedad; quien juega un papel importante en la composición y resistencia de las probetas, generando que estas presenten una oxidación Redox y una mala interacción entre el lodo-encapsulante; bajo este contexto se recomienda un tiempo de fraguado de 21 días para evitar la presencia de humedad.
- En el ensayo vía residuo se observó que la composición la cantidad de contaminante seco en la muestra, tenía 20010 mg/kg de hierro y 45600 mg/kg de zinc, indicando la pérdida de material por parte de la procesadora VYMSA, lo

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

cual es necesario y urgente realizar un tratamiento de recuperación del mismo antes de realizar el proceso de inertización por cementación.

- El método vía lixiviado demostró que la probeta 3, tuvo éxito para la inertización de todos constituyentes inorgánicos analizados, obteniendo los porcentajes de inertización más altos entre el 80% y el 90% de efectividad en el plomo y zinc, un 100% en el cadmio y cobre, y un 6,5% en el hierro siendo el uno proceso con relación arena-cemento-lodo que logró inertizar al hierro, cumpliendo con las normas técnicas NT002 y NT005.
- El método funcionaría de mejor manera si se realizaría un análisis cretib de muestras tomadas in-situ de cada uno de los procesos que se encuentran dentro del área del galvanizado, aumentar el número de ensayos (probetas) que contengan diferentes tipos de conglomerantes que ayudarían a determinar la mejor constitución del mortero, trabajar con diferentes medidas de morteros o adoquines, complementar con equipos de secado que garantice la pérdida de humedad y facilite el tiempo de fraguado.

### Literatura citada

- Agurto, D. A. (2016). *EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO, ALUMINIO Y COBRE EN AGUAS, SUELOS Y SEDIMENTOS DE LA RESERVA BIOLÓGICA LIMONCOCHA PARA ESTABLECER LA LÍNEA BASE, 2015-2016*. Quito- Ecuador: UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK.
- Barbudo, M. Á. (2015). *INTRODUCCIÓN A LA FABRICACIÓN Y NORMALIZACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND*. España: Universidad de Alicante.
- Blackburn, W. S. (1988). *Estudio colaborativo del procedimiento de lixiviación característica de toxicidad (TCLP). En Pruebas de Residuos y Garantía de Calidad*. ASTM International.
- Chinchay, M. D. (2014). *Encapsulamiento de metales pesados en matriz concreto con cemento tipo 5*. Lambayeque-Peru: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Costales, J. O. (2009). *INVESTIGACIÓN SOBRE INERTIZACION Y SOLIDIFICACIÓN DE CENIZAS DE UN INCINERADOR EN LA INDUSTRIA PETROLERA*. Quito: Universidad Internacional SEK.

## INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

- Decker, C. S. (2014). *ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL EXPOST DE LAS INSTALACIONES Y ACTIVIDADES DE GALVANIZADO Y PINTURAS ELECTROSTÁTICAS POR PARTE DE LA EMPRESA METAIN S.A.* Guayaquil-Ecuador.
- EPA. (1992). *Método 1311. Procedimiento de lixiviación característico de toxicidad.* Estados Unidos.
- Gregg, M. B. (2014). *Gestión de Residuos Tóxicos, tratamiento, eliminación y recuperación de suelos.* Mexico: (1era. ed.) McGraw Hill.
- Jaimes, L. J. (2017). *DETERMINACIÓN DE LA CARACTERÍSTICA DE TOXICIDAD POR LIXIVIACIÓN (TCLP) DEL PRINCIPIO ACTIVO CARBOSULFAN EN EL PLAGUICIDA DE USO COMERCIAL EN UN SUELO DE CULTIVO DE PAPA DE VILLAPINZÓN, CUNDINAMARCA.* BOGOTÁ D.C.: UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS.
- Morales, T. (Jueves de Enero de 2019). Lodos de los procesos de Galvanizado . (S. Gordon, Entrevistador)
- Ortiz, A. (2017). *Oxidación Y Corrosión* . Mexico: Instituto tecnológico de Toluca.
- Oviedo, E & Coral, K. (2000). *Inertización de cenizas de un incinerador en la industria petrolera.* Quito: UISEK.
- Piedra, L. G. (2015). *Diseño de una planta de tratamiento de lodos provenientes de la industria de galvanizado, mediante encapsulado.* Quito: Escuela Politecnica Nacional.
- Posada, M. (2010). *SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN COMO TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES GALVANICAS.* Bogota: Universidad de Nueva Granada .
- Sandoval, B. I. (2018). *Estudio de la evolución del sector metalmecánico cuya actividad es la fabricación de metales comunes en el Ecuador en el período 2010-2015.* Quito: Universidad Andina Simon Bolivar .
- Simba, F. X. (2008). *Análisis comparativo de los ensayos para pinturas y recubrimientos electrolíticos bajo normas INEN.* Quito : Escuela Politecnica Nacional.
- Unlü, K. (2003). *Comparison of Two Leaching Tests to Assess the Effectiveness of Cement-Based Hazardous Waste Solidification/Stabilization.* Ankara -Turquia: Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences.
- VYMSA. (2018). *Recubrimientos electroquímicos para piezas metálicas.* Quito: Procesadora VYMSA.

### Normativa

- Concejo de Distrito Metropolitano de Quito. (2016). *Código Municipal Único.* Quito. Ecuador.
- Concejo del Distrito Metropolitano de Quito. (2016). *Código Municipal Único.* Quito. Ecuador.
- Concejo del Distrito Metropolitano de Quito. (2016). *Norma técnica para el control de descargas líquidas; NT002.* Quito. Ecuador: Código Municipal Único.
- Concejo del Distrito Metropolitano de Quito. (2016). *Norma técnica de desechos peligrosos y especiales; NT005.* Quito, Ecuador: Código Municipal Único.
- Norma INEN 293. (2014). *Ladrillos Ceramicos. Definiciones. Clasificación y Condiciones Generales.* Quito, Ecuador
- Norma INEN 1485. (1986). *Adoquines. Determinación de la resistencia a la compresión.* Quito, Ecuador.

# INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

Norma INEN 1488. (1984). *Adoquines; Requisitos*. Quito, Ecuador

## Anexos

### Anexo 1 Determinación de pH

Los resultados obtenidos en el medidor de pH se aprecian en la siguiente tabla

*Tabla 20 resultados de pH reportados para los lodos de galvanizado.*

Lodo	pH	pH medio
Fosfato	10,26	10,27
	10,28	

El lodo de fosfato presenta un pH muy alcalino, equivalente a 10,27 que se explica con la naturaleza del proceso y la composición de la mezcla de baños que comprenden los lodos del área galvanizado. Este valor se debe a que en el baño alcalino cianurado de zinc mantiene un pH de 12 a diferencia del pH del cromatizado que oscila entre 1,4 a 2.

### Anexo 2 Determinación del porcentaje de humedad

Para obtener el contenido de agua del lodo se aplicó la ecuación 1. Obteniendo previamente la masa del recipiente en una balanza electrónica dando un peso de 101,68 g. posteriormente se calculó la masa del recipiente y la mezcla húmeda con 150 g para ser sometida a  $105 \pm 5$  °C en la estufa de secado durante las 24h, dando como resultado la masa del recipiente y la mezcla seca de 140,16 g. Una vez aplicada la formula, el lodo del proceso de galvanizado reporta una humedad del 20,36 %.

# INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

Anexo 3 Resultados de concentración de metales en el método Vía Residuo (M1) en mg/L



Laboratorio de ensayo  
acreditado por el SAE con  
acreditación  
Nº SAE LEN 14-009

## INFORME DE ENSAYO Nº: 12944 a

### MENDIZABAL GARZON LUIS RAUL

Solicitado por: Sr. Sebastian Gordon.  
Dirección: Quito.

<b>Fecha y hora de ingreso al laboratorio:</b>	2019/07/18 11:35	<b>Fecha final de Análisis</b>	2019/07/24	<b>T máx:</b> 32°C
<b>Toma de muestra:</b>	Sr. Sebastian Gordon.	<b>Fecha y Hora</b>	2019/07/05	<b>T mín:</b> 22°C

Identificación: Agua Descarga, M1.

#### Parámetros, métodos y resultados:

Parámetros	Método de Ensayo	Referencia	Límite Máximo Permisible <sup>Ⓢ</sup>	Unidad	Resultado	Incertidumbre (K = 2)
Cadmio	ITE-AQLAB-33	SM 3030, 3111B	0,02	mg/L	0,13	± 20%
*Cobre	ITE-AQLAB-33	SM 3030 B, 3111 B	1,0	mg/L	1,20	~
*Hierro total	ITE-AQLAB-33	SM 3030 B, 3111 B	10,0	mg/L	1 000,5	~
Plomo	ITE-AQLAB-33	SM 3030 B, 3111 B	0,2	mg/L	0,99	± 32%
*Zinc	ITE-AQLAB-33	SM 3030 B, 3111 B	5,0	mg/L	2 280	~

Fuente: Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la prevención y control de la Contaminación Ambiental.  
Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Acuerdo Ministerial Nº 097-A-04 Noviembre 2015.  
Tabla 9 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.



  
Ing. Armandy Meléndez Lara  
**DIRECTO TÉCNICO**  
Autorización

Francisco de Orellana, 24 de julio de 2019

Los límites permisibles de las Normativas <sup>Ⓢ</sup> y los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.  
El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo. Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.  
Calle Juan Huincite y Fray Gregorio de Aluminia, detrás de Concesionario Mazda. Barrio Con Hogar.  
e-mail: laboratorio@aqlabec.com - web: www.aqlabec.com Teléfono: (593) 6 2881715 Celular: 0991666858

MC2301-02

Página 1 de 1

# INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

*Anexo 4 Resultados de concentración de metales en el método TCLP (Vía Lixiviado) (M2) en mg/L*



Laboratorio de ensayo  
acreditado por el SAE con  
acreditación  
N° SAE LEN 14-009

## INFORME DE ENSAYO N°: 12944 b

**MENDIZABAL GARZON LUIS RAUL.**

Solicitado por: Sr. Sebastian Gordon.  
Dirección: Quito.

Fecha y hora de ingreso al laboratorio:	2019/07/18 11:35	Fecha final de Análisis	2019/07/24	T máx: 32°C	T mín: 22°C
Toma de muestra:	Sr. Sebastian Gordon.	Fecha y Hora	2019/07/05	18:00	

Identificación: Agua Descarga, M2.

Parámetros, métodos y resultados:

Parámetros	Método de Ensayo	Referencia	Límite Máximo Permisible <sup>Ⓢ</sup>	Unidad	Resultado	Incertidumbre (K = 2)
Cadmio	ITE-AQLAB-33	SM 3030, 3111B	0,02	mg/L	0,09	± 20%
*Cobre	ITE-AQLAB-33	SM 3030 B, 3111 B	1,0	mg/L	0,69	-
*Hierro total	ITE-AQLAB-33	SM 3030 B, 3111 B	10,0	mg/L	22,14	-
Plomo	ITE-AQLAB-33	SM 3030 B, 3111 B	0,2	mg/L	0,48	± 32%
*Zinc	ITE-AQLAB-33	SM 3030 B, 3111 B	5,0	mg/L	8,89	-

Fuente: Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la prevención y control de la Contaminación Ambiental.  
Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Acuerdo Ministerial N° 097-A 04 Noviembre 2015.  
Tabla 9 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.



  
Ing. Armando Meléndez Lara  
**DIRECTO TÉCNICO**  
Autorización

*Francisco de Orellana, 24 de julio de 2019*

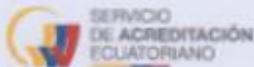
Los límites permisibles de las Normativas (Ⓢ) y los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.  
El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo. Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.  
Calle Juan Huancite y Fray Gregorio de Aluminia, detrás de Concesionario Marda. Barrio Con Hogar.  
e-mail: laboratorio@aqlabec.com - web: www.aqlabec.com Teléfonos: (593) 6 2881715 Celular: 0991666858

# INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

## Anexo 5 Resultado de la Muestra Blanco



**AqLab**  
Laboratorios de Análisis y Evaluación Ambiental



SERVICIO DE ACREDITACIÓN ECUATORIANO  
Acreditación N° SAE LEN 14-009  
LABORATORIO DE ENSAYOS

---

**INFORME DE ENSAYO N°: 13072 a**

**MENDIZABAL GARZON LUIS RAUL.**

Solicitado por: Sr. Sebastian Gordon.  
Dirección: Quito.

<b>Fecha y hora de ingreso al laboratorio:</b>	2019/08/17 14:00	<b>Fecha final de Análisis</b>	2019/08/29	T máx: 32°C T mín: 22°C
<b>TOMA DE MUESTRA:</b>	Sr. Sebastian Gordon.	<b>Fecha y Hora</b>	2019/08/14	09:00

Identificación: Agua Descarga, Blanco

Parámetros, métodos y resultados:

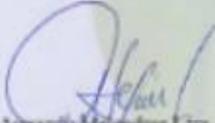
Parámetros	Método de Ensayo	Referencia	Límite Máximo Permisible @	Unidad	Resultado	Incertidumbre (K = 2)
OCadmio	PEE-LABSU-20	SM 3030 B, 3111 B	0,02	mg/L	< 0,03	± 28%
OCobre	PEE-LABSU-26	SM 3030 B, 3111 B	1,0	mg/L	< 0,20	± 22%
CHierro total	PEE-LABSU-27	SM 3030 B, 3111 B	10,0	mg/L	0,23	± 26%
CPloomo	PEE-LABSU-24	SM 3030 B, 3111 B	0,2	mg/L	< 0,15	± 30%
***Zinc	PEE-LABSU-29	SM 3030 B, 3111 B	5,0	mg/L	0,85	-

Fuente: Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la prevención y control de la Contaminación Ambiental.  
Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Acuerdo Ministerial N° 097-A-04 Noviembre 2015.  
Tabla 9 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

OResultado proporcionado por Laboratorio LABSU, con acreditación N° OAE LE 2C 07-003.  
\*\*\* Resultado proporcionado por Laboratorio LABSU, parámetros que no forman parte del alcance de acreditación.



**AqLab**  
Instituto Ecuatoriano



Ing. Armando Meléndez Lira  
**DIRECTO TÉCNICO**  
Autorización

# INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

Anexo 6 Resultado de la Probeta 1 al 20% de concentración de lodo peligroso



## INFORME DE ENSAYO N°: 13050 a

**MENDIZABAL GARZON LUIS RAUL.**

Solicitado por: Sr. Sebastian Gordon.  
Dirección: Quito.

Fecha y hora de ingreso al laboratorio:	2019/08/12 11:11	Fecha final de Análisis	2019/08/21	T máx: 32°C
Toma de muestra:	Sr. Sebastian Gordon.	Fecha y Hora	2019/08/07	T mín: 22°C

Identificación: Agua Descarga, Lixiviado M1.

Parámetros, métodos y resultados:

Parámetros	Método de Ensayo	Referencia	Límite Máximo Permisible	Unidad	Resultado	Incertidumbre (K = 2)
CCadmio	PEE-LABSU-20	SM 3030 B, 3111 B	0,02	mg/L	< 0,03	± 28%
CCobre	PEE-LABSU-26	SM 3030 B, 3111 B	1,0	mg/L	< 0,20	± 22%
***Hierro total	PEE-LABSU-27	SM 3030 B, 3111 B	10,0	mg/L	69,14	-
CPiomo	PEE-LABSU-24	SM 3030 B, 3111 B	0,2	mg/L	0,30	± 30%
***Zinc	PEE-LABSU-29	SM 3030 B, 3111 B	5,0	mg/L	2,95	-

Fuente: Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la prevención y control de la Contaminación Ambiental.  
Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Acuerdo Ministerial N° 097-A 04 Noviembre 2015.  
Tabla 9 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Resultado proporcionado por Laboratorio LABSU, con acreditación N° OAE LE 2C 07-003.

\*\*\* Resultado proporcionado por Laboratorio LABSU, parámetros que no forman parte del alcance de acreditación.



Ing. Armando Meléndez Liza  
**DIRECTO TÉCNICO**  
Autorización

Francisco de Orellana, 21 de agosto de 2019

Los límites permisibles de las Normativas (Ⓜ) y los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.  
El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo. Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.  
Calle Juan Huncie y Fray Gregorio de Aluminia, detrás de Concesionario Maada. Barrio Con Hogar.  
e-mail: laboratorio@aqlabec.com - web: www.aqlabec.com Teléfono: (593) 6 2881715 Celular: 0991666858

# INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

Anexo 7 Resultado de la Probeta 2 al 30% de concentración de lodo peligroso



## INFORME DE ENSAYO N°: 13050 b

**MENDIZABAL GARZON LUIS RAUL.**

Solicitado por: Sr. Sebastian Gordon.  
Dirección: Quito.

Fecha y hora de ingreso al laboratorio:	2019/08/12 11:11	Fecha final de Análisis	2019/08/21	T máx: 32°C T mín: 22°C
Toma de muestra:	Sr. Sebastian Gordon	Fecha y Hora	2019/08/07	11:00

Identificación: Agua Descarga, Lixiviado M2.

### Parámetros, métodos y resultados:

Parámetros	Método de Ensayo	Referencia	Límite Máximo Permissible ⊗	Unidad	Resultado	Incertidumbre (K = 2)
CCadmio	PEE-LABSU-20	SM 3030 B, 3111 B	0,02	mg/L	< 0,03	± 28%
CCobre	PEE-LABSU-26	SM 3030 B, 3111 B	1,0	mg/L	< 0,20	± 22%
***Hierro total	PEE-LABSU-27	SM 3030 B, 3111 B	10,0	mg/L	20,94	--
CPiomo	PEE-LABSU-24	SM 3030 B, 3111 B	0,2	mg/L	0,22	± 30%
***Zinc	PEE-LABSU-29	SM 3030 B, 3111 B	5,0	mg/L	1,72	--

Fecha: ... Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la prevención y control de la Contaminación Ambiental.  
Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes. Recurso Agua. Acuerdo Ministerial N° 097-A 04 Noviembre 2015.  
Tabla 9 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

⊗ Resultado proporcionado por Laboratorio LABSU, con acreditación N° OAE LE 2C 07-003.

\*\*\* Resultado proporcionado por Laboratorio LABSU, parámetros que no forman parte del alcance de acreditación.



Ing. Armando Meléndrez Laya  
**DIRECTO TÉCNICO**  
Autorización

Francisco de Orellana, 21 de agosto de 2019

Los límites permisibles de las Normativas (⊗) y los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.  
El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo. Prohíbese la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.  
Calle Juan Huancie y Fray Gregorio de Aluminia, detrás de Concesionario Manda. Barrio Con Hogar.  
e-mail: laboratorio@aqlabec.com - web: www.aqlabec.com Teléfono: (593) 6 2881715 Celular: 0991666858

# INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN

Anexo 8 Resultado de la Probeta 3 al 50% de concentración de lodo peligroso



## INFORME DE ENSAYO N°: 13050 c

**MENDIZABAL GARZON LUIS RAUL**

Solicitado por: Sr. Sebastian Gordon.  
Dirección: Quito.

Fecha y hora de ingreso al laboratorio:	2019/08/12 11:11	Fecha final de Análisis	2019/08/21	T máx: 32°C
				T mín: 22°C
Toma de muestra:	Sr. Sebastian Gordon.	Fecha y Hora	2019/08/07	11:00

Identificación: Agua Descarga, Lixiviado M3.

Parámetros, métodos y resultados:

Parámetros	Método de Ensayo	Referencia	Límite Máximo Permisible	Unidad	Resultado	Incertidumbre (K = 2)
CCadmio	PEE-LABSU-20	SM 3030 B, 3111 B	0,02	mg/L	< 0,03	± 28%
CCobre	PEE-LABSU-26	SM 3030 B, 3111 B	1,0	mg/L	< 0,20	± 22%
***Hierro total	PEE-LABSU-27	SM 3030 B, 3111 B	10,0	mg/L	26,62	-
CPloomo	PEE-LABSU-24	SM 3030 B, 3111 B	0,2	mg/L	0,17	± 30%
***Zinc	PEE-LABSU-29	SM 3030 B, 3111 B	5,0	mg/L	4,24	-

Fuente: Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la prevención y control de la Contaminación Ambiental.  
Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Acuerdo Ministerial N° 097-A 04 Noviembre 2015.  
Tabla 9 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

© Resultado proporcionado por Laboratorio LABSU, con acreditación N° OAE LE 2C 07-003.

\*\*\* Resultado proporcionado por Laboratorio LABSU, parámetros que no forman parte del alcance de acreditación.



Ing. Armando Meléndez Lara  
**DIRECTO TÉCNICO**  
Autorización

Handwritten signature in blue ink.

Francisco de Orellana, 21 de agosto de 2019

Los límites permisibles de las Normativas (®) y los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.  
El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo. Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.  
Calle Juan Huncic y Fray Gregorio de Alaminos, detrás de Concesionario Mazda. Barrio Con Hogar.  
e-mail: laboratorio@aqlabec.com - web: www.aqlabec.com - Teléfono: (593) 6 2881715 Celular: 0991666858

# INERTIZACIÓN DE LOS LODOS DE GALVANIZADO DE LA PROCESADORA VYMSA CON FINES DE VALORIZACIÓN



*Ilustración 9 máquina de ensayos universales (foto autor)*