



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA
Y RECURSOS HIDRÁULICOS –ERIS–**

**CARACTERIZACIÓN DE LAS ESCORIAS Y POLVO DE HUMOS
DE LA FUNDICIÓN DE ACERO Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO
PARA SU DISPOSICIÓN FINAL**

**ING. CARLOS ESTUARDO CABALLEROS GARCÍA
GUATEMALA, NOVIEMBRE 2011**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA
Y RECURSOS HIDRÁULICOS –ERIS–



**CARACTERIZACIÓN DE LAS ESCORIAS Y POLVO DE HUMOS
DE LA FUNDICIÓN DE ACERO Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO
PARA SU DISPOSICIÓN FINAL**

ESTUDIO ESPECIAL

Presentado a la
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos
(ERIS)

Por
ING. CARLOS ESTUARDO CABALLEROS GARCÍA
Como requisito a optar el grado académico de

**MAESTRO
(MAGISTER SCIENTIFICAE)**

en

INGENIERÍA SANITARIA

Guatemala, noviembre de 2011

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR



Cumpliendo con los preceptos que las leyes de la Universidad de San Carlos de Guatemala establecen, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

**CARACTERIZACIÓN DE LAS ESCORIAS Y POLVO
DE HUMOS DE LA FUNDICIÓN DE ACERO Y
PROPUESTA DE TRATAMIENTO PARA SU
DISPOSICIÓN FINAL**

Tema que me fuera autorizado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS- con fecha 16 de marzo de 2011.

Ing. Carlos Estuardo Caballeros García

Guatemala, noviembre de 2011

UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
Escuela Regional de Ingeniería
Sanitaria y Recursos hídrico

Edificio
Prefabricados,
Ciudad Universitaria
zona 12
Guatemala C.A.

Código postal:
01012
Teléfono: 24188000
ext. 86212, 86213 y
86240.
Línea Directa:
24189140

IMPRESION EN UNO DE LOS SISTEMAS DE IMPRESION

Guatemala, 24 de noviembre de 2011

Señores:
Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos
Hidráulicos "ERIS"
Facultad de Ingeniería, USAC

Respetuosamente les comunico que he revisado, en mi
calidad de asesor y Coordinador de la Maestría en Ciencias en
Ingeniería Sanitaria, el documento de Estudio Especial titulado:


**"Caracterización de las escorias y polvo de humos de la fundición
de acero y propuesta de tratamiento para su disposición final"**

Presentado por el estudiante de la maestría mencionada,

Ingeniero Carlos Estuardo Caballeros García

Les manifiesto que el estudiante cumplió en forma satisfactoria con
los requisitos establecidos por la Escuela Regional de Ingeniería
Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS- para la obtención del grado
académico de Maestro en Ingeniería Sanitaria, en la realización de
su estudio.

Agradeciendo la atención prestada a la presente, me suscribo
de ustedes,
Atentamente



Msc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos
Coordinador de la maestría en Ingeniería Sanitaria
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos-ERIS-
Facultad de Ingeniería, USAC

"ID Y ENSEÑADA A TODOS"

UNIVERSIDAD DE SAN
CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria
y Recursos hídrico

El director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos –ERIS– después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los profesores siguientes: M. Sc. Ing. Pedro Saravia Celis, M. Sc. Ing. Joram Gil Larroj, Dr. Ing. Adán Pocasangre Collazos, así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria Dr. Ing. Adán Pocasangre Collazos; y la revisión lingüística realizada por la Licenciada en Letras Marta Lidia Marroquín Reyes, Colegiada No. 10329 al trabajo del estudiante Ingeniero Carlos Estuardo Caballeros García, titulado *CARACTERIZACIÓN DE LAS ESCORIAS Y POLVO DE HUMOS DE LA FUNDICIÓN DE ACERO Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO PARA SU DISPOSICIÓN FINAL*. En representación de la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo, en Guatemala a los 29 días del mes de noviembre de 2011.

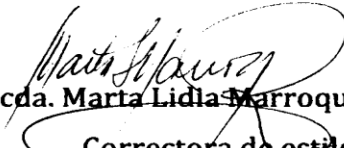
IMPRIMASE

M. Sc. Ing. Pedro Saravia Celis
DIRECTOR
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y
Recursos Hidráulicos
-ERIS-
"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

A quien interese:

Atentamente hago constar que realicé la corrección de estilo (aspectos gramaticales y ortográficos) del trabajo de tesis titulado **Caracterización de las escorias y polvo de humos de la fundición de acero y propuesta de tratamiento para su disposición final**, requisito para optar al grado académico de maestro en Ingeniería Sanitaria. El trabajo en mención fue realizado por el ingeniero **Carlos Estuardo Caballeros García**, estudiante de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos –ERIS– de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Extiendo la presente en la ciudad de Guatemala, a los veintiocho_ días de noviembre de dos mil once.



Licda. Marta Lidia Marroquín Reyes

Correctora de estilo

Colegiada 10329

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Huberto Rivera Pérez

DIRECTOR DE ERIS

M.Sc. Ing. Pedro Saravia Celis

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE ESTUDIO ESPECIAL

EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Joram Matías Gil Larroj
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos

ASESOR DE ESTUDIO ESPECIAL

M.Sc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos

DEDICATORIA

A:

DIOS PODEROSO Por brindarme sabiduría en las elecciones que he tomado a lo largo de mi vida y por medio de la cual he alcanzado esta nueva meta, que he de utilizar para heredarles a mis hijos un mundo mejor.

A MIS PADRES Rolando Caballeros Coronado y Dina Ileana García Guerra de Caballeros, por ser un vivo ejemplo de luchadores incansables.

A MI ESPOSA Amelia Algedi Vásquez López, por su paciencia y apoyo incondicional.

A MIS HIJOS Ana Cristina y Estuardo Alfonso, pilares de inspiración en mi vida diaria; que mi triunfo sea un ejemplo a seguir.

A MIS HERMANOS César Rolando, Dina Alejandra y Mónica Ileana.

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos –ERIS–, por brindarme la oportunidad para ampliar mis conocimientos.

A la empresa Aceros de Guatemala S. A., en especial al Ing. Carlos Ponce, por permitir la realización del presente estudio de investigación, como muestra de su preocupación por el desarrollo industrial, pero con conciencia ambiental.

A mi asesor, Dr. Adán Pocasangre Collazos, por el apoyo y recomendaciones técnicas para realizar el estudio de investigación.

A mis compañeros de la ERIS, por haber compartido experiencias y consejos en las aulas universitarias, los que me ayudaron a alcanzar la meta final.

A TODOS MIL GRACIAS

ÍNDICE

ÍNDICE	I
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IV
GLOSARIO.....	VI
SIMBOLOGÍA	X
RESUMEN.....	XII
INTRODUCCIÓN	XIV
OBJETIVOS	XV
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XVI
HIPÓTESIS	XVI
1. ANTECEDENTES	1
2. ALCANCES Y LIMITACIONES	6
3. MARCO TEÓRICO	6
3.1. Historia de la fundición	6

3.2.	Escorias y polvo del horno de arco eléctrico	9
3.3.	Análisis de las escorias y polvo de humos.....	12
3.4.	Contaminantes y sus efectos	15
3.5.	Tipo de tratamiento de desechos peligrosos	30
4.	GENERALIDADES DEL PROCESO DE FUNDICIÓN DE ACERO.....	34
4.1.	Horno de arco eléctrico	35
4.2.	Horno de afino	36
4.3.	Colada continua.....	36
5.	METODOLOGÍA.....	38
5.1.	Procedimiento.....	38
5.2.	Tipo de muestra.....	39
5.3.	Tamaño de muestra.....	39
5.4.	Análisis de laboratorio	41
5.5.	Consideraciones finales de la metodología aplicada	41
6.	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	41

7.	PROPUESTA DE TRATAMIENTO.....	51
8.	CONCLUSIONES.....	61
9.	RECOMENDACIONES	62
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	63
11.	ANEXO A.....	65

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Fig. 1 Depósito de escoria de horno fusión.....	1
Fig. 2 Montículo de escorias y polvo en la esquina del terreno de la fábrica	2
Fig. 3 Corte de perfil de depósito de escorias y polvo	2
Fig. 4 Asentamientos diferenciales.....	3
Fig. 5 Saneamiento de terreno de las escorias.....	3
Fig. 6 Horno de arco eléctrico.	35
Fig. 7 Cuba de horno cuchara.....	36
Fig. 8 Colado continuo.....	37
Fig. 9 Flujograma de la acería	38
Fig. 10 Toma de muestra.....	40
Fig. 11 Proceso del horno Waelz.....	56
Fig. 12 Ubicación de tratamiento de escorias y polvo de humos	56
Fig. 13 Detalle de la ubicación del tratamiento.....	59
Fig. 14 Esquema del relleno de tipo industrial.....	60

TABLAS

Tabla 1 Toxicidad del plomo.....	21
Tabla 2 Toxicidad del cadmio.....	24
Tabla 3 Toxicidad del cinc	26
Tabla 4 Toxicidad del cromo	27
Tabla 5 Calendario de muestreo	39
Tabla 6 Calendario de muestreo de óxidos de calcio	40

GLOSARIO

Acero	Denominación que comúnmente se le da en ingeniería metalúrgica a una aleación de hierro con una cantidad de carbono variable entre el 0,1 y el 2,1% en peso de su composición, aunque normalmente estos valores se encuentran entre el 0,2% y el 0,3%. El acero conserva las características metálicas del hierro en estado puro, pero la adición de carbono y de otros elementos, tanto metálicos como no metálicos, mejoran sus propiedades físicoquímicas.
Análisis gravimétrico	En química analítica consiste en determinar la cantidad proporcionada de un elemento, radical o compuesto presente en una muestra, eliminando todas las sustancias que interfieren y convirtiendo el constituyente o componente deseado en un compuesto de composición definida, que sea susceptible de pesarse. Determina la cantidad de sustancia, midiendo el peso de la misma (por acción de la gravedad). Los cálculos se realizan con base en los pesos atómicos y moleculares y se fundamentan en una constancia en la composición de sustancias puras y en las relaciones ponderales (estequiometría) de las reacciones químicas.
Arsénico	Elemento químico de la tabla periódica, cuyo símbolo es As y su número atómico es 33. En la tabla periódica de los elementos se encuentra en el quinto grupo principal. El arsénico se presenta raramente sólido, principalmente en forma de sulfuros. Pertenece a los metaloides, ya que muestra propiedades intermedias entre los metales y los no metales.
Cadmio	Es un metal blanco azulado, dúctil y maleable. Se puede cortar fácilmente con un cuchillo. En algunos aspectos es similar al cinc. Su número atómico es 48 y su símbolo es Cd. Pertenece al grupo de los metales de transición.
Composición química	Es como está constituida químicamente una sustancia o mineral.

Contaminante	Material de desecho natural o hecho por el hombre que contamina el aire, el suelo o el agua.
Cromo	Elemento químico, cuyo número atómico es 24, su símbolo es Cr y se encuentra en el grupo 6 de la tabla periódica de elementos. Es un metal que se emplea especialmente en metalurgia.
Desechos sólidos	Son materiales no peligrosos, descartados por la actividad del ser humano o generados por la naturaleza y que, al no tener utilidad inmediata para su actual poseedor, se transforman en indeseables.
Destoxificación	Liberación de toxinas de un sustrato. Se agrupan en tres tipos de tratamientos: térmicos, químicos y biológicos; para la selección del proceso por utilizar se deben considerar las características de los residuos por procesar, su composición química, cantidad, etc.
Disposición final	La disposición final de los desechos recolectados es el eslabón final de la cadena de saneamiento ambiental. Se efectúa en sitios como rellenos sanitarios, plantas de incineración, centros de valorización y recuperación e inclusive en el compostaje.
Escoria	Es un subproducto de la fundición de los metales. Se puede considerar como una mezcla de óxidos metálicos; aunque la escoria suele utilizarse como un mecanismo de eliminación de residuos en la fundición del metal, también puede servir para otros propósitos, como ayudar en el control de la temperatura durante la fundición y minimizar la reoxidación del metal líquido antes de pasar al colado.
Fundición	Proceso de fabricación de piezas mediante el derretimiento del acero al elevar la temperatura por medio de una fuente de energía y posteriormente hacerlo pasar en un molde para obtener la figura final.

Hormigón	Mezcla de piedra, cemento y arena que se usa en construcciones.
Impureza	Sustancia dentro de un limitado volumen de líquido, gas o sólido, que difiere de la composición química de los materiales o compuestos. La impureza es natural o añadida durante la síntesis de una sustancia química o producto comercial. Durante la producción, la impureza puede presentarse a propósito o en forma accidental e inevitable.
Lixiviación	Extracción sólido-líquido; es un proceso en el que un disolvente líquido se pone en contacto con un sólido pulverizado para que se produzca la disolución de uno de los componentes del sólido.
Níquel	Elemento químico de número atómico 28 y su símbolo es Ni. Está situado en el grupo 10 de la tabla periódica de los elementos.
Oxidación	Se denomina reacción de reducción-oxidación, óxido-reducción o simplemente reacción rédox, a toda reacción química en la cual existe una transferencia electrónica entre los reactivos, dando lugar a un cambio en los estados de oxidación de los mismos con respecto a los productos.
Piro metalúrgico	Proceso que se encarga de la obtención y purificación de los metales, mediante la utilización del calor.
Plomo	Elemento químico de la tabla periódica, cuyo símbolo es Pb y su número atómico, 82 según la tabla actual. La elasticidad de este elemento depende de las temperaturas del ambiente, las cuales distienden o extienden sus átomos.
Polvo de humos	Es uno de los residuos generados de la fundición de acero, está constituido por las partículas volátiles que poseen una temperatura de fusión menor que la del acero y es menos pesado que este.

Recursos naturales	Bienes materiales y servicios que proporciona la naturaleza sin alteración por parte del ser humano y que son valiosos para las sociedades humanas por contribuir a su bienestar y desarrollo de manera directa (materias primas, minerales, alimentos) o indirecta (servicios ecológicos).
Reducción de volumen	Proceso por el cual un residuo es reducido de tamaño para que ocupe menos espacio o incluso extraer algún material de su interior. La incineración, la trituración y el cribado son algunos de estos procesos.
Relleno confinado	Tipo de tratamiento que se le da por lo general a los residuos industriales para impedir el contacto y traslado al medio ambiente y así evitar la contaminación. Consiste en un espacio tratado y monitoreado para la disposición final de los residuos.
Residuo tóxico y peligroso	Residuo que, en función de sus características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y patogenicidad puede presentar riesgo para la salud pública o causar efectos adversos en el medio ambiente. No incluye a los residuos radiactivos.
Solidificación	Proceso que fija o encapsula residuos dentro de una matriz sólida; la técnica de fijación ata los residuos, química y físicamente, usando agentes de solidificación.
Terreno natural	Fragmento de litósfera formado naturalmente por los sedimentos de diferentes materiales a lo largo del tiempo y que no tiene ninguna alteración humana.
Toxicidad	Medida usada para determinar el grado tóxico o venenoso de algunos elementos. El estudio de los venenos se conoce como toxicología. La toxicidad puede referirse al efecto de una sustancia sobre un organismo completo, como un ser humano, una bacteria o una planta; o a una subestructura (citotoxicidad).

SIMBOLOGÍA

Símbolo	Interpretación
° C	Temperatura en grados Celsius
pH	Potencial de hidrógeno
atm	Atmosfera de presión
DL	Dosis letal
DL ₅₀	Dosis letal mediana
mg/kg	Miligramo por kilogramo
DVGW	Asociación de gas y agua alemán (<i>Deutsche Vereinigung Gas- und Wasser</i>)
CL	Concentración letal
CL ₅₀	Concentración letal media
mg/l	Miligramo por litro
OMS	Organización Mundial de la Salud
MERIAN	Metales y sus compuestos en el medio (<i>Metals and their Compounds in the Enviroment</i>)

KOCH	Instituto Robert Koch
h	Hora
g	Gramos
m ³ /T	Metros cúbicos por tonelada
T/año	Toneladas por año

RESUMEN

En la industria metalúrgica la generación de escorias y polvo de humos constituyen el mayor porcentaje de desechos sólidos y en la actualidad no se tiene un seguimiento sistemático de tratamiento adecuado debido al desconocimiento acerca de su composición. Otra variable del problema es la cantidad de generación que va de acuerdo con la producción de acero que se desarrolla. Por lo anterior se decidió investigar una alternativa de propuesta para el tratamiento recomendable para evitar cualquier alteración al ambiente.

El objetivo de la investigación consiste en desarrollar una propuesta de tratamiento para las escorias y polvo de humos del proceso de fundición de acero y su disposición final determinando si contienen elementos contaminantes. Para ello fue necesario cuantificar la concentración de los componentes contaminantes, cuantificar la cantidad generada y establecer un tratamiento adecuado que evite la contaminación del suelo.

La estrategia de intervención partió del trabajo de campo, se realizó un muestreo tanto de la escoria de fusión y la de afino, como del polvo de los humos. El fin de este muestreo fue caracterizar los residuos sólidos producidos en la fabricación de acero para establecer la concentración de los elementos contaminantes. Una vez establecidas estas concentraciones, la investigación teórica se enfocó en establecer una propuesta de tratamiento adecuado para evitar la contaminación ambiental generada presentes en los residuos del proceso estudiado.

Como resultado se estableció que, de los tres residuos analizados, es la escoria de fusión la que presenta mayor volumen generado; duplica lo generado

en conjunto por la escoria de afino y el polvo de humos. La escoria de afino presenta la menor cantidad de contaminación, hay ausencia de níquel, plomo y cadmio. El elemento encontrado en mayor concentración fue el cinc; su mayor presencia fue en el polvo de humos.

Se determinó que el tratamiento previo a la disposición final sugerido para la escoria de fusión es la reducción de volumen y cribado que ayuda en la búsqueda de otros usos o en la disminución de los requerimientos de espacio para su disposición final. En el caso de la escoria de afino se sugiere el método de solidificación, el cual consiste en un proceso de encapsulado, que puede también incluir a la escoria de fusión posterior al tratamiento de reducción de volumen. Esta puede ofrecerse como una alternativa para formar muros de retención en el río cercano; tomando en cuenta que es importante realizar un análisis de percolación para evitar la transferencia de elementos dañinos al agua. Y por último, la sugerencia para el tratamiento de polvos de humos es la extracción del cinc para la posterior utilización en otros procesos de la planta.

Para la cantidad de escoria y polvo de humos que no se pueda tratar, como método para su disposición final, se sugiere un relleno industrial controlado, cuyo terreno debe prepararse con una base compactada (estructurada) que resista la carga. La primera capa que se debe colocar es un geo sintético y sobre esta se instalan tuberías para evacuar los lixiviados hacia una planta de tratamiento para los mismos. También es necesario contar con oficinas para el personal que opere el relleno, así como un laboratorio para la revisión del tratamiento de lixiviados. En la operación se debe llevar control para recibir solamente este tipo de residuos, supervisar la mezcla realizada y el tratamiento de lixiviados para garantizar que sean adecuados y efectivos. El cierre debe ser apropiado y después el área se puede considerar para establecer un complejo deportivo para la empresa.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de desechos sólidos tiene importancia como un procedimiento preventivo para evitar la contaminación del ambiente, incluyendo las fuentes de agua. En la industria metalúrgica la generación de desechos sólidos es uno de los mayores problemas de contaminación debido a la variedad de composición química. Los desechos generados en la fabricación del acero por fundición de chatarra varían de empresa a empresa en función de su materia prima.

En síntesis, la fabricación del acero se realiza mediante la eliminación de las impurezas contenidas en su materia prima y añadir las cantidades convencionales de magnesio, silicio y de los distintos elementos de aleación. Para realizar la eliminación de las impurezas se utiliza óxido de calcio (cal), la cual al ser sometida al proceso de fundición produce lo que se conoce como escoria. En los procesos modernos de fabricación de acero se utilizan dos tipos de hornos, uno denominado de fundición y el otro, de afino. En el primero se procede a fundir la chatarra; la escoria formada en este horno tiene dos funciones principales: proteger el refractario de la cuba que contiene el acero que se va fundiendo y eliminar el exceso de fósforo procedente de la chatarra. En el horno de afino también se produce escoria y sus dos funciones principales son: mantener el acero líquido caliente y eliminar el azufre de la aleación de acero. Debido a la utilización de carbón en forma de coque y grafito dentro del proceso de fundición y afino, así como a la inyección de oxígeno, se produce la combustión de diferentes impurezas. Por el bajo peso que poseen los óxidos de estas impurezas se convierten en partículas volátiles. Como tratamiento para evitar que estas partículas volátiles contaminen el aire de los alrededores, los humos generados en el proceso se enfrían y se filtran; de esa manera se

forman grandes depósitos de sólidos denominados polvo de humos, por el tamaño de partícula.

El tratamiento que se le dé a las escorias y el polvo de humos debe ser el resultado de un análisis químico que permita determinar cuáles son los elementos que se debe evitar que entren en contacto con el ambiente. Por lo tanto, el objetivo de este estudio consiste en proponer las opciones para resolver esta situación.

OBJETIVOS

General

Determinar una propuesta de tratamiento para las escorias y polvos de humos del proceso de fundición de acero y su disposición final.

Específicos

1. Determinar si las escorias y polvos de humos del proceso de fundición de acero contienen elementos contaminantes.
2. Cuantificar la concentración de los componentes contaminantes presentes en las escorias y polvos de humos del proceso de fundición de acero.
3. Cuantificar las escorias y polvos de humos generados en el proceso de fundición de acero.
4. Establecer un tratamiento adecuado que evite la contaminación del suelo por las escorias y polvos de humos generados en el proceso de fundición de acero.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las escorias y el polvo de humos son parte de los desechos sólidos del proceso de producción del acero. En la fabricación del acero cumplen la función de eliminar las impurezas que contiene la materia prima para proporcionar acero de alta calidad; en la actualidad no se cuenta con tratamientos para la disposición final de ellos, de modo que causan alteración de las condiciones naturales del suelo del sitio donde se depositan y pueden dificultar o imposibilitar la vida vegetal o animal. La falta de tratamiento adecuado se debe al desconocimiento acerca de las características de su composición química y de la cantidad de volúmenes generados. La presente investigación pretende responder la pregunta ¿existe alternativa de tratamiento y disposición final de las escorias y polvo de humos generados en el proceso de la fundición?

HIPÓTESIS

Es factible proponer una alternativa de tratamiento y disposición final de las escorias y polvos de humos del proceso de fundición de acero a partir de su caracterización.

1. ANTECEDENTES

Actualmente, en la fundidora de Guatemala, tanto las escorias de los dos hornos, como el polvo de humos se depositan dentro de las instalaciones donde se encuentra la fundición. No existe un lugar específico y se depositan en diferentes lugares, tratando que estos depósitos no interfieran con los procesos establecidos dentro de la fábrica.



Fig. 1 Depósito de escoria de horno fusión.

La cantidad de material ha formado montículos en una extensión aproximada del 25% del área total de la fábrica, con una elevación de 5.6 metros sobre el terreno natural. El incremento de los montículos está en función de la producción, la cual disminuyó durante la crisis vivida en el año 2009; sin embargo, cuando el mercado se recuperó, la producción ha ido en aumento y con ello, la cantidad de residuos. Dicho aumento de residuos generó la necesidad de adquirir más terreno para desplazar el material, pues el espacio fue insuficiente. De esa manera se solucionó el síntoma del problema, pero no la causa fundamental que ocasiona reincidencia en la situación citada.



Fig. 2 Montículo de escorias y polvo en la esquina del terreno de la fábrica.

Estos depósitos no tienen un orden específico, como tampoco un estándar de aplicación definido; como se puede observar en algunos cortes del perfil, se mezclan indistintamente las diferentes escorias y el polvo de humos.



Fig. 3 Corte de perfil de depósito de escorias y polvo de humos.

En el proceso de depósitos el material se ha extendido dentro de esta área de terreno e incluso se ha mezclado con otros materiales que no proceden de las escorias ni del polvo. Sobre uno de estos depósitos se construyó una planta y presentó el inconveniente de que los suelos fundidos mostraron tal

asentamiento diferencial que se decidió derribar las naves y trasladarlas a otro sitio.



Fig. 4 Asentamientos diferenciales.

Actualmente cualquier construcción dentro del complejo industrial comienza con el saneamiento de la zona, se extraen las escorias y otros materiales confinados y se trasladan a nuevos depósitos.



Fig. 5 Saneamiento de terreno, extracción de escorias.

Estudios preliminares como el efectuado por Carlos Martínez Orgado, “Residuos tóxicos y peligrosos”, en el cual define los residuos tóxicos y peligrosos como “los materiales sólidos, pastosos, líquidos así como los gaseosos contenidos en recipientes, que siendo resultado de un proceso de producción, transformación, utilización o consumo, su producto se destine al abono y contenga en composición alguna de las sustancias y materias que figuran la ley 20/2986 de España en cantidades o concentraciones tales que representen un riesgo para la salud humana, recursos naturales y medio ambiente”¹. También lista una clasificación de residuos peligrosos dentro de los cuales se encuentran las escorias y/o polvo generados en la fase de combustión de procesos piro-metalúrgicos de producción y afino de metales.

Además, la tesis doctoral titulada “Hormigón con escorias de horno eléctrico como áridos: propiedades, durabilidad y comportamiento ambiental”² de la Universidad Politécnica de Catalunya, cuyo objetivo fue estudiar las posibilidades de utilización de las escorias como áridos para hormigón. En ella se estudió básicamente la escoria del horno de fusión y del de afino. El resultado fue que, por su granulometría, la escoria del horno de fusión podía ser usada como agregado grueso, con la dificultad de que le daba mayor densidad que al usar otros elementos. Los resultados referentes a la escoria del horno de afino fueron desfavorables ya que el concreto formado a partir de ellas presentó un potencial expansivo debido al contenido de óxido de magnesio (MgO).

También se consultó una ficha técnica de las escorias de hornos de arco eléctrico de España, en donde se establece la cantidad de escoria por tonelada de acero y la característica de composición química. Sin embargo, enfatiza que la composición química de las escorias está condicionada al tipo de chatarra utilizada, el control de las variables de operación, tipos de aceros fabricados,

¹ (Martínez Orgado, 1991)

² (Amaral dL, 1999)

etc. Menciona aspectos medio ambientales, especifica que los lixiviados provenientes de estas escorias pueden llegar a corroer las tuberías de aluminio y acero que se coloquen en contacto con ellas.

Respecto a los residuos sólidos y el medio ambiente, la legislación guatemalteca, en el artículo 97 de la Constitución Política de la República establece que “El estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a proporcionar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico”. El artículo 16, inciso B de la Ley General del Ambiente (1986) especifica que se emitirán reglamentos para regular la descarga de cualquier tipo de sustancias que puedan alterar la calidad física, química y mineralógica del suelo o del subsuelo que le sean nocivas a la salud o a la vida humana, la flora, la fauna y a los recursos o bienes. En diciembre de 1992 los gobiernos del área centroamericana y Panamá establecieron el Acuerdo Regional sobre el Movimiento Transfronterizo de Desechos Peligrosos, el cual estipula qué sustancias son consideradas desechos peligrosos, pero no indica las concentraciones a las cuales se puede considerar nocivas a dichas sustancias. El objetivo principal del acuerdo citado consiste en prohibir la importación de estos residuos a cualquier estado de la región. Posteriormente, según Acuerdo Gubernativo No. 111-2005 del 4 de abril del 2005, se publicó la Política Nacional para el Manejo Integral de los Residuos y Desechos Sólidos, la cual establece que una oficina específica de la Contraloría General de Cuentas será la responsable de auditar el cumplimiento de esa política y que la Comisión Nacional para el Manejo de los Desechos Sólidos (CONADES) la coordinará y le dará seguimiento. Por último, el artículo 42 del Acuerdo Gubernativo 236-2006 contiene el Reglamento de las Descargas y Reúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, el cual presenta los parámetros y límites máximos permisibles para lodos. En función de la concentración de arsénico, cadmio, cromo, níquel y plomo establece tres tipos de tratamiento:

aplicación al suelo, disposición en relleno sanitario y confinamiento o aislamiento.

2. ALCANCES Y LIMITACIONES

El estudio determina la forma más adecuada de tratamiento individual para cada tipo de escoria y polvo de humos con base en los contaminantes presentes en cada una. Se considera un tratamiento para la disposición final para los residuos no tratados. Lo anterior requiere las siguientes consideraciones:

- ✓ Establecimiento del grado de toxicidad de cada escoria y polvo de humos.
- ✓ Determinación teórica del tratamiento de cada residuo.
- ✓ Inalterabilidad de las condiciones del proceso generador de las escorias y polvo de humos.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Historia de la fundición

La historia del acero comienza en la llamada Edad de los Metales, aunque no fue un suceso simultáneo, ya que cada región tuvo sus progresos propios, el hombre del Neolítico, al descubrir cómo trabajar los metales, dio un paso gigantesco hacia la formación de civilizaciones. No se conoce con exactitud la fecha en que se descubrió la técnica de fundir mineral de hierro para producir un metal susceptible de ser utilizado.

Los metales, salvo el mercurio, el oro y en ciertos casos la plata, no se encuentran en estado natural, sino combinados en forma de minerales el hombre aplicaba fuego al tratar los distintos materiales de que iba disponiendo. El hierro pudo ser extraído mediante un proceso llamado reducción por carbón. Las aleaciones producidas por los primeros artesanos del hierro se clasificarían en la actualidad como hierro forjado. Para producir esas aleaciones se calentaba una masa de mineral de hierro y carbón vegetal en un horno o forja con tiro forzado. Ese tratamiento reducía el mineral a una masa esponjosa de hierro metálico llena de una escoria formada por impurezas metálicas y polvos de carbón vegetal. Esta esponja de hierro se retiraba mientras permanecía incandescente y se golpeaba con pesados martillos para expulsar la escoria y soldar y consolidar el hierro. El hierro producido en esas condiciones solía contener un 3% de partículas de escoria y un 0,1% de otras impurezas. En ocasiones esta técnica de fabricación producía accidentalmente acero en lugar de hierro forjado.

La metalurgia en general y los usos que se dieron al hierro, dieron lugar a construir hachas que permitieron, junto a las otras herramientas, ampliar las zonas de cultivo; se mejoraron las armas, se comenzó a fabricar utensilios agrícolas más duraderos y más sofisticados, se inventó el arado tirado por animales, se levantaron diques y obras de regadío; todo lo cual permitió dar un paso trascendental en la historia del hombre.

En el siglo XIV se mejoró la técnica al aumentar el tamaño de los hornos de fundición y se incrementó el tiro de los mismos para forzar el paso de los gases de combustión por la mezcla de materias primas. El mineral se reducía a hierro y luego, con el paso de los gases, se lograba el arrabio, una aleación de hierro que se funde a una temperatura menor que el acero y que contiene gran cantidad de carbono (sobre 1,5%). Luego este arrabio se refinaba para fabricar acero. En 1774, el sueco Swen Rinman logró establecer de forma científica la

diferencia entre el hierro forjado y el acero que consiste en: la cantidad de carbono que se combina con el hierro, ya que para el acero debe ser inferior al 2% y si el porcentaje excede el 2%, hasta un 3%, se considera hierro fundido.

Durante el siglo XIX hubo gran desarrollo en cuanto a la optimización de los procesos de fabricación de acero, el que se consolidó gracias al británico Henry Bessemer, quien en 1856 inventó el horno o convertidor que lleva su nombre y que refina el arrabio mediante chorros de aire. Este desarrollo permitió aumentar la producción y crear nuevas aleaciones de acero. Fue a partir de la década de 1960 que comenzaron a funcionar los hornos que emplean electricidad para producir acero a partir de la chatarra, denominación que recibe el acero usado.

Los primeros hornos de arco eléctrico se caracterizaron por tener el vaciado del acero por medio de una piquera en la cual pasaba escoria a la cuba que trasladaba el acero a la etapa de moldeado; para obtener acero de calidad era necesario formar varias escorias pasando de una escoria negra hasta llegar a una escoria blanca. Estas escorias se sacaban por el lado contrario de la piquera y se mezclaban al caer en la fosa denominada escoriadero.

Debido al reciclaje de la chatarra se mezclaban diferentes tipos de acero y aparecieron operaciones tecnológicas con el objetivo de disminuir el contenido de las impurezas nocivas que se incrementaban en el metal y de esta manera mejorar su calidad. La técnica que se mantiene hasta la actualidad ha sido el horno cuchara que consiste en una cuba en donde se vacía el acero y se mantiene a una temperatura constante por medio de otros electrodos que hacen arco eléctrico con el acero líquido. Otra tecnología que ayudó en la reducción de tiempo de producción y aumento la calidad del acero fue la desembocadura excéntrica (*Eccentric Bottom Tapping*, EBT) que consiste en un agujero en el piso del horno principal y así se evita trasladar escoria al horno cuchara. De

esta manera se ha podido separar los tipos de escoria en: negra, la que se obtiene de la fusión de chatarra y blanca, la que se produce en el horno cuchara. Con ello se logra el incremento en la calidad del acero y la reducción en el tiempo de proceso, ya que en lugar de esperar la formación de la escoria blanca como en los procesos anteriores, ahora se comienza a fundir mientras en el horno cuchara se trabaja en la formación de dicha escoria.

3.2. Escorias y polvo del horno de arco eléctrico

La escoria es un subproducto de la fundición cuyas principales funciones son purificar los metales por medio de la eliminación de residuos y ayudar a controlar la temperatura del acero líquido. El proceso de fundición de chatarra de acero por medio de horno de arco eléctrico se produce principalmente por el óxido de calcio añadido al proceso de fundición y de afino, sin embargo, los componentes que la conforman pueden proceder de las siguientes fuentes:

1. Productos de oxidación de las impurezas de la chatarra tales como óxidos de plomo, fósforo, cromo, etc.
2. Productos de la destrucción del revestimiento de las cubas de los hornos, los cuales son hechos de material refractario. Esos productos también son óxidos de los compuestos de los cuales han sido fabricados estos materiales; pueden ser óxido de magnesio, óxido de silicio, etc.
3. Impurezas introducidas con la carga conformada por tierra, arcilla y pintura pueden producir óxido de titanio, óxido aluminio, óxido de fósforo, etc.
4. Herrumbre que cubre la chatarra; son moléculas de óxidos de hierro en sus diferentes formas, debido a su valencia.
5. Materiales suplementarios y oxidantes como las calizas, cal, bauxita, fluorita, etc.

Durante el proceso de fabricación del acero se forma continuamente la escoria y, debido a su densidad, flota encima del acero líquido, entra en contacto y reacciona con él. Parámetros tales como la composición química, la temperatura, la fluidez y otros son fundamentales para el proceso de fabricación y la calidad del metal obtenido. Algunas de las funciones de la escoria son: limpiar el acero de impurezas, mantener el acero caliente y aislar del aire al acero fundido; por ello debe cumplir con las siguientes exigencias:

1. La escoria debe asegurar el grado necesario de la purificación del metal de las impurezas nocivas contenidas en él.
2. En los periodos de oxidación la escoria debe asegurar la penetración intensiva del oxígeno de la atmósfera de la instalación, a través de ella, al metal.
3. En la etapa de afino, la escoria tiene que impedir el paso del oxígeno de la atmósfera al metal.
4. En los procesos la escoria debe obstaculizar el paso de los gases (nitrógeno e hidrógeno) de la atmósfera al metal.
5. La escoria que se evacua de la instalación no debe contener gran cantidad de hierro.
6. Durante el vaciado la escoria debe cumplir con ser un aislante adecuado para evitar el enfriamiento del metal.

A los procesos de fundición de los contaminantes les preceden los de la descomposición de hidratos y carbonatos, los cuales constituyen con frecuencia los materiales escorificantes. La velocidad con la que todos los componentes de la escoria pasan a la disolución líquida homogénea depende de muchos factores como la temperatura del baño líquido, la composición de la escoria inicial, la intensidad de mezclado del baño, entre otros.

La escoria del horno de fusión se produce inicialmente por la adición de cal calcítica y dolomítica. El objetivo principal de esta escoria es eliminar del baño líquido el fósforo presente en la carga de chatarra de acero, para ello se debe extraer la escoria del horno a una temperatura cercana a 1500 °C y el ambiente dentro del horno debe ser oxidante, para lo cual se insufla oxígeno y de esta manera se mantiene oxígeno libre para atrapar al fósforo; los compuestos formados pueden ser fosfatos de hierro, por ejemplo $(\text{Fe}_2\text{O}_3)(\text{P}_2\text{O}_5)$ o $(\text{Fe}_2\text{O}_3)_2(\text{P}_2\text{O}_5)$, pero a temperaturas altas estos compuestos no son fuertes y el fósforo retornará al metal. Las características de esta escoria física son: color negro, tamaño de mediano a grande, aspecto similar a la piedra volcánica.

La etapa de afino en el horno cuchara inicia al vaciar el acero líquido del horno de arco eléctrico. No debe pasar escoria negra alguna, ya que esto atrasa el proceso y baja la calidad del acero producido. Para formar la nueva escoria se utiliza cal calcítica, cuya función es desoxidar el acero eliminando los óxidos de elementos como azufre. A esta se le denomina escoria blanca porque cuando el acero ya ha sido desoxidado la escoria extraída del horno cuchara debe presentar un aspecto de pasta color blanco grisácea, dentro de su composición presenta silicatos tricálcicos y bicálcicos, aluminoferrito tetracálcico, aluminato tricálcico y ferrito dicálcico. Esta escoria se vacía del horno cuchara hasta que el acero se vacía en la máquina de colado continuo para su solidificación; al permanecer en la parte superior, las cucharas se vacían del acero por el piso de las mismas.

Los hornos de arco eléctrico generan gases de escape, que al salir del horno arrastran numerosas partículas finas, denominadas comúnmente polvo del horno. Están compuestas por elementos provenientes del acero, de la escoria y de la carga de chatarra; incluyendo hierro, cinc y metales pesados como el plomo y el cadmio, que se volatilizan durante el proceso. Estos polvos se arrojaban antes a la atmósfera a través de la chimenea y perjudicaban los

alrededores de la acería que los generaba. Debido a las exigencias ambientales que existen en los países desarrollados, donde tienen la mayor producción de acero, se ha desarrollado un tratamiento denominado “la casa de filtro de humos”, cuya función es detener las partículas volátiles para que solamente salga por la chimenea el aire aspirado por el motor de extracción. El equipo del tratamiento consiste en un cubo de metal que en su interior tiene unas mangas cilíndricas de tela, que sirven como filtro para las partículas que trasladan los gases; las partículas son extraídas periódicamente de la casas de filtros de humos, por medio de una faja, hacia los camiones que los trasladan al lugar designado para depositarlos.

3.3. Análisis de las escorias y polvo de humos

El análisis gravimétrico fue uno de los primeros métodos de análisis de los compuestos químicos en cualquier sustancia y el proceso del acero no fue la excepción, aún en la actualidad se utiliza cuando no se poseen los equipos sofisticados. Sin embargo, no es tan preciso como otros equipos, sobre todo cuando las concentraciones son bajas. Está basado en dos leyes:

1. La ley de las proporciones definidas: supone que en cualquier compuesto puro, las proporciones en peso de los elementos constituyentes siempre son las mismas.
2. La Ley de la consistencia de la composición: establece que las masas de los elementos que toman parte en un cambio químico muestran una relación definida e invariable entre sí.

El análisis gravimétrico consiste en determinar la cantidad proporcionada de un elemento, radical o compuesto presente en una muestra, eliminando todas las sustancias que interfieren y convirtiendo el constituyente o componente deseado en un compuesto de composición definida, que sea

susceptible de pesarse. Los cálculos se realizan con base en los pesos atómicos y moleculares, y se fundamentan en la presencia dentro de la composición de sustancias puras y en las relaciones ponderales (estequiometría) de las reacciones químicas, desarrolladas durante el análisis. Un factor gravimétrico puede definirse como el peso de una sustancia deseada, equivalente al peso unitario de una sustancia dada. Los factores gravimétricos se obtienen con base en las siguientes reglas:

- ✓ El factor gravimétrico siempre está representado por el peso atómico o el peso fórmula de la sustancia buscada, por numerador y el peso de la sustancia pesada, por denominador.
- ✓ Aunque la conversión de la sustancia que se busca en la que se pesa se verifica mediante una serie de reacciones, solamente estas dos sustancias están implicadas en el cálculo del factor; no se tienen en cuenta las sustancias intermedias.
- ✓ El número de veces que los pesos atómicos o formularios de las sustancias figuran en el numerador y en el denominador del factor, debe representar la estequiometría de la reacción química que se lleva a cabo.

Otro método utilizado para el análisis de composición química es la espectrometría de rayos X, que consiste en un conjunto de espectroscópicas para la determinación de la estructura electrónica de materiales mediante el uso de excitación por rayos X. Este método inicia a principios del siglo XX y fue Karl Manne Geog Siegbahn uno de los pioneros en desarrollarlo. Los rayos X pueden sufrir pérdida de energía al entrar en un material, esta pérdida de energía refleja una excitación interna en el sistema atómico de los compuestos, dicha excitación provoca descomposición en diferentes longitudes de onda o espectros característicos de cada elemento compuesto presente en las muestras.

Existen varios diseños eficientes para analizar un espectro de emisión de rayos X. La cifra de valor para estos instrumentos es el producto de la intensidad detectada y el poder de resolución espectral.

A continuación se listan los diferentes diseños para análisis:

- ✓ Espectrómetro de rejilla: normalmente, los rayos X que emergen de una muestra deben pasar una hendidura que define la fuente y luego los elementos ópticos (espejos y/o rejillas) los dispersan por difracción según su longitud de onda y, por último, se coloca un detector en sus puntos focales.
- ✓ Montura de rejilla esférica: es un instrumento que permite el uso de un solo elemento óptico que combina la difracción y la concentración (una rejilla esférica). La reflectividad de los rayos X es baja, independientemente del material utilizado y, por tanto, es necesaria la incidencia sobre la rejilla.
- ✓ Montura de hendidura plana: por medio de un espejo parabólico que convierte los rayos divergentes emitidos por la fuente de rayos X en un haz paralelo, los rayos paralelos que salen de este espejo golpean una rejilla plana (con una distancia de ranura constante) en el mismo ángulo, y son difractados en función de su longitud de onda. Un segundo espejo parabólico, a continuación, recoge los rayos difractados en cierto ángulo y crea una imagen en un detector. Un espectro dentro de determinado rango de longitud de onda puede ser registrado simultáneamente usando un detector sensible de posición bidimensional tal como una placa fotomultiplicadora de microcanal (también se pueden utilizar placas de película fotográfica).

3.4. Contaminantes y sus efectos

Se deben tener algunos conceptos claros para establecer criterios sobre qué contaminantes pueden estar presentes en las escorias y polvos de humos en la fabricación de acero. Para comenzar, la definición de residuo que establece el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) es:

“Todo material que no tiene valor de uso directo y que es descartado por su propietario”.³

El CEPIS proporciona este otro concepto, no tan generalizado y que constituye un subgrupo del anterior; se trata de la definición de residuo tóxico y peligroso:

“Es aquel residuo que, en función de sus características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y patogenicidad puede presentar riesgo a la salud pública o causar efectos adversos al medio ambiente. No incluye a los residuos radiactivos”.³

Las características que se refieren a la anterior definición se conocen como características de peligrosidad y se describen a continuación:

- Corrosividad: un residuo es corrosivo si presenta cualquiera de las siguientes propiedades:
 - Ser acuoso y presentar un pH menor o igual a 2 o mayor o igual a 12.52.
 - Ser líquido y corroer el acero a una tasa mayor que 6.35 mm al año a una temperatura de 55 °C, de acuerdo con el método NACE

³ (Benavides, 1993)

(*National Association Corrosion Engineers*), Standard TM-01-693 o equivalente.

- Reactividad: un residuo es reactivo si muestra una de las siguientes propiedades:
 - Ser normalmente inestable y reaccionar de forma violenta e inmediata sin detonar.
 - Reaccionar violentamente con agua.
 - Generar gases, vapores y humos tóxicos en cantidades suficientes para provocar daños a la salud o al ambiente cuando se mezcla con agua.
 - Poseer, entre sus componentes, cianuros o sulfuros que, por reacción, liberen gases, vapores o humos tóxicos en cantidades suficientes para poner en riesgo a la salud humana o al ambiente.
 - Ser capaz de producir una reacción explosiva o detonante bajo la acción de un fuerte estímulo inicial o de calor en ambientes confinados.
- Explosividad: un residuo es explosivo si presenta una de las siguientes propiedades:
 - Formar mezclas potencialmente explosivas con el agua.
 - Ser capaz de producir fácilmente una reacción o descomposición detonante o explosiva a 25 °C y 1 atm.
 - Ser una sustancia fabricada con el objetivo de producir una explosión o efecto pirotécnico.
- Toxicidad: un residuo es tóxico si debido a alguno de los elementos que lo constituyen, tiene el potencial de causar la muerte, lesiones graves, efectos perjudiciales para la salud del ser humano si se ingiere, inhala o entra en contacto con la piel.
- Inflamabilidad: un residuo es inflamable si presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

- Ser líquido y tener un punto de inflamación inferior a 60 °C, conforme el método del ASTM-D93-79 o el método ASTM-D-3278-78 (de la *American Society for Testing and Materials 4*), con excepción de las soluciones acuosas con menos de 24% de alcohol en volumen.
 - No ser líquido y ser capaz de, bajo condiciones de temperatura y presión de 25 °C y 1 atm, producir fuego por fricción, absorción de humedad o alteraciones químicas espontáneas y, cuando se inflama, quemar vigorosa y persistentemente, dificultando la extinción del fuego.
 - Ser un oxidante que puede liberar oxígeno y, como resultado, estimular la combustión y aumentar la intensidad del fuego en otro material.
- Patogenicidad: un residuo es patógeno si contiene microorganismos o toxinas capaces de producir enfermedades. No se incluyen en esta definición a los residuos sólidos o líquidos domiciliarios o aquellos generados en el tratamiento de efluentes domésticos.

Dentro de estas definiciones, a las escorias y polvo de humos, la única característica de peligrosidad en la que se pueden enmarcar es la de toxicidad; por lo que se consideran como residuos peligrosos y tóxicos. Esta clasificación de residuo peligroso también es dada por la Agencia de Protección Ambiental (*Environmental Protection Agency*, EPA) y clasifica a las escorias y el polvo de humos dentro de la codificación K061-Polvo de Horno de Arco Eléctrico.

Por su característica de peligrosidad se debe determinar qué elementos pueden estar presentes y constituir un potencial de causar la muerte, lesiones graves, efectos perjudiciales para la salud del ser humano si se ingiere, inhala o entra en contacto con la piel.

A partir de la composición de la chatarra que llega a la planta se puede establecer que básicamente pertenecen a residuo doméstico e industrial, por ello se pueden considerar los siguientes elementos: plomo (fuente: contrapesos de maquinaria y pintura de recubrimiento a base de este material), cadmio (fuente: baterías recargables), cinc (fuente: recubrimiento de acero cincado y galvanizado), cromo y níquel (fuente: acero inoxidable). A continuación se describe cómo estos elementos afectan al ser humano y al medio ambiente:

Plomo: es un metal gris-azulado, que se encuentra en forma natural en pequeñas cantidades en la corteza terrestre. La mayor parte proviene de actividades como la minería, manufactura industrial y de la quema de combustibles fósiles. Se usa en la fabricación de baterías, municiones, productos de metal (soldaduras y cañerías) y en láminas de protección contra los rayos X.

El plomo no se degrada en el medio ambiente, pero los compuestos de plomo son transformados por la luz natural, el aire y el agua. Cuando el plomo se libera al aire, se puede movilizar largas distancias antes de depositarse en el suelo. Una vez que cae, generalmente se adhiere a partículas del suelo. La movilización del plomo desde el suelo al agua subterránea dependerá del tipo de compuesto de plomo y de las características del suelo.

La contaminación por plomo puede ocurrir al ingerir alimentos o agua que lo contienen. Otra manera de contaminarse con plomo es al trabajar en una ocupación o practicar aficiones en las que se usa plomo; por ejemplo, en la manufactura de vidrios de colores o en la colección de figuras a escala de plomo. También es probable contaminarse al usar productos para la salud o remedios caseros que contienen plomo.

Los efectos del plomo son los mismos si se ingiere o inhala. El plomo puede afectar a casi todos los órganos y sistemas en el cuerpo. El más sensible es el sistema nervioso en personas de cualquier edad; en adultos la exposición prolongada puede causar deterioro en el resultado de algunas pruebas que miden funciones del sistema nervioso. Además, puede producir debilidad en los dedos, las muñecas o los tobillos. La exposición al plomo causa un leve aumento de la presión sanguínea, especialmente en personas de mediana y avanzada edad; también puede causar anemia. La exposición a niveles altos de plomo puede dañar tan gravemente el cerebro y los riñones de niños y adultos que puede causar la muerte. En mujeres embarazadas, la exposición a niveles altos de plomo puede ocasionar la interrupción del embarazo. En hombres, la exposición a altos niveles es capaz de alterar la producción de espermatozoides.

Actualmente la intoxicación aguda por compuestos de plomo es excepcional. Las manifestaciones clínicas más importantes son:

- Alteraciones digestivas: dolores epigástricos y abdominales, vómitos, diarreas negruzcas y posteriormente la presencia de estreñimiento pertinaz. Excepcionalmente se han descrito casos de insuficiencia hepática aguda.
- Alteraciones hematológicas: anemia hemolítica.
- Alteraciones renales: insuficiencia renal aguda.
- Alteraciones neurológicas (encefalopatía saturnina). Es más frecuente en niños. Se manifiesta en forma de convulsiones y coma, que puede llevar a la muerte en dos o tres días después de la intoxicación.

Los compuestos inorgánicos de plomo pueden ocasionar intoxicación crónica, producen alteraciones digestivas, hematológicas, neurológicas, renales, endocrinas y del sistema reproductor.

- Las alteraciones digestivas se pueden manifestar en forma de un cuadro abdominal agudo ("cólico seco"), con dolores intensos y difusos, vómitos y constipación. También se han descrito casos de hepatitis tóxica.
- La anemia del saturnismo se debe a dos mecanismos: uno debido a la inhibición de la síntesis de la hemoglobina (inhibe las enzimas delta-aminolevulínico dehidrasa y la ferroquelatasa) y otro por hemólisis; aparición de punteado basófilo.
- El plomo puede afectar al sistema nervioso central en forma de cefaleas, insomnio, alteraciones del carácter y de la memoria. En niños la exposición al plomo se ha relacionado con disminución del rendimiento escolar. El plomo puede ocasionar polineuropatía de predominio motor que afecta principalmente a las extremidades superiores.
- La evolución crónica puede desencadenar una nefropatía plúmbica con destrucción de las células tubulares y aparición posterior de fibrosis. La exposición al plomo también se ha relacionado con la aparición de hipertensión arterial. La gota saturnina podría deberse a la inhibición de la actividad de la guanasa (aumenta las concentraciones de guanina insoluble y cristalizada en las articulaciones).
- Se han descrito casos de impotencia y alteraciones en los espermogramas (hipospermia, teratospermia y astenospermia), mientras que las mujeres expuestas al plomo presentan mayor incidencia de esterilidad y abortos espontáneos.

No hay evidencia definitiva de que el plomo produzca cáncer en seres humanos. Algunas ratas y ratones que recibieron dosis altas de cierto tipo de compuesto de plomo desarrollaron tumores en el riñón. La EPA ha determinado que el plomo es probablemente carcinogénico en seres humanos. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha determinado que el plomo inorgánico probablemente es carcinogénico en seres humanos y que no hay suficiente información para determinar si los compuestos orgánicos de

plomo pueden producir cáncer en seres humanos. La dosis letal de plomo absorbida es de unos 0.5 gramos. El riesgo de intoxicación crónica se considera a partir de 0.5 mg/día. La concentración máxima permisible en el aire, en los puestos de trabajo es de 0.15 mg/día.

Tabla 1 Toxicidad del plomo

Mamíferos		
Ratas	DL 11 000 mg/kg, oral (acetato de plomo)	s.DVGW, 1985
	DL ₅₀ 100-825 mg/kg, oral (arseniato de plomo)	s.DVGW, 1985
Conejos	DL ₅₀ 125 mg/kg, oral (arseniato de plomo)	s.DVGW, 1985
Pollos	DL ₅₀ 450 mg/kg, oral (arseniato de plomo)	s.DVGW, 1985
Perros	DL 2 000-3 000 mg/kg, oral (sulfato de plomo)	s.DVGW, 1985
Organismos acuáticos		
Pececillos de río	CL ₅₀ 6,7-10,5 mg/l, (24h) (cloruro de plomo)	s. OMS, 1989

Fuente: www.atsdr.cdc.gov

Cadmio: es un elemento natural de la corteza terrestre. Generalmente se encuentra como mineral combinado con otros elementos tales como oxígeno (óxido de cadmio), cloro (cloruro de cadmio) o azufre (sulfato de cadmio, sulfuro de cadmio). Todos los suelos y rocas, incluso el carbón y abonos minerales, contienen una cantidad de cadmio. La mayor parte del cadmio que se usa en el

mundo se extrae durante la producción de otros metales como el cinc, plomo y cobre. El cadmio no se corroe fácilmente y se usa en baterías, pigmentos, revestimiento de metales y plásticos, entre otros.

El cadmio entra al suelo, al agua y al aire durante actividades industriales y de minería; además, durante la combustión de carbón y desechos domésticos. No se degrada en el ambiente, pero sí cambia de forma. Las plantas, los peces y otros animales incorporan cadmio del ambiente. Las partículas de cadmio en el aire pueden movilizarse largas distancias antes de depositarse en la tierra o el agua. El cadmio es resistente a la intemperie, dado que se recubre de una capa de óxido que lo protege.

Algunas formas de cadmio se disuelven en agua. Entre dos tercios y tres cuartos del cadmio que se encuentra en los cuerpos de aguas superficiales y subterráneos, está adsorbido como partículas en suspensión. Por acción de los agentes formadores de complejos puede ser removido de los sedimentos. Su toxicidad para los peces depende, entre otros factores, del contenido de calcio del agua. En general, cuanto mayor es el contenido de calcio en el agua, tanto menor será el efecto tóxico del cadmio sobre los peces. La capacidad de autodepuración biológica de las aguas superficiales y subterráneas se ve perturbada a partir de 0,1 mg/l de cadmio.

El cadmio se adhiere fuertemente a partículas del suelo. La capacidad de retención del cadmio depende del contenido de álcalis intercambiables. Debido a que se adsorbe a partículas orgánicas del suelo, casi no se produce lixiviación. El horizonte de acumulación para el cadmio es la rizósfera (raíces) con un pH de 6,5; la disponibilidad es mínima; al disminuir el pH del suelo aumenta la asimilación de cadmio por parte de las plantas.

El cadmio se acumula en el organismo; 50% de la cantidad acumulada se deposita en el hígado y en los riñones. La excreción de cadmio se produce preferentemente a través de la orina, el tiempo de vida media biológica del

cadmio en el cuerpo humano oscila entre 15 y 25 años. El ser humano está expuesto a la contaminación de este elemento al ingerir alimentos que lo contienen; todos los alimentos contienen niveles bajos (los niveles más altos se encuentran en mariscos, hígado y riñón); al fumar cigarrillos o respirar humo de cigarrillo, al respirar aire contaminado en el trabajo, beber agua contaminada, vivir cerca de plantas industriales que liberan cadmio al aire.

Respirar niveles altos de cadmio puede dañar gravemente los pulmones. Ingerir alimentos o tomar agua con niveles muy altos de cadmio produce irritación grave del estómago y causa vómitos y diarrea. La exposición prolongada a niveles más bajos de cadmio en el aire, los alimentos o el agua ocasiona su acumulación en los riñones y posiblemente enfermedad renal. Otros efectos de la exposición prolongada consisten en daño del pulmón y fragilidad de los huesos.

Además del tracto gastrointestinal y el pulmón, es el riñón el órgano más afectado por exposición crónica a ese elemento. El cadmio es una toxina de acumulación; su rápida solubilidad en ácidos débiles constituye un prerrequisito fundamental para su fácil asimilación en el organismo. En Asia, las altas concentraciones de cadmio en el arroz, son las responsables de la enfermedad "Itai-Itai" que destruye los eritrocitos y produce proteinuria, rinitis, enfisema y bronquitis crónica.

Un síntoma típico de intoxicación crónica es la excreción de beta-2-microglobulina en la orina debido a la disfunción renal. También puede producir deformaciones óseas.

Tabla 2 Toxicidad del cadmio

Mamíferos		
Ratas	DL ₅₀ 88 mg/kg (cloruro de cadmio)	s.DVGW, 1988
	DL ₅₀ 72 mg/kg (óxido de cadmio)	s.DVGW, 1988
Conejos:	DL ₅₀ 70-150 mg/kg (cloruro de cadmio)	s.DVGW, 1988
Organismos acuáticos		
Daphnia (pulga acuát.)	0,1 mg/l (lesión)	s.DVGW, 1988
Pececillos de río	DL 5600 mg/l (1 h)	s.DVGW, 1988

Fuente: www.atsdr.cdc.gov

Cinc: es uno de los elementos más comunes en la corteza terrestre. Se encuentra en el aire, el suelo y el agua; está presente en todos los alimentos. El cinc puro es un metal brillante blanco-azulado; tiene muchos usos comerciales como revestimiento para prevenir corrosión, en compartimientos de baterías secas y, mezclado con otros metales, para fabricar aleaciones como el latón y bronce.

Cierta cantidad de cinc se libera al ambiente por procesos naturales, pero la mayor parte proviene de actividades humanas tales como la minería, producción de acero, combustión de petróleo e incineración de basura. Se adhiere al suelo, sedimentos y a partículas de polvo en el aire. La lluvia remueve las partículas de polvo con cinc del aire. Dependiendo del tipo de

suelo, algunos compuestos de cinc pueden movilizarse al agua subterránea, a lagos, arroyos y ríos. La mayor parte del cinc en el suelo permanece adherido a partículas de suelo y no se disuelve en agua.

La exposición del ser humano al cinc puede ocurrir al ingerir pequeñas cantidades presentes en los alimentos y el agua. Al tomar agua contaminada o una bebida que se ha guardado en un envase metálico o agua que fluye a través de cañerías que han sido revestidas con cinc para resistir la corrosión. Al trabajar en cualquiera de las siguientes ocupaciones: construcción, pintor, mecánico de automóviles, minería, fundiciones, soldadura de metales, etc.

El cinc es un elemento esencial en la dieta. Ingerir muy poco cinc puede causar problemas, pero demasiado cinc también es perjudicial. Los efectos nocivos generalmente se empiezan a manifestar a niveles de 10-15 veces más altos que la cantidad necesaria para mantener buena salud. La ingestión de grandes cantidades, aún por poco tiempo, puede causar calambres estomacales, náusea y vómitos. Ingerir grandes cantidades durante un período prolongado puede causar anemia y disminución de los niveles del tipo de colesterol que es beneficioso. Se desconoce si los niveles altos de cinc afectan la reproducción en seres humanos. La administración de grandes cantidades de cinc a ratas les causó esterilidad. Colocar pequeñas cantidades de ciertos compuestos de cinc en la piel de conejos, cobayos y ratones produjo irritación en ella. Una exposición prolongada de la piel puede dar lugar a dermatitis. Una exposición a altos niveles de polvo o humo puede ocasionar fiebre, dolor muscular, dolor de cabeza y sequedad en garganta y boca. Una sobre exposición severa puede producir bronquitis o neumonía con una coloración azulada de la piel.

La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) no ha clasificado al cinc en cuanto a carcinogenicidad. Con base en información

incompleta de estudios en seres humanos y en animales, la EPA ha determinado que el cinc no es clasificable en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos.

Tabla 3 Toxicidad del cinc

Mamíferos		
Ratas	DL50 240 mg/kg, oral	
	CL50 20 mg/l (4h), inhalación	

Fuente: www.atsdr.cdc.gov

Cromo: es un elemento natural que se encuentra en rocas, animales, plantas y el suelo. Puede existir en varias formas diferentes. Dependiendo de la forma que toma, puede encontrarse como líquido, sólido o gas. Las formas más comunes son el cromo (0), cromo (III) y cromo (VI). Los compuestos de cromo no tienen ningún sabor u olor especial. El cromo metálico, que es la forma de cromo (0), se usa en la fabricación de acero. El cromo (VI) y el cromo (III) se usan en cromado, colorantes y pigmentos, curtido de cuero y preservación de madera.

Este elemento se puede encontrar en el aire, el suelo y el agua luego de ser liberado durante su manufactura, uso o disposición de productos de cromo. Generalmente no permanece en la atmósfera, sino que se deposita en el suelo y el agua. Con facilidad puede cambiar de una forma a otra en el agua y el suelo, dependiendo de las condiciones presentes. Los peces no acumulan en el cuerpo cantidades significativas de cromo procedentes del agua.

La exposición puede ocurrir al ingerir alimentos contaminados con cromo (III), al respirar aire contaminado en el trabajo o mediante el contacto con la piel durante su uso en el trabajo; asimismo, al tomar agua de pozo contaminada, al

vivir cerca de sitios donde hay residuos peligrosos no controlados que contienen cromo o de industrias que lo usan. El cromo (III) es un elemento nutritivo esencial que ayuda al cuerpo a usar azúcares, proteínas y grasas. Respirar niveles altos de cromo (VI) puede producir irritación del revestimiento interno de la nariz, úlceras nasales, secreción nasal y problemas respiratorios tales como asma, tos, falta de aliento o respiración jadeada. En animales de laboratorio expuestos al cromo (VI) también se ha observado daño de los espermatozoides y del sistema reproductivo del macho. El contacto de la piel con ciertos compuestos de cromo (VI) puede producir úlceras en la piel. En algunas personas se han descrito reacciones alérgicas que se manifiestan como enrojecimiento e hinchazón grave de la piel.

La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) y la EPA han determinado que los compuestos de cromo (VI) son carcinogénicos en seres humanos. En trabajadores, la inhalación de cromo (VI) ha producido cáncer del pulmón. El cromo (VI) también produce cáncer del pulmón en animales. En seres humanos y animales expuestos a cromo (VI) presente en el

agua potable se ha observado aumento de tumores estomacales.

Tabla 4 Toxicidad del cromo

Seres humanos		
	0,5-1 g oral = letal (cromato de potasio)	s.MERIAN, 1984
	DL 6-8 g oral (dicromato de sodio)	s.KOCH, 1989
Mamíferos		
Ratas	DL ₅₀ 1800 mg/kg oral (cloruro de cromo(III))	s.MERIAN, 1984

	DL ₅₀ 3250 mg/kg oral (nitrato de cromo(III))	s.MERIAN, 1984
Organismos acuáticos		
Peces de agua dulce	CL ₅₀ 250-400 mg/l (Cr ^{VI})	s.MERIAN, 1984
Peces de mar	CL ₅₀ 170-400 mg/l (Cr ^{VI})	s.MERIAN, 1984
Daphnia (pulgas acuát.)	CL ₅₀ 0,05 mg/l (Cr ^{VI})	s.MERIAN, 1984
Algas	CL ₅₀ 0,032-6,4 mg/l (Cr ^{VI})	s.MERIAN, 1984

Fuente: www.atsdr.cdc.gov

Níquel: es un elemento natural muy abundante. El níquel puro es un metal duro, blanco-plateado que puede combinarse con otros metales, como el hierro, cobre, cromo y cinc para formar aleaciones que se usan para fabricar monedas, joyas y artículos como válvulas e intercambiadores de calor. La mayor parte del níquel se usa para fabricar acero inoxidable. Puede combinarse con otros elementos, por ejemplo cloro, azufre y oxígeno para formar compuestos de níquel, muchos de los cuales se disuelven fácilmente en agua y son de color verde. Los compuestos de níquel se usan en niquelado, para colorear cerámicas, para fabricar baterías y como catalizadores (sustancias que aceleran las reacciones químicas). Se encuentra en todos los suelos y es liberado por emisiones volcánicas. También se encuentra en meteoritos y en el suelo de los océanos. El níquel y sus compuestos no tienen olor ni sabor característicos.

El níquel es liberado a la atmósfera por industrias que manufacturan o usan níquel, sus aleaciones o compuestos; además, por plantas que queman petróleo o carbón y por incineradores de basura. En el aire se adhiere a pequeñas partículas de polvo que se depositan en el suelo o son removidas del aire en la lluvia; esto generalmente toma varios días. El níquel liberado en desagües industriales termina en el suelo o en el sedimento, en donde se adhiere fuertemente a partículas que contienen hierro o manganeso. El níquel no parece acumularse en peces o en otros animales usados como alimentos.

La exposición al níquel puede ocurrir al ingerir alimentos contaminados con él, lo que representa la fuente de exposición más importante para la mayoría de la gente; a través de contacto de la piel con suelo, agua de baño o ducha, o metales que lo contienen; también al tocar monedas o joyas que contienen níquel, al tomar agua que contiene pequeñas cantidades de níquel, al respirar aire o usar tabaco que contienen níquel. Las personas que trabajan en industrias que procesan o usan níquel se exponen a cantidades de níquel más altas.

El efecto adverso más común de la exposición al níquel en seres humanos es una reacción alérgica. Aproximadamente entre un 10% y 15% de la población es sensible al níquel. Las personas pueden sensibilizarse al níquel cuando hay contacto directo prolongado de la piel con joyas u otros artículos que lo contienen. Una vez que una persona se ha sensibilizado al níquel, el contacto adicional con el metal producirá una reacción. La reacción más común es sarpullido en el área de contacto; también puede aparecer en un área alejada del sitio de contacto. Con menor frecuencia, algunas personas sensibles al níquel sufren ataques de asma luego de exposición a ese elemento. Algunas personas sensibilizadas reaccionan cuando ingieren níquel en los alimentos o el agua o cuando respiran polvo que lo contiene. Personas que trabajan en refineries de níquel o plantas que procesan níquel han sufrido bronquitis crónica

y alteraciones del pulmón. Estas personas inhalaban cantidades de níquel mucho más altas que los niveles que se encuentran normalmente en el ambiente. En ratas y ratones que respiraron compuestos de níquel se ha observado daño de los pulmones y de la cavidad nasal. Comer o beber grandes cantidades de níquel ha producido enfermedad del pulmón en perros y ratas y ha afectado el estómago, la sangre, el hígado, los riñones y el sistema inmunitario en ratas y ratones, como también la reproducción y el desarrollo.

En trabajadores que respiraron polvo que contenía altos niveles de compuestos de níquel durante el trabajo en refinerías o en plantas de procesamiento de níquel se observó aumento de cáncer de los pulmones y de los senos nasales. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer ha determinado que algunos compuestos de níquel son carcinogénicos en seres humanos y que el níquel metálico es posiblemente carcinogénico en seres humanos. La EPA ha determinado que los polvos de refinerías de níquel y el bisulfuro de níquel son carcinogénicos en seres humanos.

3.5. Tipo de tratamiento de desechos peligrosos

Los desechos peligrosos de origen industrial son aquellos que no tienen una utilización directa y por lo tanto se descartan de los procesos productivos. Al ser un desecho y con el agravante de ser peligroso es necesario establecer un tratamiento previo a su deposición. El propósito del tratamiento de un desecho es la modificación de las características físicas, químicas y, cuando aplique, biológicas, con el fin de reducir el volumen e inmovilizar los componentes tóxicos. Ningún tratamiento es 100% efectivo pero la selección dependerá de la disminución del riesgo al que se expone el ser humano y el medio ambiente. Otros criterios de selección que se deben tomar en cuenta son: normas de seguridad, costo-beneficio, utilización de sub-productos, etc.

A continuación se describen los procesos para el tratamiento de desechos peligrosos:

Solidificación: es un proceso que fija o encapsula residuos dentro de una matriz sólida, la técnica de fijación ata los residuos química y físicamente usando agentes de solidificación. Existen actualmente cinco clases de sistemas de solidificación:

1. Por medio de adición de cemento.
2. Por medio de adición de cal u otros materiales puzolánicos.
3. Fijación de residuos en materiales termoplásticos como betún, parafinas o polietileno.
4. Micro encapsulación.
5. Macro encapsulación de residuos en una cubierta inerte.

Reducción de volumen: el proceso más utilizado para la reducción de residuos peligrosos es la incineración, este método es mayormente aplicado a residuos orgánicos. En el caso de las escorias y polvo de humos el proceso del cual se han obtenido contempla condiciones similares a las de la incineración y los compuestos inorgánicos quedan en la mezcla. Otra técnica de reducción es el proceso de trituración y cribado, mayormente aplicado a la industria siderúrgica; estos residuos se reconvierten en áridos de calidad aptos para ser usados como materia prima en la fabricación de hormigones destinados a la construcción, así como asfaltos, bases y sub-bases para carreteras y caminos. Tras separar las escorias blancas y las negras se utilizan equipos móviles de trituración y cribado que procesan el material para obtener áridos reciclados que se clasifican según distintas granulometrías. En el proceso los elementos férricos se separan por el efecto de un electroimán y se devuelven a la industria siderúrgica para ser refundidos. De este modo se consigue un producto de calidad similar o superior al que se obtiene del medio natural (las canteras). Los

áridos reciclados suponen una doble ventaja en términos medioambientales. Se evita la derivación de escombros a vertederos y, una vez valorizado el residuo, este sustituye a las materias primas y se genera un círculo virtuoso que contribuye al mantenimiento del medio natural.

Des-toxificación: se agrupa en tres tipos de tratamientos térmicos, químicos y biológicos; para la selección del proceso por utilizar se deben considerar las características de los residuos por procesar, su composición química, cantidad, etc. Dentro de los procesos térmicos se encuentran la incineración y la pirólisis, que requieren de altas temperaturas similares a las utilizadas en el proceso de fundición del acero. Para el proceso químico se tienen el intercambio de iones, neutralización, oxidación y reducción; todos estos métodos se trabajan por medio de reacciones químicas, por lo que se deben considerar los parámetros por los que se obtengan los mejores resultados.

Estas reacciones se llevan a cabo en reactores tales como la planta Waelz, que consiste normalmente de dos partes: la preparación de la materia prima y el horno rotativo Waelz con tratamiento de la escoria y gas de escape. Eventualmente se añade una tercera parte: el lavado del polvo de óxido de cinc (ZnO) para eliminar los cloruros. Esto es necesario para poder utilizar el óxido Waelz en procesos de obtención de cinc mediante vía electrolítica, ya que los cloruros producen la corrosión de las celdas. No es imprescindible cuando el cinc se produce en los procesos con condensador de plomo. En la unidad de materias primas se prepara la carga sólida para asegurar una alimentación homogénea y uniforme del horno rotativo. Esto incluye los polvos de horno eléctrico, el coquecillo como agente reductor y los formadores de escoria: arena para la ruta ácida y cal para la ruta básica. Estos materiales se mezclan entre sí con adición de agua (en el orden del 10%); en un tambor se producen *micropellets* auto reductoras, que se almacenan por un tiempo para su curado.

El horno Waelz opera en contracorriente: el material sólido avanza desde el extremo por donde es alimentado, debido a la rotación del horno (1 rpm) y la inclinación (2% al 3%). El aire se succiona desde el otro extremo, por donde sale la escoria. La carga sólida primero se seca y luego se calienta, hasta que comienzan las reacciones. La máxima temperatura del sólido es de 1.200 °C. Las reacciones de reducción en la carga son endotérmicas. El cinc se reduce y se vaporiza. El calor requerido se genera por la combustión entre el coquecillo y el aire que ingresa por el otro extremo y por la oxidación del cinc vapor. El aire ingresa al horno a temperatura ambiente y el gas egresa por el otro extremo a 700 a 800°C. Las principales reacciones son:



El cinc reducido, vaporizado y vuelto a oxidar sale del horno con el gas de escape, desde donde se recupera. La limpieza del gas comienza con la cámara de deposición de polvos. En esta cámara también se inyecta agua para el primer enfriamiento. El enfriamiento principal se obtiene por la adición de aire ambiente por medio de un tubo estrecho en forma de cono y por enfriamiento indirecto. El polvo de óxido Waelz en bruto se separa en los filtros tipo bolsa ubicados en un contenedor. Para controlar la emisión de dioxinas se usa la técnica de absorción por carbón activado o coque de lignito.

Así se obtiene el llamado óxido Waelz en bruto, con el 54% al 60% de cinc. Algunas plantas lo venden directamente a los productores de cinc o a plantas químicas y otras tienen una planta de lavado para eliminar los cloruros. Para la precipitación del cinc disuelto se agrega carbonato de sodio.

Alternativas de disposición final:

Luego de tratar los residuos industriales es necesario ubicar el resto de sólidos en un lugar adecuado para evitar el contacto inapropiado con ellos; a continuación se describen algunas opciones:

Relleno industrial: esta forma de disposición es la que se encuentra mejor desarrollada con base en criterios de ingeniería. Los pasos para establecer un relleno industrial son: i) una adecuada selección del sitio, ii) construcción y operación sistemática, iii) cierre apropiado, iv) cuidado posterior al cierre y, durante todo el proceso, monitoreo de aguas subterráneas y lixiviados mediante un adecuado registro.

Esparcimiento sobre el suelo: este procedimiento consiste en utilizar el suelo como fertilizante o acondicionador de suelos, por lo que se esparce sobre estos. Para ello los residuos deben estar libres de contaminantes bio-acumulativos que puedan afectar los alrededores donde se aplican.

Inyección en pozos profundos: este tipo de aplicación se ha desarrollado ampliamente en la industria petrolera; se aprovecha la gran profundidad de los pozos que se han agotado para inyectar residuos tanto peligrosos como no peligrosos.

4. GENERALIDADES DEL PROCESO DE FUNDICIÓN DE ACERO

En la fundidora de acero de Guatemala el acero se fabrica a partir de la “chatarra” por medio del proceso del arco eléctrico. El objetivo es reducir

impurezas como el contenido de carbón en el hierro, dependiendo de las especificaciones metalúrgicas de las órdenes de producción individuales.

4.1. Horno de arco eléctrico

Es el más versátil de todos los hornos para fabricar acero. Además de proporcionar altas temperaturas, hasta 1 750 °C, también puede controlarse eléctricamente con alto grado de precisión. En consecuencia, es capaz de producir todo tipo de aceros, desde los de regular contenido de carbono hasta aceros de alta aleación. El horno de arco eléctrico se carga con chatarra de acero cuidadosamente seleccionada. Si la carga de chatarra es muy baja en carbono, se agrega coque para aumentar su nivel.



Fig. 6 Horno de arco eléctrico.

Al aplicarse la corriente eléctrica la formación del arco entre los electrodos produce calor intenso. La masa fundida resultante se calienta y permite que se quemen las impurezas. Para acelerar la remoción del carbono, el oxígeno gaseoso se introduce, por medio de un tubo o lanza, generalmente en forma directa, dentro de acero fundido. El oxígeno quema el exceso de carbono y algunas de las impurezas, mientras otras se desprenden como

escoria por la acción de varios fundentes. Cuando la composición química de la masa fundida cumple con las especificaciones, el horno se inclina para verter el acero fundido dentro de una cuchara de colada, revestida de material refractario, que cumple la función de cuba de un segundo horno de afino en el que termina de ajustarse la composición del acero y de dársele la temperatura adecuada para la siguiente fase en el proceso de fabricación.

4.2. Horno de afino

Este horno es capaz de producir una colada de acero en un período de 15 minutos. En primer lugar se analiza la composición del baño fundido y se procede a la eliminación de impurezas y elementos indeseables como el azufre, se realiza un ajuste de la composición química por medio de la adición de ferroaleaciones que contienen los elementos necesarios como el manganeso y el silicio, dependiendo del producto que se definió producir.



Fig. 7 Cuba de horno cuchara.

4.3. Colada continua

La colada continua fue desarrollada para reducir los costos globales de fabricación de acero al eliminar varios pasos en su preparación convencional,

como el vaciado de los lingotes, el recalentamiento y el laminado preliminar. La fundición continua es el proceso de vaciado continuo del metal fundido, con un cucharón, al complejo equipo de fundición, el cual distribuye el líquido que le da forma, lo enfría y lo corta a la longitud deseada. La fundición es continua en tanto que el cucharón tenga metal disponible. A través de todo el largo del molde, una distancia un metro, el metal posteriormente fundido en su capa externa se expone a una serie de rociadores de agua de contacto directo que completan la labor de solidificación del acero. Una vez solidificado en continuo movimiento, se moviliza a lo largo de guías hacia los rodillos enderezadores y hacia la mesa de evacuación ya cortado a un largo específico.



Fig. 8 Colado continuo.

SIDEGUA, ESCUINTLA
FLUJOGRAMA PRODUCCIÓN DE ACERO

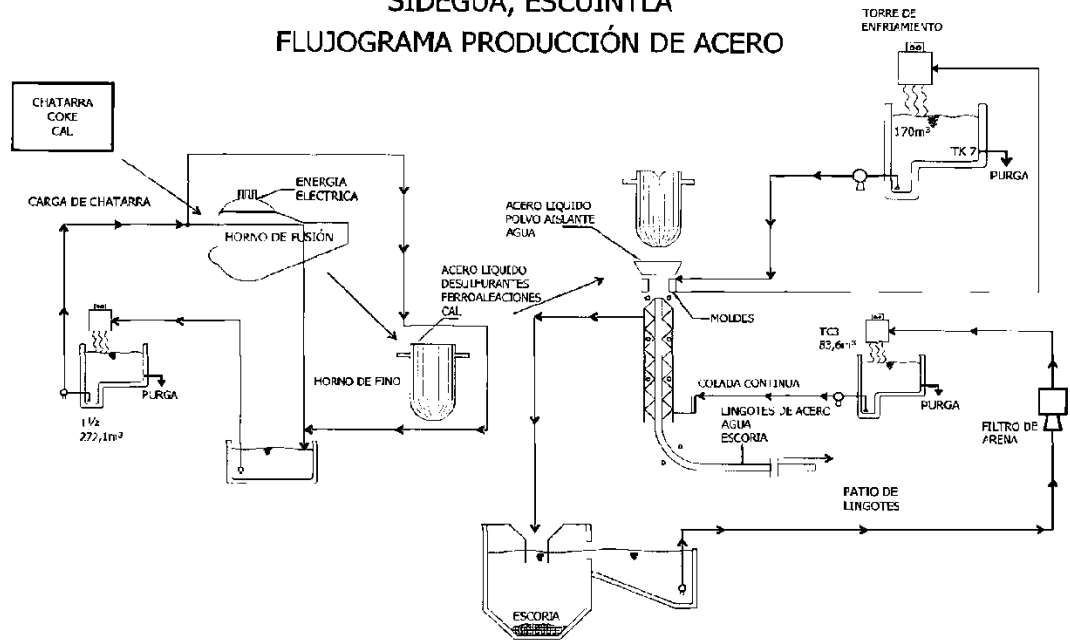


Fig. 9 Flujograma de la acería.

5. METODOLOGÍA

5.1. Procedimiento

El trabajo de campo consistió principalmente en el muestreo tanto de la escoria de fusión y la de afino, como del polvo de los humos. El propósito de este muestreo fue caracterizar los residuos sólidos producidos en la fabricación de acero para establecer la concentración de los elementos contaminantes que se determinaron en la fase inicial de la investigación: plomo, cromo, níquel, cadmio y cinc. De igual manera se monitoreó el volumen de residuos generados y se comparó con las producciones de acero. Una vez obtenidos los resultados

anteriores, el trabajo se desarrolló en escritorio con base en la investigación teórica, para establecer una propuesta de tratamiento adecuado para evitar la contaminación ambiental debida a los residuos peligrosos.

5.2. Tipo de muestra

Como parte del diseño experimental utilizado, y para cumplir con la aleatoriedad del mismo, se realizaron cuatro tomas de muestras por cada tipo de residuo en el periodo comprendido del 6 al 17 de junio de 2011, como se observa en los reportes del anexo A. La recolección de muestras se llevó a cabo utilizando una pala, homogenizando una muestra de material de cantidad considerable y separando, por medio de una espátula, la cuarta parte de la recogida. El laboratorio que realizó los análisis estableció las cantidades para cada tipo de residuo, los cuales se colocaron en bolsas plásticas transparentes, nuevas, del tipo *Zipper Storage* y se almacenaron hasta el momento de su análisis.

5.3. Tamaño de muestra

El tamaño de la muestra se determinó considerando un nivel de confianza de 75% y un error muestral de 8%, de modo que se obtuvo un total de cuatro muestras por cada tipo de residuo sólido. El muestreo se desarrolló de la siguiente manera:

Tabla 5 Calendario de muestreo

Tipo de residuo	Lunes 6	Martes 7	Miércoles 8	Jueves 9	Viernes 10
Escoria fusión	09:00			12:30	14:00
Escoria afino			09:00	16:00	
Polvo de humos			02:00		08:00

Tipo de residuo	Lunes 13	Martes 14	Miércoles 15	Jueves 16	Viernes 17
Escoria fusión					07:30
Escoria afino			15:00	10:00	
Polvo de humos			09:00		08:00

Fuente: autor

En el caso de la muestra del óxido de calcio se consideraron los dos tipos utilizados y se levantaron en los días que se indican a continuación:

Tabla 6 Calendario de muestreo de óxidos de calcio

Cal fusión	Jueves 16	09:00	Dolomítica
Cal afino	Viernes 10	13:00	Cal calcítica

Fuente: autor

Debido a la constitución física de las muestras de escoria de fusión y los tipos de cal fue necesario recolectar una libra; de la escoria de afino y del polvo de afino solamente se requirieron 50 gramos.



Fig. 10 Toma de muestra.

5.4. Análisis de laboratorio

El análisis de cada una de las muestras se desarrolló en el laboratorio técnico del área de minerales del Ministerio de Energía y Minas, ubicado en la zona 11 de la capital de Guatemala. Se utilizó el método de espectrometría de absorción atómica y los resultados se proporcionaron en porcentaje de masa por cada elemento analizado.

5.5. Consideraciones finales de la metodología aplicada

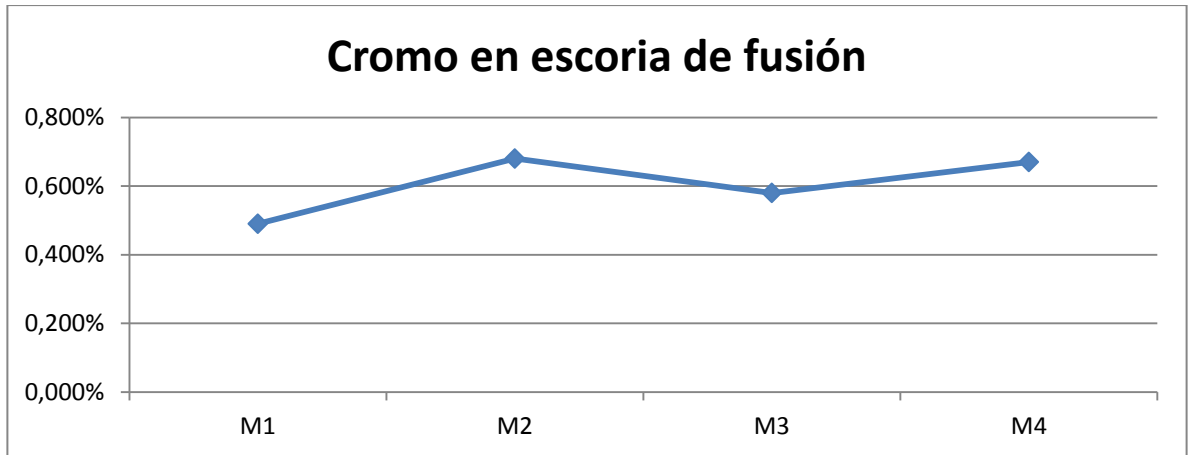
Una de las limitaciones de la investigación consistió en establecer un grupo de elementos considerados de mayor toxicidad; aspecto que se tuvo en cuenta para el desarrollo de la propuesta de tratamiento. Para establecer los volúmenes generados se tomaron valores históricos de abril, mayo y junio de los datos en metros cúbicos proporcionados por la empresa que traslada el material al sitio actual de depósito, así como la producción en toneladas durante los meses citados.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Como parte del diseño de la investigación el muestreo de las escorias y los polvos de humos se realizó durante tres semanas; se tomaron aleatoriamente las muestras en los periodos de la mañana, el medio día y la tarde. Por cada tipo de escoria se realizaron cuatro muestras, sin relación entre ellas. No se efectuaron cambios en el proceso con el fin de establecer alguna relación entre las variables independientes con las variables dependientes.

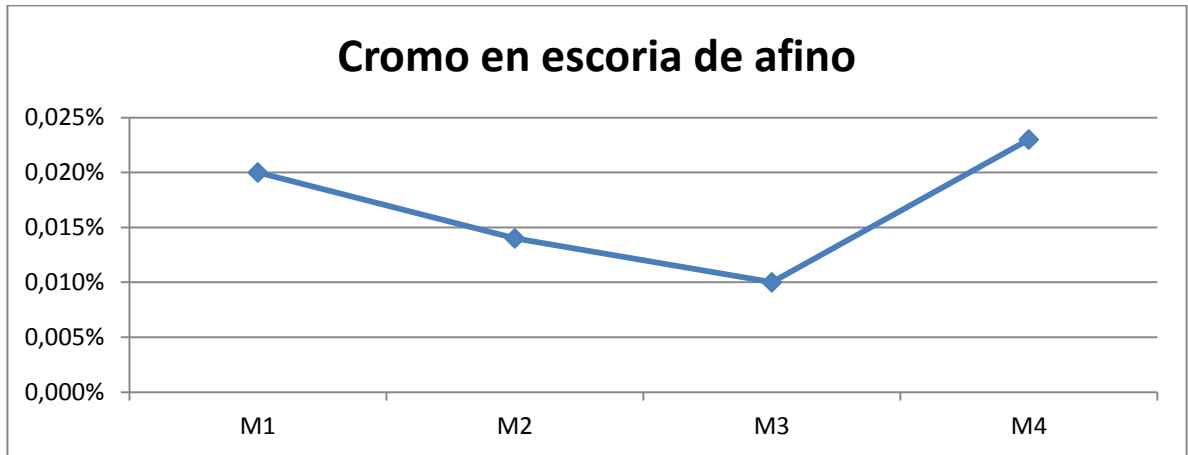
El resultado del cromo presenta el total de concentración de este elemento sin distinción en su valencia por el grado de oxidación, su mayor porcentaje se encontró en el polvo de humos, llegó a una concentración de

0,56%; en la escoria de afino aportó la muestra con menor contenido de cromo y fue de 0,01%.



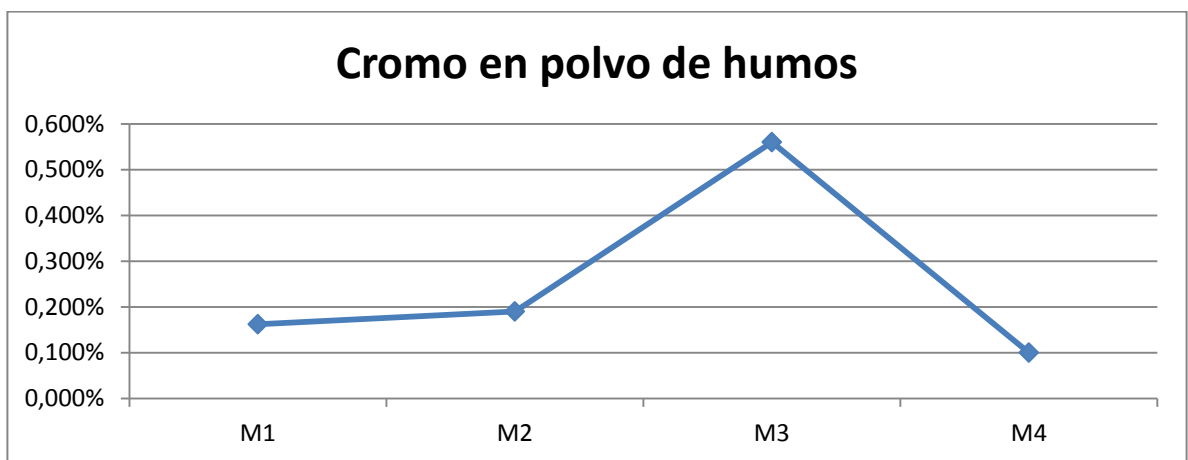
Fuente: análisis químico, anexo A.

La gráfica de cromo en la escoria de fusión se observan datos dentro del rango de 0,5% a 0,7%, considerando que su concentración es estable debido a que, dentro de la chatarra, el cromo, se mantiene estable y no se agregan elementos de aleación para incrementar este valor. Por las características físicas (tipo rocoso) de la escoria de fusión se considera que la transferencia de cromo que se puede dar al ambiente será a través del desgaste que esta sufra por las lluvias y su posterior lixiviación a los mantos freáticos.



Fuente: análisis químico, anexo A.

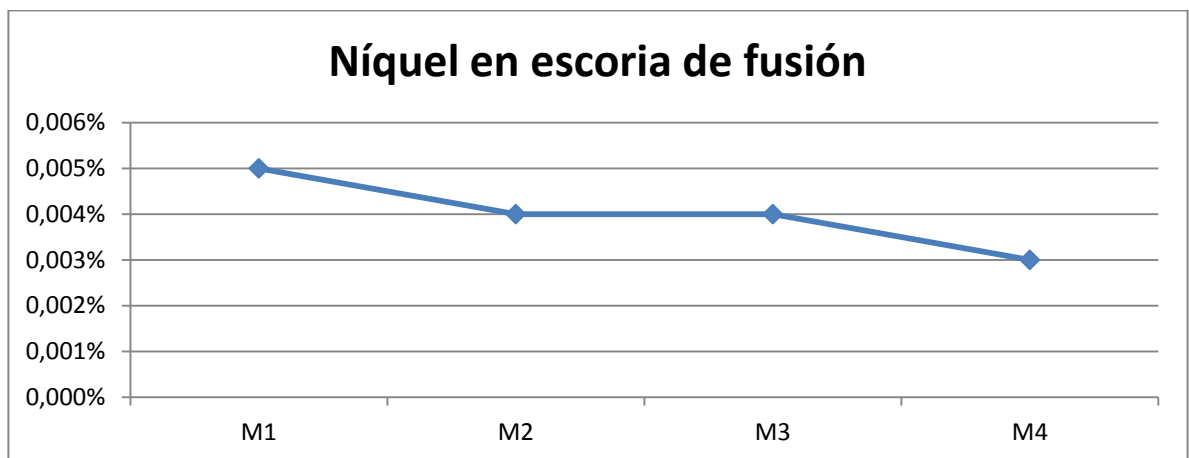
En la escoria de afino el cromo se encontró entre los niveles de 0,01% a 0,023%; dado que el proceso de afino se lleva a cabo en un ambiente reductor, la mayoría del cromo permanecerá dentro del baño líquido del acero sin oxidarse y formando aleación con el hierro. Por la característica física de la escoria la transferencia de este elemento al ambiente puede realizarse por lixiviación a través de las lluvias o por traslado por medio del viento; las concentraciones parecen ser bajas, pero se debe considerar la manera en que puede entrar en contacto con la naturaleza.



Fuente: análisis químico, anexo A.

En el polvo de humos la concentración de cromo se encontró en el intervalo de 0,1% a 0,56%; la variación de la composición presenta una muestra con un valor elevado; esto motiva a investigar la causa de ese valor. Como se sabe, el proceso de fundición se lleva a cabo a partir de la carga de chatarra, aún cuando esta puede presentar valores estables de concentración de elementos, es probable que se introduzcan piezas que contengan altas concentraciones. Debido a que las muestras no tienen relación entre sí, no se puede establecer si este valor se elevó en las escorias; eso representaría mayor riesgo de transferencia al ambiente.

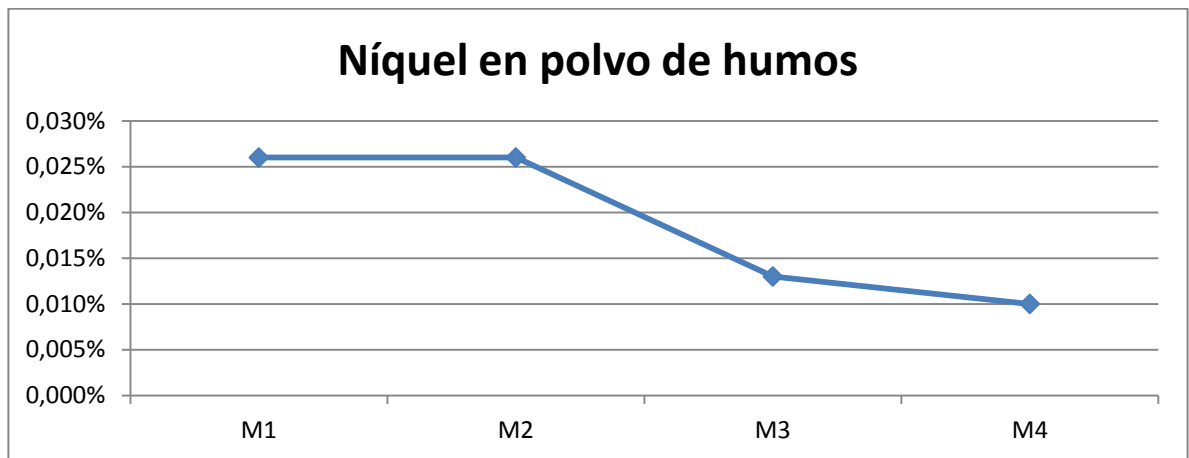
El níquel al igual que el cromo, en la chatarra se presenta como aleación y, a menos que se conozca su procedencia, es difícil separarlo de la carga que se realiza al horno de fundición.



Fuente: análisis químico, anexo A.

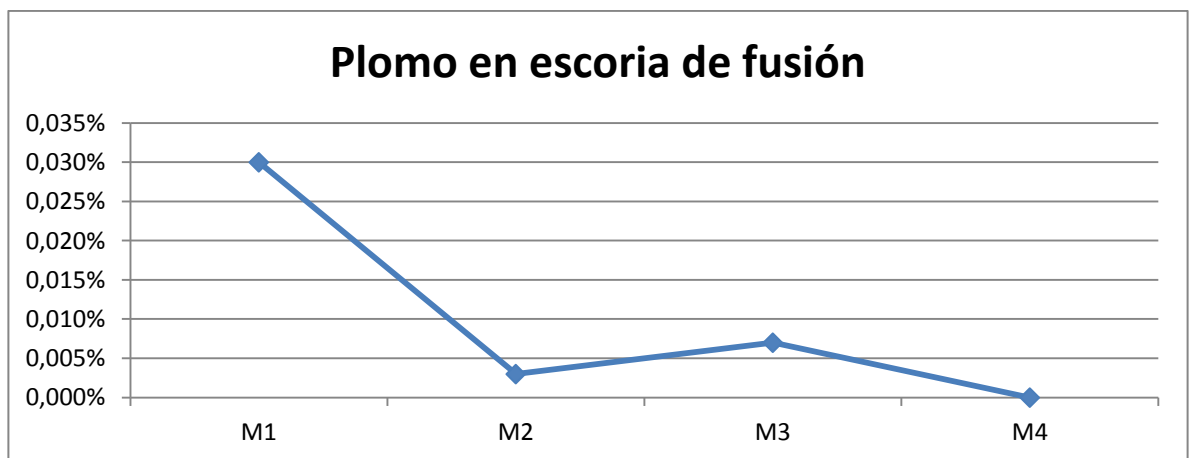
El níquel en la escoria de fusión se encontró en rangos bajos, el valor mínimo encontrado fue de 0,003% y un máximo de 0,005%. Como en el caso del cromo, el níquel presente en este tipo de escoria podrá ser transferido con el tiempo a través del desgaste ocasionado por las lluvias y su posterior lixiviación.

En la escoria de afino el níquel no se presentó en las muestras analizadas; eso significa que el níquel presente en el acero no se oxidó. Debido a que el potencial de reducción del níquel es superior al del hierro y en este proceso se requiere un ambiente reductor, puede considerarse que el níquel no se encontrará en la escoria de afino.



Fuente: análisis químico, anexo A.

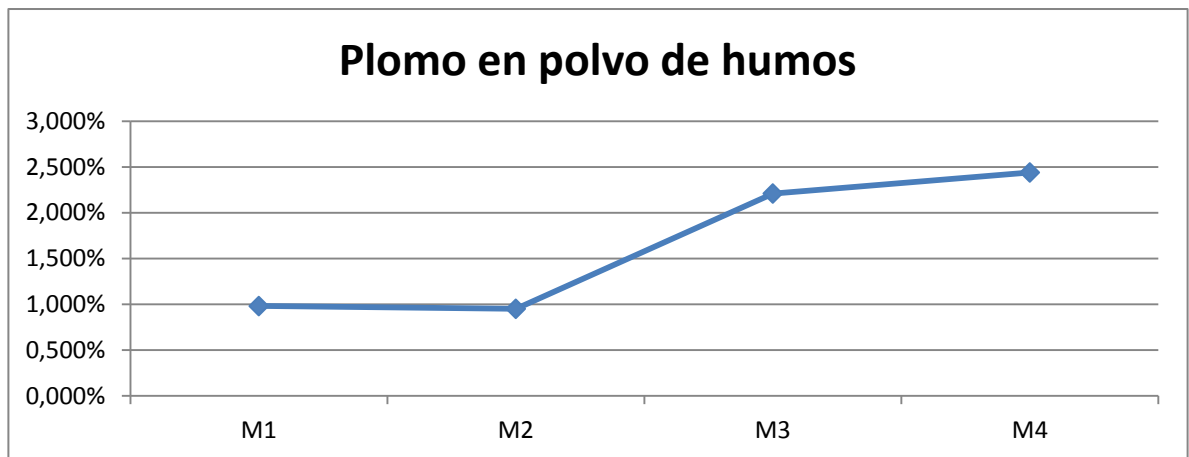
El intervalo del níquel en el polvo de humos varió de 0,01% a 0,026%; esa fue la mayor concentración detectada en todas las muestras analizadas. Su estabilidad se puede considerar aceptable por la cantidad encontrada.



Fuente: análisis químico, anexo A.

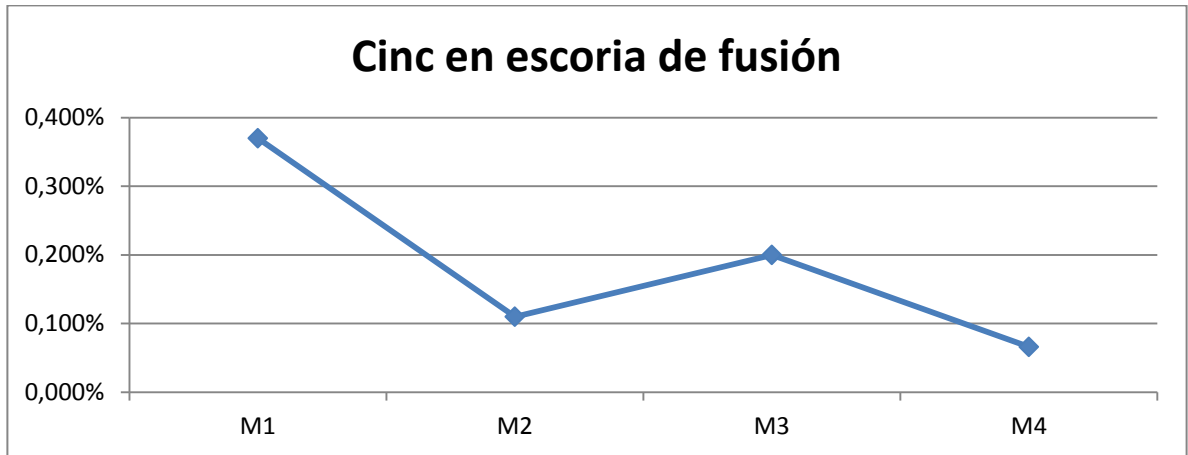
El plomo en la escoria de fusión se encontró únicamente en tres muestras; se determinó en el intervalo entre 0,003% y 0,03%. El plomo se introduce básicamente debido a contrapesos de monta-carga, aunque una fase del proceso de preparación de chatarra es la rutina de vaciar los monta-carga, es probable que tal proceso no esté completamente estandarizado y por ello se obtuvo la variación determinada en el análisis.

El potencial de reducción del plomo es mayor que el del níquel. En el horno de afino ocurre un proceso netamente reductor; el plomo se ubicará dentro del acero líquido y por ello, en las muestras de afino, no se detectó este elemento.



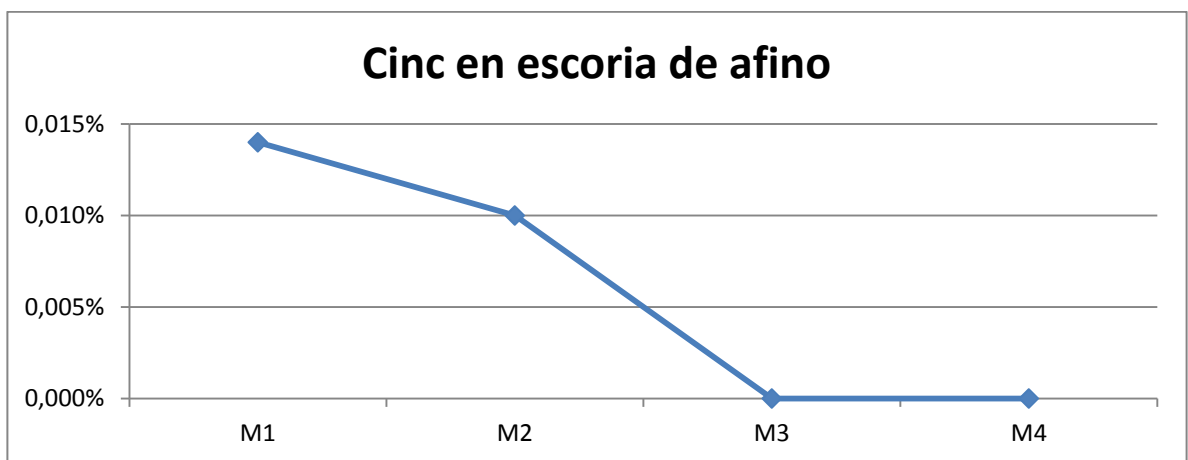
Fuente: análisis químico, anexo A.

En el polvo de humos la presencia de plomo, después de la del cinc, fue la más grande de todas las muestras; se encontró en el intervalo de 1% a 2.5%. El punto de ebullición del plomo es de 1 725 °C, cercano al punto de fusión del hierro y por lo tanto, una parte se evapora durante el proceso de fundición.



Fuente: análisis químico, anexo A.

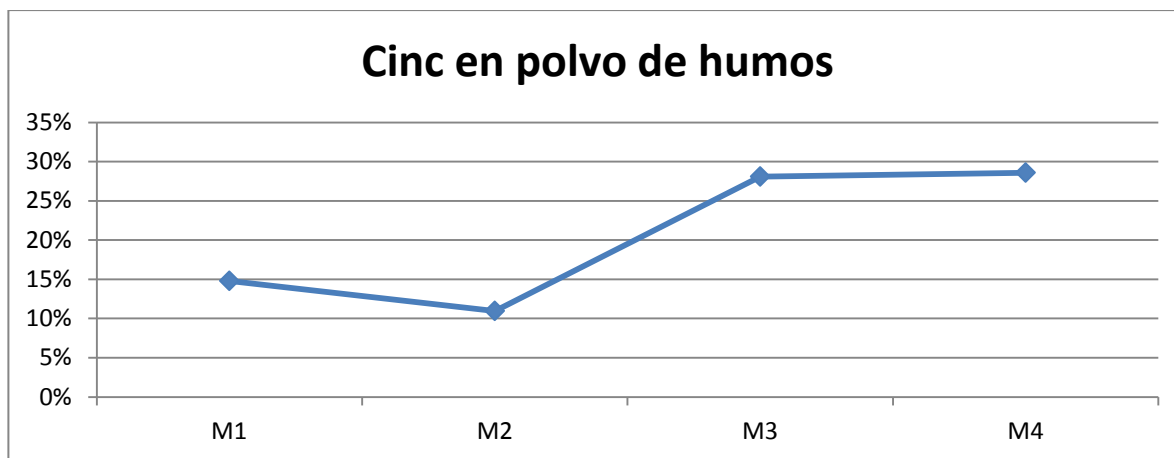
Dentro de la escoria de fusión el cinc tuvo un intervalo de concentración de 0,066% a 0,37%, esta variación en las concentraciones se debe a que el cinc llega incorporado en aceros galvanizados que pueden variar en la cantidad adicionada que se carga al horno. Al igual que el cromo tienen mayor potencial de oxidación y en el proceso de fundición eso provoca que se trasladen a la escoria debido al ambiente oxidante.



Fuente: análisis químico, anexo A.

El cinc se presentó solamente en dos de las muestras de escoria de afino, en concentración baja porque la mayor parte se queda en la escoria del horno de fusión. Por su bajo potencial de reducción es uno de los últimos

elementos en regresar al baño líquido; también queda atrapado en la escoria de afino dependiendo del tiempo que dure la colada.

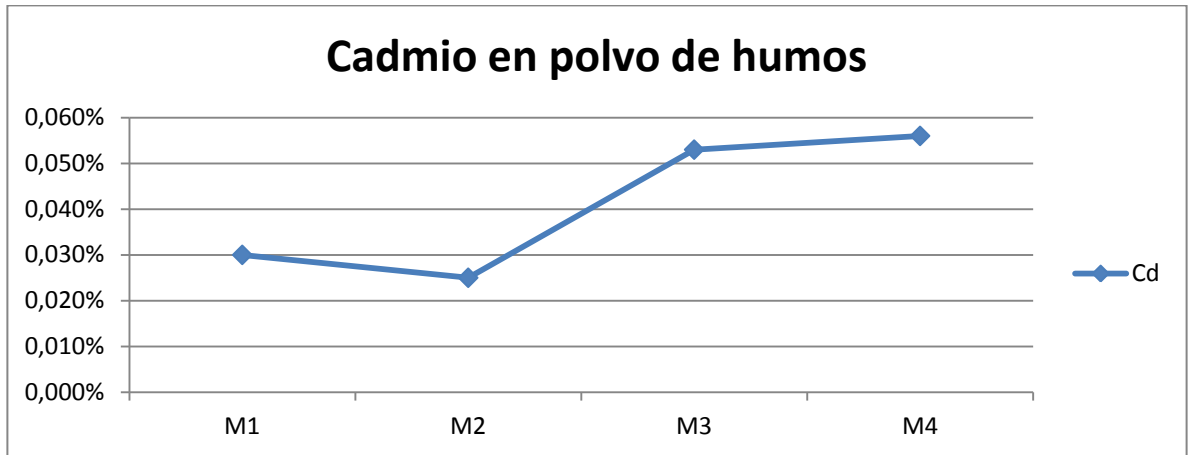


Fuente: análisis químico, anexo A.

El cinc en el polvo de humos fue el elemento que presentó mayor concentración. Esto se debe a su alto punto de ebullición ya que evapora a los 906 °C y es en el proceso de fundición en el que la mayor parte de cinc se trasladará a los humos como consecuencia de alcanzar temperaturas superiores a los 1 600 °C.

El origen del cadmio en la chatarra se debe a las baterías (pilas recargables) que proceden de la recolección de desechos domésticos. Debido al reciclaje, la presencia este elemento disminuye en la fundición, razón por la cual no se encontró en la escoria de fusión.

Al igual que en la escoria de fusión, debido a la escasa presencia de este elemento en la carga de chatarra no se encuentra en la escoria. Sumado a esto, el potencial de oxidación del cadmio es similar al del hierro; por lo tanto si existiera presencia de cadmio este se quedaría en la escoria de fusión.



Fuente: análisis químico, anexo A.

De los elementos analizados, el cadmio posee el más bajo punto de ebullición, que es de 765 °C. Por eso la totalidad del elemento se evapora con los humos generados en el proceso de fundición y se trasladan al polvo de humos al ser enfriados por el tratamiento de la casa de filtros.

En síntesis, la escoria de fusión no presentó concentración de cadmio; una de las muestras de plomo no presentó concentración y no superó el 0,035% en el resto de las muestras. De los otros elementos el de menor presencia fue el níquel; de cromo se obtuvo alrededor de 0,60% y el cinc varió; en una muestra se obtuvo 0,40% y en las otras tres, alrededor de 0,15%.

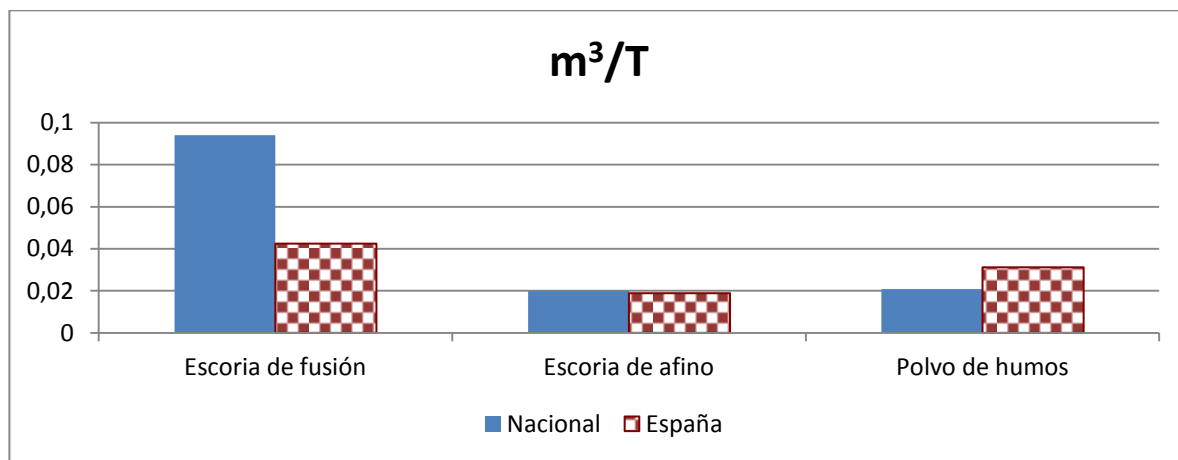
La escoria del proceso de afino presentó concentración de cromo en las cuatro muestras y de cinc, solamente en dos; ninguno de los resultados sobrepasó el 0,030%. El resto de elementos no presentó concentración alguna.

El polvo de humos fue el único que presentó concentración de todos los elementos analizados y en las cuatro muestras estudiadas; el elemento que tuvo mayor presencia fue el cinc con un 30%; el que menor concentración tuvo fue el níquel con 0,01%. Se debe destacar que las concentraciones de todos los elementos fueron mayores en el polvo de humos; solamente el cromo iguala su

concentración a la de la escoria de fusión, esto se debe a la temperatura de fusión y evaporación de cada uno de los elementos.

El cadmio se considera uno de los de mayor peligrosidad; su presencia fue baja comparada con el resto de elementos y se encontró únicamente en el polvo de humos. Es posible que proceda de la chatarra doméstica, la que más se recibe, proporcionada por los pequeños chatarreros.

Como parte de la investigación se tomaron muestras del óxido de calcio como una muestra blanco, para establecer que la contaminación no procediera de esta fuente; de esa manera se comprobó que fueron bajas las concentraciones de los elementos analizados.



Fuente: Datos de la empresa.

Para determinar el volumen generado, contra las toneladas de producción de acero, en el caso de las escorias se tomó el registro histórico correspondiente a la producción de abril, mayo y junio de 2011. En cuanto a los polvos de humos, se midieron los volúmenes durante los quince días que duró el muestreo para el análisis químico y se relacionó con las toneladas producidas en el mismo periodo de tiempo. Se observa que el mayor de los volúmenes

generados lo presenta la escoria de fusión, cuya forma es como una piedra porosa, con muchos orificios, pero su masa es pesada. La escoria de afino y el polvo de humos son de consistencia fina, por lo que ocupan poco espacio; su volumen también es menor respecto a la otra escoria. La relación entre el volumen de la escoria de afino y el volumen del polvo de humos con respecto a la escoria de fusión es casi de un 20% de las primeras con respecto al volumen de la segunda. Al comparar los resultados con los datos referidos a las acerías de España, se encontraron dos diferencias básicas: la primera es la escoria de fusión debido a que la medición realizada en este país se lleva a cabo después de la reducción de volumen; se aprecia que los residuos son reducidos a la mitad de su volumen original. La segunda diferencia está en el polvo de humos, cuyo volumen es mayor en la acería de España que en la nacional, como consecuencia de una mejor recolección de los humos durante el proceso, ya que en la planta nacional ocurren fugas eventuales debido al tipo de extracción de que se dispone. En la escoria de afino la diferencia no es apreciable.

7. PROPUESTA DE TRATAMIENTO

Actualmente en la industria siderúrgica se presenta la problemática de la generación de escorias y polvos de humos, a las cuales no se les da tratamiento alguno y su disposición final carece de un control adecuado como la colocación de barreras que eviten problemas ambientales. Para definir un tratamiento técnico y económicamente adecuado es necesario conocer la composición de los elementos que puedan tener mayor impacto, así como la de los que, debido al proceso que generan estas escorias y polvos, tengan la probabilidad de estar presentes. Luego de desarrollar la investigación teórica se debe considerar que, de los elementos estudiados, el plomo y el cromo son los de mayor toxicidad. Al observar la concentración de cada elemento en las muestras analizadas es posible establecer los siguientes puntos:

1. Tanto las escorias como el polvo de humos presentan cantidades considerables de cromo que pueden ser perjudiciales para la salud del ser humano y dañinos para el medio ambiente; la escoria de afino presenta la menor concentración.
2. El polvo de humos presenta elevada concentración de plomo que genera alto riesgo de contaminación en su manipulación.
3. En la escoria de fusión, aunque en apariencia la presencia de este elemento es baja, la elevada cantidad de escoria que se genera se torna en un problema latente cuyas consecuencias en el futuro pueden perjudicar al ambiente.
4. La escoria de afino no presenta concentración medible de este elemento; por ello se considera que no presenta riesgo de contaminación ambiental.
5. La escoria de afino presenta menos contaminantes y menores concentraciones.
6. El cinc es el elemento que mayor concentración presenta y lo contiene el polvo de humos,, por ello aunque no es de los elementos de mayor toxicidad, la gran cantidad generada permite considerarlo como un potencial de peligro para el ser humano y el ambiente si no se trata de forma adecuada.

Con base en lo anterior y en la bibliografía consultada se proponen las siguientes alternativas:

Debido a que la escoria de fusión presenta el mayor volumen y por su constitución física se debe considerar un pre-tratamiento con el método de reducción de volumen, específicamente el proceso de trituración y cribado, que es el mayormente aplicado en la industria siderúrgica. Mediante dicho proceso esos residuos se reconvierten en áridos de calidad aptos para usarse como materia prima en la fabricación de hormigones destinados a la construcción,

como asfaltos, bases y sub-bases para carreteras y caminos. Sin embargo, pruebas desarrolladas en la planta mostraron que debido al peso que presenta la escoria no es recomendable utilizarla como un agregado normal por lo que, aunque no se aplique en los usos descritos, al disminuir el volumen se obtendrá el beneficio de disminuir el área requerida para su disposición final.

Por sus características similares al cemento Portland la escoria de afino se ha estudiado para su utilización como cemento; presenta los inconvenientes siguientes:

- ✓ No ofrece la resistencia correspondiente a las normas
- ✓ Es más pesada que el cemento Portland
- ✓ El volumen crece durante el tiempo que entra en contacto con agua

No obstante, por ser la escoria de afino la que menos concentración de elementos presentó, puede considerarse la solidificación como una alternativa de tratamiento. Por medio de ese proceso los residuos se fijan o encapsulan dentro de una matriz sólida, la fijación los mantiene atados química y físicamente usando agentes de solidificación como los cementos. En este caso se puede considerar la adición de material puzolánico como la escoria de afino; la escoria de fusión y el polvo de humos se encapsulan y se retienen dentro del encapsulado; de esa manera se coloca una barrera a la contaminación. Sería recomendable formar bloques que constituyan barreras en las inundaciones del río cercano a la planta y así favorecer a la comunidad. Por supuesto que, previamente, a esos bloques se les deben realizar pruebas de resistencia a la compresión y de percolabilidad, para evitar que el problema se traslade a otro sector.

Es importante extraer el cinc contenido en el polvo de humos, que es de por lo menos un 30%. La extracción se realiza mediante un proceso de

destoxificación; se recomienda el horno Waelz como tratamiento inicial. El cinc extraído se puede utilizar como suministro de otros procesos dentro del parque industrial, por ejemplo, el cincado de alambre para la fabricación de alambre de amarre. Con ello se beneficia la empresa, porque disminuyen costos y se amortiza la inversión en el equipo de tratamiento. Para este proceso se requiere de un espacio determinado durante las siguientes etapas:

- a. Almacenamiento: mientras no se procese el polvo debe de almacenarse bajo techo para evitar el contacto con humedad; también se almacenarán otros materiales (cal y coque) que se han de utilizar en el mismo proceso.

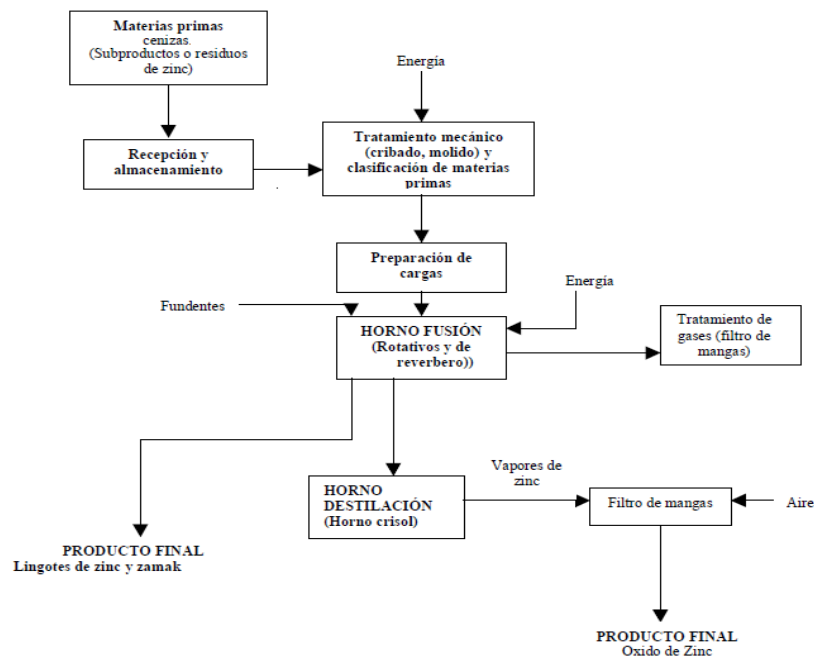


Fig. 11 Diagrama de flujo de la extracción de cinc del polvo de humos.

- b. Planta de lavado: se lleva a cabo para eliminar el 95% de los cloruros presentes en el polvo de humos, básicamente consiste en los procesos de lixiviación, espesamiento y filtrado.

- c. Peletizado: consiste en introducir el polvo de humos en una distribución homogénea; se peletiza el polvo con la cal y el coque.
- d. Horno Waelz: la etapa más importante consiste en un horno rotativo tubular con calentamiento en contracorriente y un quemador de gas natural.
- e. Captación del óxido de Waelz: el óxido de cinc es transportado por la corriente gaseosa que fluye del horno y que se recoge en el sistema de captación y depuración de gases constituido por:
 - ✓ Cámara de sedimentación y enfriamiento.
 - ✓ Torre de acondicionamiento.
 - ✓ Filtro de mangas.
 - ✓ Sistema de adición y recirculación de cal y carbón activado.
- f. Granulación de la escoria: las escorias producidas en el horno estarán constituidas principalmente por óxidos de hierro, cal y sílice. Estas se enfriarán con agua a presión y después se colocarán en un patio de secado.
- g. Horno de reducción y lingotamiento: el óxido de cinc se funde para reducirlo y posteriormente se solidifica en moldes para formar lingotes que pueden ser utilizados en el proceso de cincado.
- h. Almacenamiento de producto final: el producto final debe ser almacenado antes de su utilización.
- i. Instalaciones auxiliares: están constituidas por los siguientes servicios auxiliares:
 - ✓ Planta de tratamiento de aguas
 - ✓ Subestación eléctrica
 - ✓ Estación de almacenamiento y distribución de gas
 - ✓ Instalación de aire comprimido
 - ✓ Instalación de protección contra incendios
 - ✓ Taller de mantenimiento

✓ Oficinas y laboratorio

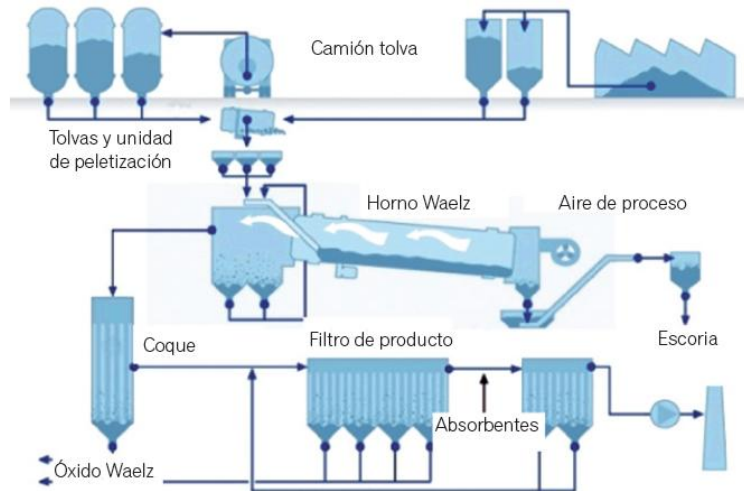


Fig. 12 Proceso del horno Waelz.

Finalmente a todos los residuos de las escorias y el polvo de humos que no pueden ser tratados se les debe dar una disposición final adecuada. Por el tipo de desechos que se tratan se recomienda utilizar el método de relleno industrial. Para ello se requiere de la correcta selección del sitio y es necesario considerar el volumen que se pretende almacenar en el futuro. Considerando un tiempo de vida de proyecto de 10 años, el historial de producción de acero, que es 350 000 T/año y tomando en cuenta que la escoria de fusión es porosa, esos espacios se pueden llenar con una adecuada mezcla formada por la escoria de afino y el polvo de humos. Se sabe que de estos residuos se produce un volumen igual a 0,094 metros cúbicos/T, de modo que se esperaría disponer de un sitio capaz de almacenar un máximo de 65 806,42 metros cúbicos al cierre del lugar.

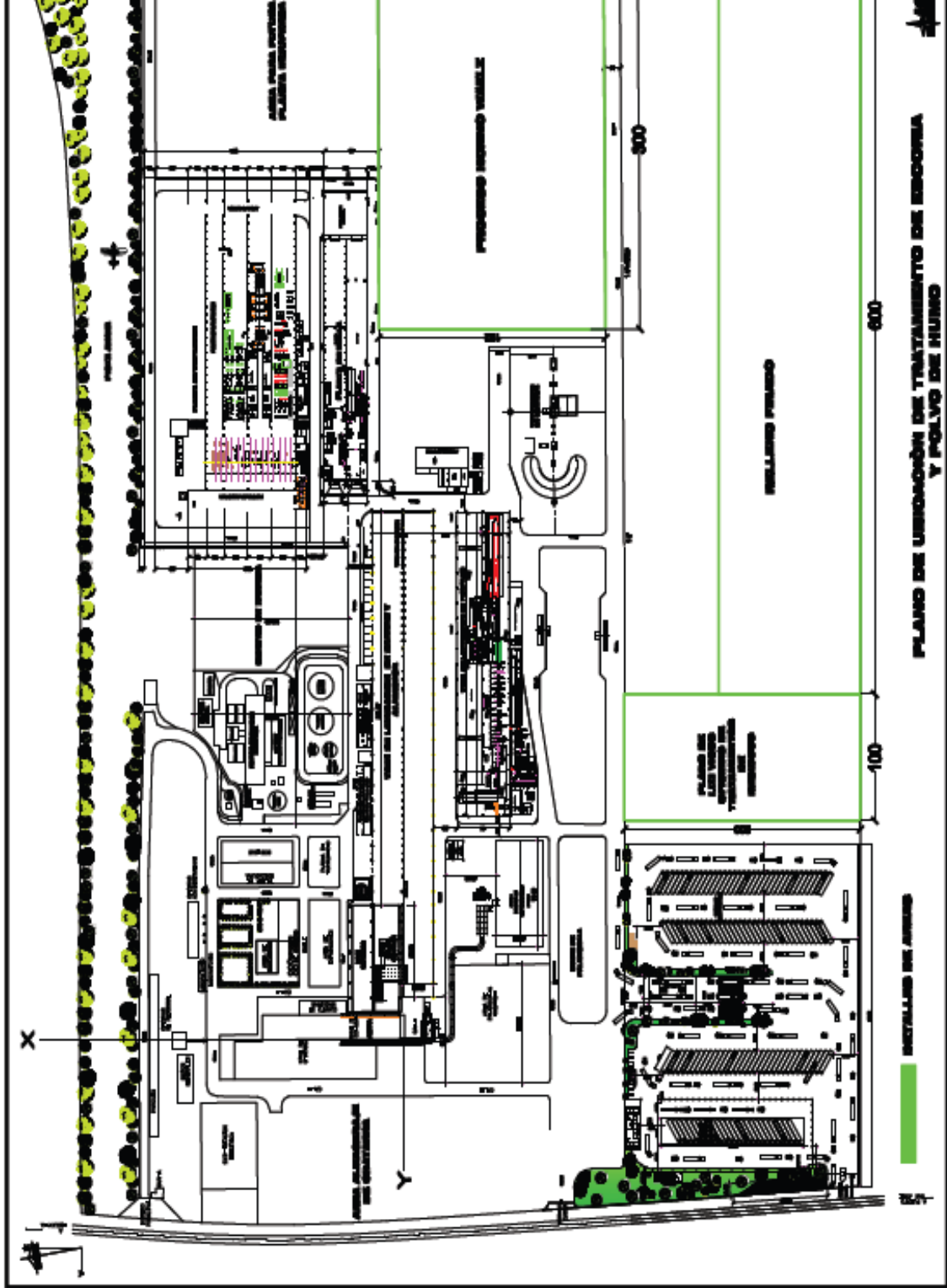


Fig. 13 Ubicación de tratamiento de escorias y polvo de humos.

Esto constituiría un espacio de aproximadamente 600 metros de largo por 120 metros de ancho y 5 metros de altura. Este terreno debe estar ubicado cercano a la planta y, previamente, no haber tenido ningún uso, para tratar adecuadamente el suelo del lugar desde el principio.

Con base en lo anterior se recomienda ubicar el tratamiento en el sureste del terreno del parque industrial, como se muestra en la figura 13. Dentro de esta ubicación se definen tres áreas, la primera para realizar el proceso de tratamiento del polvo de humos, consistente en el horno Waelz. La segunda se destina para el relleno confinado del tipo industrial y la tercera área, para el tratamiento de lixiviados, las oficinas y el laboratorio, como se muestra en la figura 14.

El lugar debe estar cercado y aislado del resto de procesos. En el perímetro destinado para el relleno se debe construir un canal para evitar que una parte de la escorrentía natural, en época de invierno, cause la lixiviación y aumento en el caudal por tratar en la planta. Dentro de la etapa de construcción se debe realizar un estudio ambiental para determinar la línea base del lugar, posteriormente debe prepararse el terreno con una base de compactación para resistir la carga.

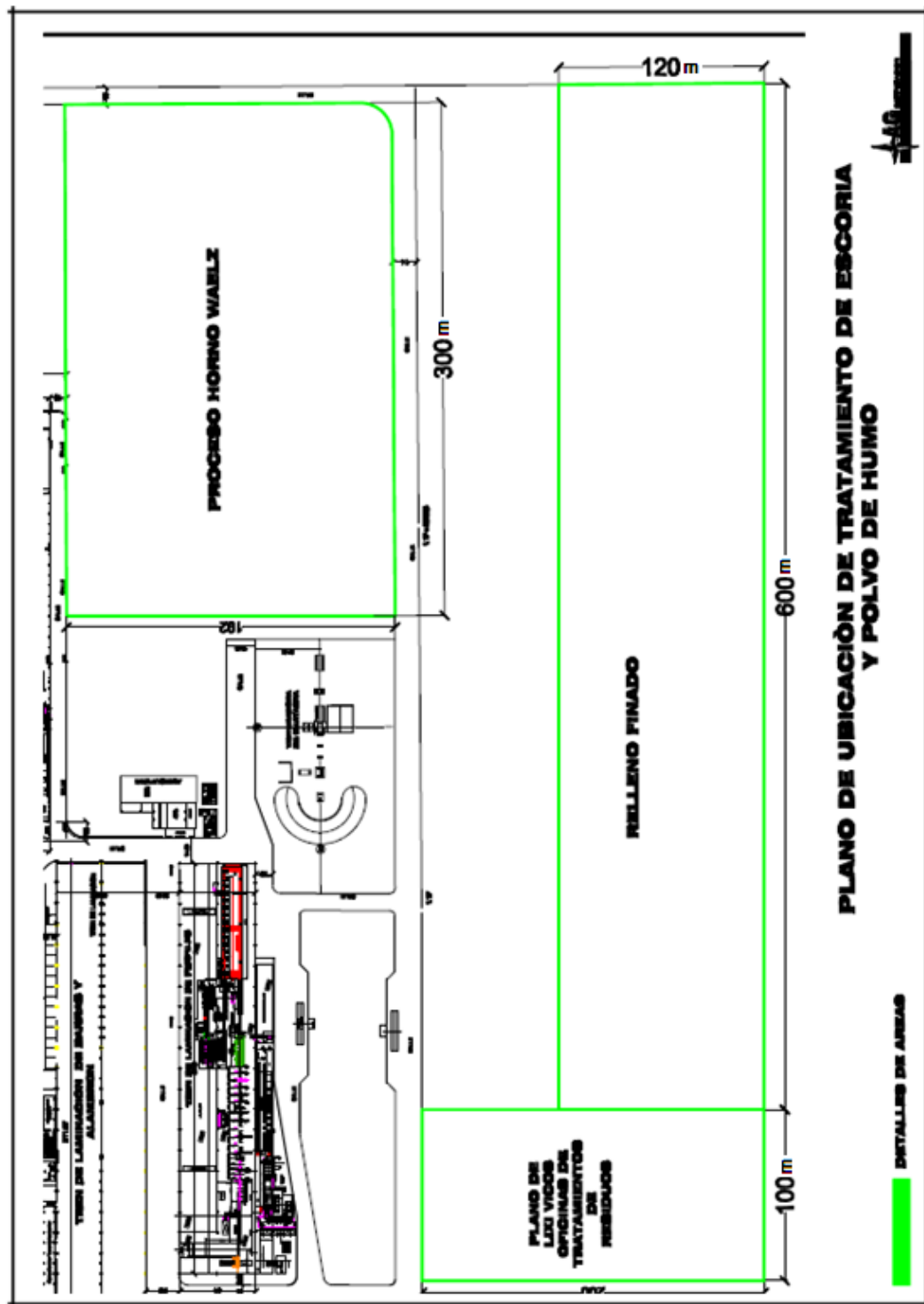


Fig. 14 Detalle de la ubicación del tratamiento.

Como cualquier relleno, esta base se cubre con geo-textil y en el fondo se colocan tuberías, entre los residuos depositados y el geo-textil, para evacuar los lixiviados. El detalle de lo descrito se muestra la figura 15.

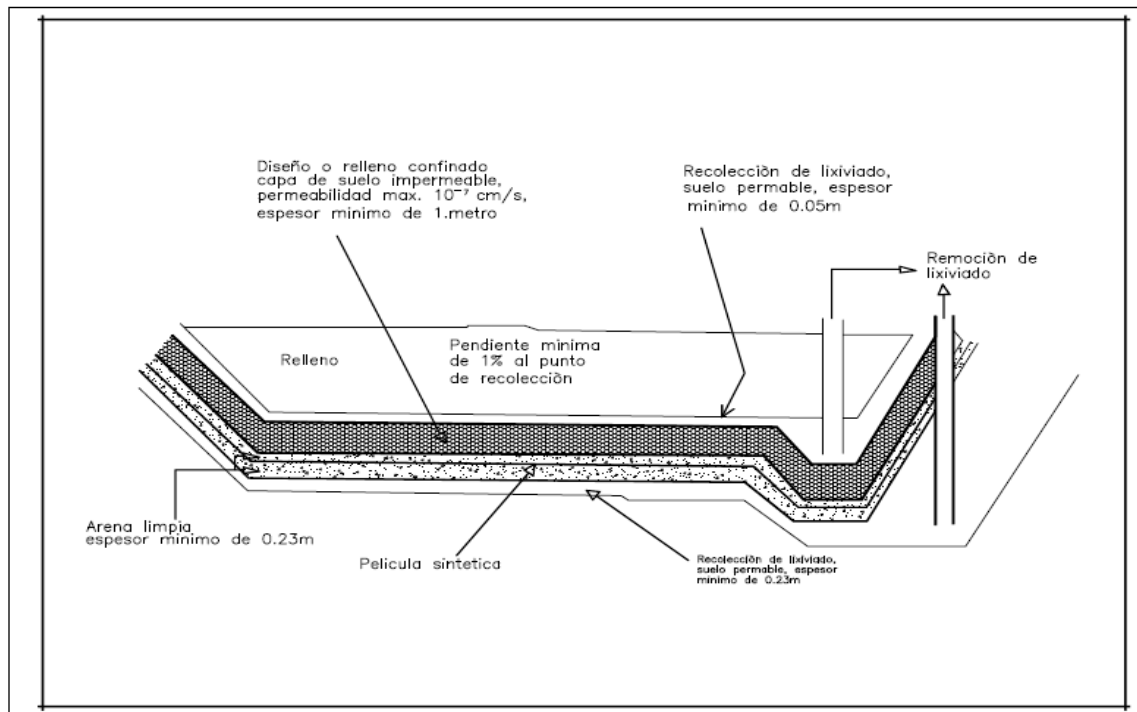


Fig. 15 Esquema del relleno de tipo industrial.

Se requiere de una planta de tratamiento para los lixiviados y un laboratorio para la revisión de estos; además, se debe contar con oficinas para el personal que opere el relleno. En la operación se debe llevar un control eficiente para recibir solamente este tipo de residuos, realizar la mezcla adecuadamente y dar tratamiento efectivo a los lixiviados. El cierre del lugar debe ser apropiado y después ha de considerarse la utilización de ese espacio para establecer en él un complejo deportivo para uso del personal de la empresa. Se estima que para estos servicios auxiliares se debe contar con un área aproximada de 100 x 100 metros.

8. CONCLUSIONES

1. La hipótesis planteada en el presente estudio es verdadera, ya que es factible proponer una alternativa de tratamiento y disposición final de las escorias y polvo de humos generados en el proceso de fundición de acero a partir de su caracterización.
2. Debido a su composición química, en otros países a las escorias y polvo de humos se les considera residuos tóxicos y peligrosos. La Agencia de Protección Ambiental (EPA) los clasifica como residuo K061.
3. De los elementos analizados, la escoria de afino presenta menor cantidad de contaminación; en ella es nula la presencia de níquel, plomo y cadmio.
4. El cinc fue el elemento que mayor concentración presentó en los tres residuos analizados; de ellos, fue el polvo de humos el que mostró la mayor concentración de cinc.
5. El plomo y el cromo son los elementos que, por su concentración en las escorias y polvos de humos analizados, presentan alto riesgo de contaminación para el medio ambiente..
6. De los tres analizados, el residuo que presenta mayor volumen generado, es la escoria de fusión que duplica el volumen generado en conjunto por la escoria de afino y el polvo de humos. La porosidad de la escoria de fusión es una de las características que contribuyen a este resultado.
7. Previo a la disposición final, el tratamiento sugerido para la escoria de fusión es la de reducción de volumen y cribado; esto contribuye a la búsqueda de otros usos o a la disminución de los requerimientos de espacio para su disposición final.
8. La escoria de afino conviene tratarla mediante el método de solidificación, proceso de encapsulado que también puede incluir a la escoria de fusión, posterior al tratamiento de reducción de volumen. Este residuo se ofrece como una alternativa para construir muros de retención en el río cercano a

la planta, realizando un análisis de percolación para evitar la transferencia de elementos dañinos al agua.

9. La sugerencia para el tratamiento de polvos de humos es la extracción del cinc, para la posterior utilización en otros procesos de la planta.
10. Un relleno industrial controlado es el método sugerido para la la disposición final de la cantidad de escoria y polvos que no se pueda tratar.

9. RECOMENDACIONES

1. Considerando que la calidad de chatarra que ingresa al horno de fusión determina la composición química de las escorias y el polvo de humos importante tomar en cuenta los siguientes aspectos:
 - a. Supervisar el tipo de material que ingresa a los patios de chatarra para que de una manera preventiva se evite la contaminación de los subproductos del acero.
 - b. Monitorear la composición química de las escorias y el polvo de humos, por lo menos dos veces al año, para tener un historial de la composición de esos residuos.
2. Desarrollar el estudio económico financiero del proyecto de recuperación de cinc, para su utilización en los procesos de cincado de alambre.
3. Evaluar el costo-beneficio que implica una adecuada disposición final de las escorias y polvo de humos.
4. Monitorear las aguas subterráneas, tanto de la planta como de sus alrededores, para determinar posibles alteraciones de los compuestos químicos por efecto de la lixiviación.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. Geankoplis, C. J. 1982. Procesos de transporte y operaciones unitarias. España. CECSA. 648 p.
2. Montgomery, D. C. 1991. Diseño y análisis de experimentos. México. Iberoamericana. p. 14-24, 119-121.
3. MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales). 2006. Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la deposición de lodos. Guatemala. Capítulo VIII.
4. Amaral dL, L. 1999. Hormigones con escorias de horno eléctrico como áridos: propiedades, durabilidad y comportamiento ambiental. Tesis Doc. España, UPC, ETSECCP. C.2, C.7
5. Kudrin, V. A. 1984. Metalurgia del acero. Mir. URSS. p. 60-74.
6. De León López, M. 1985. Contaminación por desechos líquidos industriales en la ciudad de Guatemala: enfoque preliminar sobre niveles de contaminación. Tesis M.Sc. Guatemala. USAC. ERIS.
7. Herrera Berríos, G. 1977. Tratamientos aplicables a desechos textiles. Tesis M.Sc. Guatemala. USAC. ERIS.
8. Ordóñez Cifuentes, J. M. 1999. Evaluación de la eliminación de sólidos totales del desarenador circular tipo Swirl, de la estación de bombeo El Atlántico, de la planta de tratamiento de agua potable Las Ilusiones, de la Empresa Municipal de Agua de Guatemala (EMPAGUA). Tesis M.Sc. Guatemala. USAC. ERIS.
9. Martínez Orgado, C. 1991. Residuos tóxicos y peligrosos: unidades temáticas ambientales de la Dirección General del Medio Ambiente. Madrid.
10. Perfiles toxicológicos (en línea). Estados Unidos. ATSDR. Consultado 26 de junio 2011. Disponible en: <http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs.html>

11. Benavides, L. 1993. Guía para la definición y clasificación de residuos peligrosos (en línea). CEPIS. Consultado 5 de junio 2011. Disponible en:
http://www.icesi.edu.co/blogs/manejoursi201002/files/2010/08/GUIA-PARA-LA-DEFINICION-Y-CLASIFICACION-DE-RESIDUOS-PELIGROSOS_CEPIS.pdf
12. Ficha técnica escorias de acería de horno de arco eléctrico. 2007. CEDEX. Consultado 5 de junio 2011. Disponible en:
<http://www.cedexmateriales.vsf.es/view/archivos/residuos/217.pdf>
13. Espectrometría. UVSensor&Meter. Consultado 7 de mayo 2011. Disponible en:
http://www.espectrometria.com/espectrometra_de_rayos_x
14. García Aguiar, J. I. 2010. Biohidrometalurgia. Universidad de Sinaloa. Consultado 15 de agosto 2011. Disponible en:
<http://es.scribd.com/doc/42719772/BIOHIDROMETALURGIA>
15. Sakuri, K. 1984. Tratamiento y disposición final de residuos sólidos peligrosos. CEPIS. C1 y C2.
16. Madías, J. Reciclado de polvos de horno eléctrico. Actualizaciones tecnológicas. p. 42-46.

11. ANEXO A

**LABORATORIOS
TÉCNICOS**



PAGINA 1 DE (1)

LAB-REP- 0739-11

ORDEN No. L-365-11

GUATEMALA, 28-06-11

RESULTADOS DE ANÁLISIS

MUESTRA: ESCORIA DE FUSION 17-06-11
 PRESENTADA POR: Carlos Caballeros
 RESPONSABLE DEL MUESTREO: Carlos Caballeros
 PROCEDENCIA: Aceros de Guatemala, S. A.
 LOCALIZACION: Av. Las Américas 18-81 Zona 14 ECCN 14
 FECHA DE MUESTREO: 17-06-11
 FECHA DE RECEPCION DE MUESTRA Y PAPELERIA: 17-06-11
 FECHA DE ANALISIS: del 20 al 27-06-11
 PRECIO DE ANALISIS: \$ 36.00
 ANALISTA: Hugo Argueta

DESCRIPCION	TECNICA	RESULTADOS ELEMENTALES
Cromo, % masa	E. A. A.	0.670
Niquel, % masa	E. A. A.	0.003
Plomo, mg/Kg	E. A. A.	No detectable
Zinc, % masa	E. A. A.	0.066
Cadmio, mg/Kg	E. A. A.	No detectable

Notas: Resultados válidos para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio.
 E. A. A. = Espectrometría de absorción atómica.
 mg/Kg = Miligramos por kilogramo


 Ing. Byron Rosales
 AREA DE MINERALES




 Vo. Bo. Ing. Maya Villatoro
 COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS



sf

El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico.

MINISTERIO DE
ENERGÍA Y
MINAS



**LABORATORIOS
TÉCNICOS**



PAGINA 1 DE (1)

LAB-REP- 0740-11

ORDEN No. L-365-11

GUATEMALA, 28-06-11

RESULTADOS DE ANÁLISIS

MUESTRA: ESCORIA DE FUSION 10-06-11
PRESENTADA POR: Carlos Caballeros
RESPONSABLE DEL MUESTREO: Carlos Caballeros
PROCEDENCIA: Aceros de Guatemala, S. A.
LOCALIZACION: Av. Las Américas 18-81 Zona 14 ECCN 14
FECHA DE MUESTREO: 10-06-11
FECHA DE RECEPCION DE MUESTRA Y PAPELERIA: 17-06-11
FECHA DE ANALISIS: del 20 al 27-06-11
PRECIO DE ANALISIS: \$ 36.00
ANALISTA: Hugo Argueta

DESCRIPCION	TECNICA	RESULTADOS ELEMENTALES
Cromo, % masa	E. A. A.	0.580
Niquel, % masa	E. A. A.	0.004
Plomo, % masa	E. A. A.	0.007
Zinc, % masa	E. A. A.	0.200
Cadmio, mg/Kg	E. A. A.	No detectable

Notas: Resultados válidos para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio.
E. A. A. = Espectrometría de absorción atómica.
mg/Kg = Miligramos por kilogramo

Ing. Byron Rosales
AREA DE MINERALES



Vo. Bo. Ing. Mayra Villatoro
COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS



sf

El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico.

MINISTERIO DE
ENERGÍA Y
MINAS



**LABORATORIOS
TÉCNICOS**



PAGINA 1 DE (1)
LAB-REP- 0741-11
ORDEN No. L-365-11
GUATEMALA, 28-06-11

RESULTADOS DE ANÁLISIS

MUESTRA: ESCORIA DE FUSION 9-06-11
PRESENTADA POR: Carlos Caballeros
RESPONSABLE DEL MUESTREO: Carlos Caballeros
PROCEDENCIA: Aceros de Guatemala, S. A.
LOCALIZACION: Av. Las Américas 18-81 Zona 14 ECCN 14
FECHA DE MUESTREO: 09-06-11
FECHA DE RECEPCION DE MUESTRA Y PAPELERIA: 17-06-11
FECHA DE ANALISIS: del 20 al 27-06-11
PRECIO DE ANALISIS: \$ 36.00
ANALISTA: Hugo Argueta

DESCRIPCION	TECNICA	RESULTADOS ELEMENTALES
Cromo, % masa	E. A. A.	0.680
Niquel, % masa	E. A. A.	0.004
Plomo, % masa	E. A. A.	0.003
Zinc, % masa	E. A. A.	0.110
Cadmio, mg/Kg	E. A. A.	No detectable

Notas: Resultados válidos para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio.
E. A. A. = Espectrometría de absorción atómica.
mg/Kg = Miligramos por kilogramo

Ing. Byron Rosales
ÁREA DE MINERALES



Vo. Bo. Ing. Mayra Villatoro
COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS



El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico.

MINISTERIO DE
ENERGÍA Y
MINAS



**LABORATORIOS
TÉCNICOS**



PAGINA 1 DE (1)

LAB-REP- 0742-11

ORDEN No. L-365-11

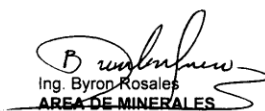
GUATEMALA, 28-06-11

RESULTADOS DE ANÁLISIS

MUESTRA: ESCORIA DE FUSION 6-06-11
PRESENTADA POR: Carlos Caballeros
RESPONSABLE DEL MUESTREO: Carlos Caballeros
PROCEDENCIA: Aceros de Guatemala, S. A.
LOCALIZACION: Av. Las Américas 18-81 Zona 14 ECCN 14
FECHA DE MUESTREO: 06-06-11
FECHA DE RECEPCION DE MUESTRA Y PAPELERIA: 17-06-11
FECHA DE ANALISIS: del 20 al 27-06-11
PRECIO DE ANALISIS: \$ 36.00
ANALISTA: Hugo Argueta

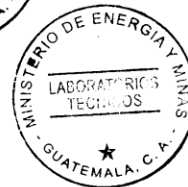
DESCRIPCION	TECNICA	RESULTADOS ELEMENTALES
Cromo, % masa	E. A. A.	0.490
Niquel, % masa	E. A. A.	0.005
Plomo, % masa	E. A. A.	0.03
Zinc, % masa	E. A. A.	0.370
Cadmio, mg/Kg	E. A. A.	No detectable

Notas: Resultados válidos para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio.
E. A. A. = Espectrometría de absorción atómica.
mg/Kg = Miligramos por kilogramo


Ing. Byron Rosales
AREA DE MINERALES




Vo. Bo. Ing. Maya Vilatoro
COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS



El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico.

MINISTERIO DE
ENERGÍA Y
MINAS



**LABORATORIOS
TÉCNICOS**



PAGINA 1 DE (1)

LAB-REP- 0745-11

ORDEN No. L-365-11

GUATEMALA, 28-06-11

RESULTADOS DE ANÁLISIS

MUESTRA: ESCORIA DE AFINO 9-06-11
 PRESENTADA POR: Carlos Caballeros
 RESPONSABLE DEL MUESTREO: Carlos Caballeros
 PROCEDENCIA: Aceros de Guatemala, S. A.
 LOCALIZACION: Av. Las Américas 18-81 Zona 14 ECCN 14
 FECHA DE MUESTREO: 09-06-11
 FECHA DE RECEPCION DE MUESTRA Y PAPELERIA: 17-06-11
 FECHA DE ANALISIS: del 20 al 27-06-11
 PRECIO DE ANALISIS: \$ 36.00
 ANALISTA: Hugo Argueta

DESCRIPCION	TECNICA	RESULTADOS ELEMENTALES
Cromo, % masa	E. A. A.	0.014
Niquel, mg/Kg	E. A. A.	No detectable
Plomo, mg/Kg	E. A. A.	No detectable
Zinc, % masa	E. A. A.	0.010
Cadmio, mg/Kg	E. A. A.	No detectable

Notas: Resultados válidos para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio.
 E. A. A. = Espectrometría de absorción atómica.
 mg/Kg = Miligramos por kilogramo

Ing. Byron Rosales
 AREA DE MINERALES



Vo. Bo. Ing. Maya Villatoro
 COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS



El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico.

MINISTERIO DE
ENERGÍA Y
MINAS



**LABORATORIOS
TÉCNICOS**



PAGINA 1 DE (1)

LAB-REP- 0746-11

ORDEN No. L-365-11

GUATEMALA, 28-06-11

RESULTADOS DE ANÁLISIS

MUESTRA: ESCORIA DE AFINO 8-6-2011
 PRESENTADA POR: Carlos Caballeros
 RESPONSABLE DEL MUESTREO: Carlos Caballeros
 PROCEDENCIA: Aceros de Guatemala, S. A.
 LOCALIZACION: Av. Las Américas 18-81 Zona 14 ECCN 14
 FECHA DE MUESTREO: 08-06-11
 FECHA DE RECEPCION DE MUESTRA Y PAPELERIA: 17-06-11
 FECHA DE ANALISIS: del 20 al 27-06-11
 PRECIO DE ANALISIS: \$ 36.00
 ANALISTA: Hugo Argueta

DESCRIPCION	TECNICA	RESULTADOS ELEMENTALES
Cromo, % masa	E. A. A.	0.02
Niquel, mg/Kg	E. A. A.	No detectable
Plomo, mg/Kg	E. A. A.	No detectable
Zinc, % masa	E. A. A.	0.014
Cadmio, mg/Kg	E. A. A.	No detectable

Notas: Resultados válidos para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio.
 E. A. A. = Espectrometría de absorción atómica.
 mg/Kg = Miligramos por kilogramo


 Ing. Byron Rosales
 AREA DE MINERALES




 Vo. Bo. Ing. Mayra Villatoro
 COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS



El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico.

MINISTERIO DE
ENERGÍA Y
MINAS



**LABORATORIOS
TÉCNICOS**



PAGINA 1 DE (1)

LAB-REP- 0743-11

ORDEN No. L-365-11

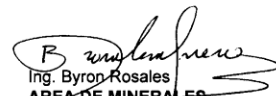
GUATEMALA, 28-06-11

RESULTADOS DE ANÁLISIS

MUESTRA: ESCORIA DE AFINO 16-06-11
PRESENTADA POR: Carlos Caballeros
RESPONSABLE DEL MUESTREO: Carlos Caballeros
PROCEDENCIA: Aceros de Guatemala, S. A.
LOCALIZACION: Av. Las Américas 18-81 Zona 14 ECCN 14
FECHA DE MUESTREO: 16-06-11
FECHA DE RECEPCION DE MUESTRA Y PAPELERIA: 17-06-11
FECHA DE ANALISIS: del 20 al 27-06-11
PRECIO DE ANALISIS: \$ 36.00
ANALISTA: Hugo Argueta

DESCRIPCION	TECNICA	RESULTADOS ELEMENTALES
Cromo, % masa	E. A. A.	0.023
Niquel, mg/Kg	E. A. A.	No detectable
Plomo, mg/Kg	E. A. A.	No detectable
Zinc, mg/Kg	E. A. A.	No detectable
Cadmio, mg/Kg	E. A. A.	No detectable

Notas: Resultados válidos para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio.
E. A. A. = Espectrometría de absorción atómica.
mg/Kg = Miligramos por kilogramo


Ing. Byron Rosales
AREA DE MINERALES




Vo. Bo. Ing. Mayra Villatoro
COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS



sf

El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico.

MINISTERIO DE
ENERGÍA Y
MINAS



**LABORATORIOS
TÉCNICOS**



PAGINA 1 DE (1)

LAB-REP- 0744-11

ORDEN No. L-365-11

GUATEMALA, 28-06-11

RESULTADOS DE ANÁLISIS

MUESTRA: ESCORIA DE AFINO 15-06-2011
 PRESENTADA POR: Carlos Caballeros
 RESPONSABLE DEL MUESTREO: Carlos Caballeros
 PROCEDENCIA: Aceros de Guatemala, S. A.
 LOCALIZACION: Av. Las Américas 18-81 Zona 14 ECCN 14
 FECHA DE MUESTREO: 15-06-11
 FECHA DE RECEPCION DE MUESTRA Y PAPELERIA: 17-06-11
 FECHA DE ANALISIS: del 20 al 27-06-11
 PRECIO DE ANALISIS: \$ 36.00
 ANALISTA: Hugo Argueta

DESCRIPCION	TECNICA	RESULTADOS ELEMENTALES
Cromo, % masa	E. A. A.	0.010
Niquel, mg/Kg	E. A. A.	No detectable
Plomo, mg/Kg	E. A. A.	No detectable
Zinc, mg/Kg	E. A. A.	No detectable
Cadmio, mg/Kg	E. A. A.	No detectable

Notas: Resultados válidos para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio.
 E. A. A. = Espectrometría de absorción atómica.
 mg/Kg = Miligramos por kilogramo

Ing. Byron Rosales
 AREA DE MINERALES



Vo. Bo. Ing. Mayra Villatoro
 COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS



sf

El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico.

MINISTERIO DE
ENERGÍA Y
MINAS



**LABORATORIOS
TÉCNICOS**



PAGINA 1 DE (1)

LAB-REP- 0733-11

ORDEN No. L-365-11

GUATEMALA, 28-06-11

RESULTADOS DE ANÁLISIS

MUESTRA: POLVO DE HUMOS 17-06-11
 PRESENTADA POR: Carlos Caballeros
 RESPONSABLE DEL MUESTREO: Carlos Caballeros
 PROCEDENCIA: Aceros de Guatemala, S. A.
 LOCALIZACION: Av. Las Américas 18-81 Zona 14 ECCN 14
 FECHA DE MUESTREO: 17-06-11
 FECHA DE RECEPCION DE MUESTRA Y PAPELERIA: 17-06-11
 FECHA DE ANALISIS: del 20 al 27-06-11
 PRECIO DE ANALISIS: \$ 36.00
 ANALISTA: Hugo Argueta

DESCRIPCION	TECNICA	RESULTADOS ELEMENTALES
Cromo, % masa	E. A. A.	0.100
Niquel, % masa	E. A. A.	0.01
Plomo, % masa	E. A. A.	2.44
Zinc, % masa	E. A. A.	28.60
Cadmio, % masa	E. A. A.	0.056

Notas: Resultados válidos para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio.
 E. A. A. = Espectrometría de absorción atómica.

Ing. Byron Rosales
 AREA DE MINERALES



Vo. Bo. Ing. Mayra Villatoro
 COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS



El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico.

MINISTERIO DE
ENERGÍA Y
MINAS



**LABORATORIOS
TÉCNICOS**



PAGINA 1 DE (1)

LAB-REP- 0735-11

ORDEN No. L-365-11

GUATEMALA, 28-06-11

RESULTADOS DE ANÁLISIS

MUESTRA: POLVO DE HUMOS 10-06-11
 PRESENTADA POR: Carlos Caballeros
 RESPONSABLE DEL MUESTREO: Carlos Caballeros
 PROCEDENCIA: Aceros de Guatemala, S. A.
 LOCALIZACION: Av. Las Américas 18-81 Zona 14 ECCN 14
 FECHA DE MUESTREO: 10-06-11
 FECHA DE RECEPCION DE MUESTRA Y PAPELERIA: 17-06-11
 FECHA DE ANALISIS: del 20 al 27-06-11
 PRECIO DE ANALISIS: \$ 36.00
 ANALISTA: Hugo Argueta

DESCRIPCION	TECNICA	RESULTADOS ELEMENTALES
Cromo, % masa	E. A. A.	0.190
Niquel, % masa	E. A. A.	0.026
Plomo, % masa	E. A. A.	0.950
Zinc, % masa	E. A. A.	10.97
Cadmio, % masa	E. A. A.	0.025

Notas: Resultados válidos para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio.
 E. A. A. = Espectrometría de absorción atómica.

Ing. Byron Rosales
 AREA DE MINERALES



Vo. Bo. Ing. Mayra Villatoro
 COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS



El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico.

MINISTERIO DE
ENERGÍA Y
MINAS



**LABORATORIOS
TÉCNICOS**



PAGINA 1 DE (1)

LAB-REP- 0734-11

ORDEN No. L-365-11

GUATEMALA, 28-06-11

RESULTADOS DE ANÁLISIS

MUESTRA: POLVO DE HUMOS 15-06-11
PRESENTADA POR: Carlos Caballeros
RESPONSABLE DEL MUESTREO: Carlos Caballeros
PROCEDENCIA: Aceros de Guatemala, S. A.
LOCALIZACION: Av. Las Américas 18-81 Zona 14 ECCN 14
FECHA DE MUESTREO: 15-06-11
FECHA DE RECEPCION DE MUESTRA Y PAPELERIA: 17-06-11
FECHA DE ANALISIS: del 20 al 27-06-11
PRECIO DE ANALISIS: \$ 36.00
ANALISTA: Hugo Argueta

DESCRIPCION	TECNICA	RESULTADOS ELEMENTALES
Cromo, % masa	E. A. A.	0.560
Niquel, % masa	E. A. A.	0.013
Plomo, % masa	E. A. A.	2.2*
Zinc, % masa	E. A. A.	28.10
Cadmio, % masa	E. A. A.	0.053

Notas: Resultados válidos para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio.
E. A. A. = Espectrometría de absorción atómica.

Ing. Byron Rosales
ÁREA DE MINERALES



Vo. Bo. Ing. Mayra Villatoro
COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS



El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico.

MINISTERIO DE
ENERGÍA Y
MINAS



**LABORATORIOS
TÉCNICOS**



PAGINA 1 DE (1)

LAB-REP- 0736-11

ORDEN No. L-365-11

GUATEMALA, 28-06-11

RESULTADOS DE ANÁLISIS

MUESTRA: **POLVO DE HUMOS 8-06-11**
PRESENTADA POR: Carlos Caballeros
RESPONSABLE DEL MUESTREO: Carlos Caballeros
PROCEDENCIA: Aceros de Guatemala, S. A.
LOCALIZACION: Av. Las Américas 18-81 Zona 14 ECCN 14
FECHA DE MUESTREO: 08-06-11
FECHA DE RECEPCION DE MUESTRA Y PAPELERIA: 17-06-11
FECHA DE ANALISIS: del 20 al 27-06-11
PRECIO DE ANALISIS: \$ 36.00
ANALISTA: Hugo Argueta

DESCRIPCION	TECNICA	RESULTADOS ELEMENTALES
Cromo, % masa	E. A. A.	0.162
Niquel, % masa	E. A. A.	0.026
Plomo, % masa	E. A. A.	0.980
Zinc, % masa	E. A. A.	14.80
Cadmio, % masa	E. A. A.	0.03

Notas: Resultados válidos para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio.
E. A. A. = Espectrometría de absorción atómica.

Ing. Byron Rosales
AREA DE MINERALES



Vo. Bo. Ing. Mayra Villatoro
COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS



El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico.

MINISTERIO DE
ENERGÍA Y
MINAS



**LABORATORIOS
TÉCNICOS**



PAGINA 1 DE (1)

LAB-REP- 0738-11

ORDEN No. L-365-11

GUATEMALA, 28-06-11

RESULTADOS DE ANÁLISIS

MUESTRA: CAL DE FUSION 16-06-11
 PRESENTADA POR: Carlos Caballeros
 RESPONSABLE DEL MUESTREO: Carlos Caballeros
 PROCEDENCIA: Aceros de Guatemala, S. A.
 LOCALIZACION: Av. Las Américas 18-81 Zona 14 ECCN 14
 FECHA DE MUESTREO: 16-06-11
 FECHA DE RECEPCION DE MUESTRA Y PAPELERIA: 17-06-11
 FECHA DE ANALISIS: del 20 al 27-06-11
 PRECIO DE ANALISIS: \$ 36.00
 ANALISTA: Hugo Argueta

DESCRIPCION	TECNICA	RESULTADOS ELEMENTALES
Cromo, mg/Kg	E. A. A.	No detectable
Niquel, % masa	E. A. A.	0.002
Plomo, mg/Kg	E. A. A.	No detectable
Zinc, % masa	E. A. A.	0.005
Cadmio, mg/Kg	E. A. A.	No detectable

Notas: Resultados válidos para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio.
 E. A. A. = Espectrometría de absorción atómica.
 mg/Kg = Miligramos por kilogramo

Ing. Byron Rosales
 AREA DE MINERALES



Vo. Bo. Ing. Mayra Villatoro
 COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS



El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico.

MINISTERIO DE
ENERGÍA Y
MINAS



**LABORATORIOS
TÉCNICOS**



PAGINA 1 DE (1)

LAB-REP- 0737-11

ORDEN No. L-365-11

GUATEMALA, 28-06-11

RESULTADOS DE ANÁLISIS

MUESTRA: CAL DE AFINO 10-06-11
PRESENTADA POR: Carlos Caballeros
RESPONSABLE DEL MUESTREO: Carlos Caballeros
PROCEDENCIA: Aceros de Guatemala, S. A.
LOCALIZACION: Av. Las Américas 18-81 Zona 14 ECCN 14
FECHA DE MUESTREO: 10-06-11
FECHA DE RECEPCION DE MUESTRA Y PAPELERIA: 17-06-11
FECHA DE ANALISIS: del 20 al 27-06-11
PRECIO DE ANALISIS: \$ 36.00
ANALISTA: Hugo Argueta

DESCRIPCION	TECNICA	RESULTADOS ELEMENTALES
Cromo, mg/Kg	E. A. A.	No detectable
Niquel, % masa	E. A. A.	0.005
Plomo, mg/Kg	E. A. A.	No detectable
Zinc, % masa	E. A. A.	0.002
Cadmio, mg/Kg	E. A. A.	No detectable

Notas: Resultados válidos para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio.
E. A. A. = Espectrometría de absorción atómica.
mg/Kg = Miligramos por kilogramo

Ing. Byron Rosales
ÁREA DE MINERALES



Vo. Bo. Ing. Mayra Villatoro
COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS



El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico.

MINISTERIO DE
ENERGÍA Y
MINAS

