

**ESTUDIO A NIVEL LABORATORIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE
UTILIZAR LODOS PROCEDENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA GALVÁNICA, EN LA FABRICACIÓN
DE METALES FERROSOS.**

**JHON JAIRO CASTAÑEDA BOCANEGRA
Código 54482**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
VICERRECTORIA DE UNIVESIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA
FACULTAD DE CIENCIAS Y TÉCNOLOGIAS
ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL Y DE LOS RECURSOS NATURALES
BOGOTÁ
ABRIL DE 2012**

**ESTUDIO A NIVEL LABORATORIO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE
UTILIZAR LODOS PROCEDENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA GALVÁNICA, EN LA FABRICACIÓN
DE METALES FERROSOS.**

**JHON JAIRO CASTAÑEDA BOCANEGRA
Código 54482**

**Trabajo de grado requisito para optar al título de Administrador Ambiental y
de los Recursos Naturales.**

**Profesor
Jorge Alberto Sánchez Espinosa.
Ingeniero Agrónomo, Antropólogo Msc.**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
VICERRECTORIA DE UNIVESIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA
FACULTAD DE CIENCIAS Y TÉCNOLOGIAS
ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL Y DE LOS RECURSOS NATURALES
BOGOTÁ
ABRIL DE 2012**

Nota de Aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, abril 21 de 2012.

A mí adorada Esposa Maribel y a mi familia, quienes con gran esfuerzo y paciencia han soportado mi abandono durante el tiempo que he desarrollado esta carrera.

Agradecimientos

El autor da su infinito agradecimiento al todo poderoso quien con su piedad y grandeza ilumina en todo momento los caminos por los cuales circula en la vida. De igual manera da sus más sinceros agradecimientos a todas y cada una de las personas que con su esfuerzo y apoyo permitieron el buen desarrollo de esta investigación; en especial al Doctor Jorge Alberto Sánchez director del laboratorio nacional de suelos del IGAC y docente de la universidad, quien con sus consejos y apoyo permitió dar el primer paso para caracterizar la muestra de lodo. Además agradezco a los técnicos operativos de cada uno de los laboratorios de la Universidad Nacional de Colombia, donde se realizaron las pruebas de caracterización y procesamiento de las muestras que fueron sujeto de esta investigación.

Resumen

En la actualidad los residuos sólidos cargados con altos contenidos de metales pesados, entre los que se encuentran los lodos de los procesos galvánicos, son un problema de salubridad pública debido a su alta toxicidad generada por la presencia de cromo, níquel y cobre. El objetivo del presente trabajo se centró en buscar a nivel laboratorio una aplicación de estos lodos en la fabricación de aleaciones ferrosas. Las aleaciones ferrosas se caracterizan por tener una composición química y estructural con contenidos variables de cromo, níquel y cobre. En la presente investigación se tomo como base un acero de baja aleación y se caracterizó químicamente por espectroscopia de emisión atómica. Se fundió en un horno de inducción y se mezcló con el lodo a 1600°C bajo condiciones no controladas. El producto obtenido se caracterizó químicamente por la misma técnica, encontrando una recuperación de 46.63% de cromo, 24.95% de níquel y 28.13% de cobre.

Abstract

Currently solid wastes with high contents of heavy metals like the galvanic sludge are a public health problem due to its high toxicity caused by the presence of chromium, nickel and copper. The aim of this work is focused on looking for laboratory application of sludge in the production of ferroalloys. Ferrous alloys are characterized by having a structure and chemical composition with different contents of chromium, nickel and copper. In the present investigation a low alloy steel was taken as the base and was characterized chemically by atomic emission spectroscopy. This steel was melted in an induction furnace and mixed with the sludge at 1600°C under uncontrolled conditions. The product obtained was characterized chemically by the same technique, finding a recovery of 46.63% chromium, 24.95% nickel and 28.13% copper.

CONTENIDO

Nota de Aceptación:	i
Agradecimientos	iii
Resumen	iv
CONTENIDO	v
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE CUADROS	viii
GLOSARIO	ix
0. INTRODUCCIÓN	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
2. JUSTIFICACIÓN	5
3. OBJETIVOS	7
3.1 GENERAL	7
3.2 ESPECIFICOS	7
4. MARCO TEORICO	8
4.1 GENERALIDADES DE LA INDUSTRIA GALVANOTECNIA	8
4.1.1 Proceso.	8
4.1.2 Tratamiento de Aguas Residuales.	9
4.1.3 Tratamiento de Lodos Galvánicos.	9
4.1.4 Problemática Ambiental.	10
4.2 METALES FERROSOS	11
4.2.1 Acero.	11
4.2.2 Fundición.	11
4.2.3 Ferroaleaciones.	11
4.2.4 Obtención de metales ferrosos.	12
4.2.5 Microestructura de los metales ferrosos.	12
4.2.6 Elementos aleantes de los metales ferrosos.	14
4.3 NORMATIVIDAD AMBIENTAL PARA EL SECTOR GALVANICO.	15
5. METODOLOGÍA	20

5.1 CONSECUCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS	20
5.2 FUNDICIÓN DEL ACERO	20
5.3 CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO	21
5.4 DETERMINACIÓN DE BENEFICIOS	21
5.5 PRESUPUESTO	21
6. RESULTADOS	23
6.1 CONSECUCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS	23
6.2 FUNDICIÓN DEL ACERO	27
6.3 CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO	30
6.4 ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	32
6.5 DETERMINACIÓN DE BENEFICIOS	35
7. CONCLUSIONES	38
8. RECOMENDACIONES	40
BIBLIOGRAFÍA	41
ANEXO A.	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Retal acero AISI 1010.	21
Figura 2. Microestructura metal base 1000X.	23
Figura 3. Lodo seco.	23
Figura 4. Horno eléctrico de inducción.	25
Figura 5. Material en fundición.	26
Figura 6. Desprendimiento de humo en la fundición.....	27
Figura 7. Lingotera con material fundido.	27
Figura 8. Microestructura del producto 1000X.	30

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Composición química retal metal base AISI 1010.	18
Cuadro 2. Composición química del lodo.	20
Cuadro 3. Cantidades adicionadas de cada uno de los elementos según la carga de materia prima.	24
Cuadro 4. Composición química del producto (fundición).	25
Cuadro 5. Comparativo resultados composición química.	27
Cuadro 6. Contenido de Cr, Cu y Ni por cada materia prima y en el producto.....	28
Cuadro 7. Porcentaje de recuperación de metales en la fundición.....	29

GLOSARIO

ACERO ESTRUCTURAL: acero que se ha laminado en caliente y moldeado en frío que se emplea como elemento portante.

AGUA RESIDUAL: Se denomina aguas servidas a aquellas que resultan del uso doméstico o industrial del agua. Se les llama también aguas residuales, aguas negras o aguas cloacales. Son residuales pues, habiendo sido usada el agua, constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo; son negras por el color que habitualmente tienen. Algunos autores hacen una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales en el sentido que las primeras solo provendrían del uso doméstico y las segundas corresponderían a la mezcla de aguas domésticas e industriales.

BIODIVERSIDAD: Diversidad biológica de un área determinada que no implica sólo una colección de especies armónicamente coadaptadas a un medio natural; su interacción con otras especies forma comunidades y muchas comunidades se combinan para formar paisajes. Todo ello constituye la biodiversidad mundial.

CEMENTAR: endurecer la capa exterior de una pieza de aleación ferrosa por medio de la carburación y después por un tratamiento de calor. También llamado fundir en coquilla.

CONTAMINACIÓN AMBIENTAL: Se denomina contaminación ambiental a la presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico) o bien de una combinación de varios agentes en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población, o bien, que puedan ser perjudiciales para la vida vegetal o animal, o impidan el uso normal de las propiedades y lugares de recreación y goce de los mismos. La contaminación ambiental es también la incorporación a los cuerpos receptores de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas, o mezclas de ellas, siempre que alteren desfavorablemente las condiciones naturales del mismo, o que puedan afectar la salud, la higiene o el bienestar del público.

COAGULACIÓN: aglomeración de partículas coloidales ($< 0,001$ mm) y dispersas (0,001 a 0,01 mm) en coágulos visibles, por adición de un coagulante.

COCCIÓN: tratamiento controlado de calor del producto cerámico en un horno durante el proceso de fabricación para lograr las propiedades deseadas.

FUNDIR: derretir un metal para su posterior moldeo. También llamado colar.

LODO: mezcla de material sólido y agua, especialmente la que resulta de la sedimentación o separación de las partículas formadas durante la precipitación en el tratamiento de aguas.

METALES PESADOS: elementos metálicos de alta densidad (por ejemplo, mercurio, cromo, cadmio, plomo) generalmente tóxicos, en bajas concentraciones al hombre, plantas y animales.

RESIDUOS SÓLIDOS: el término residuo sólido incluye todos los materiales sólidos desechados de actividades residenciales, comerciales, industriales o agrícolas.

RESIDUOS PELIGROSOS: son los desechos que requieren precauciones especiales para su almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento o eliminación para evitar daños a personas o propiedades, e incluye residuos nucleares, médicos, explosivos, inflamables, volátiles, radioactivos, tóxicos y patológicos.

TRATAMIENTO TÉRMICO: proceso que implica el calentamiento y posterior enfriamiento de un metal confiriéndole unas propiedades determinadas.

0. INTRODUCCIÓN

A través de los tiempos en su constante y evolutivo desarrollo los seres humanos han ideado productos y procesos todos destinados a satisfacer sus necesidades, ya sean básicas u ostentosas. Dentro de los muchos procesos ideados están los de recubrimiento de superficies por medios electrolíticos, los cuales en la mayoría de los casos tienen como finalidad la protección de la misma a agentes externos que lo pueden deteriorar, como es el caso de la corrosión; otra finalidad es embellecer las superficies proporcionándoles acabados brillantes y de apariencia pulcras. Estos son solo dos ejemplos de las muchas ventajas que puede tener el proceso de recubrimiento de superficie. Pero al igual trae como consecuencia una serie de problemas adversos al medio ambiente, como lo son el consumo de altos volúmenes de agua, materias primas a base de metales pesados, emisiones a la atmosfera de vapores ácidos y básicos, consumo de altos niveles de energía eléctrica, generación de lodos en los sistemas de tratamiento de aguas cargados con metales pesados como el Cr, Ni, Cu, Pb, Ba, etc. y otros fenómenos que pueden resultar perjudiciales para la salud de la población y el medio ambiente en general.

El presente trabajo se centrara en buscar una solución para el problema de los lodos procedentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales de la industria galvánica catalogados en la legislación colombiana como sustancias peligrosas (decreto 4741 de 2005¹) mediante la realización de pruebas a nivel laboratorio buscando el reciclaje o reuso de dichos lodos en la elaboración de metales ferrosos.

Las tres primeras partes del informe están dedicados al planteamiento la problemática a la que está abocada esta industria debido a los residuos generados en las diferentes partes de sus procesos, la justificación del porque se realiza esta investigación, y a los objetivos trazados para la misma. Las partes cuarta y quinta están dedicadas al desarrollo del marco teórico y conceptual donde se hace referencia como es el proceso de recubrimiento de superficies, cual su problemática ambiental, estudios realizados para tratar el tema de los lodos, proceso de fabricación de metales ferrosos, clases y características de los metales ferrosos etc. Al igual que se describen conceptos que puedan facilitar el

¹ COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL

entendimiento de este trabajo. Las partes seis y siete describen cuales son los procedimientos que se llevara a cabo para desarrollar la investigación y los resultados obtenidos de la misma.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La industria de recubrimiento de superficies por medios electrolíticos se caracteriza por el uso de materias primas compuestas por ácidos, álcalis y sales de metales pesados tales como Cromo, Níquel, Cobre, Plomo, Zinc, Cadmio, Paladio entre otros, además de consumir grandes volúmenes de agua. El consumo de agua realizado en las diferentes etapas del proceso hace que se generen descargas líquidas residuales caracterizadas por su carga contaminante tóxica en términos de su contenido de cianuro, metales pesados, ácidos, álcalis, etc. que resultan nocivos para el hombre y su entorno. Es por tal razón que muchas empresas del sector en cumplimiento de la normatividad ambiental tratan sus vertimientos líquidos residuales neutralizando con cal y filtrando, lo cual genera residuos sólidos (**LODOS**), que se caracterizan por su naturaleza tóxica, pudiendo contener metales como níquel, cobre, cromo, zinc y otros metales pesados; lo que dificulta su reutilización o reciclaje. Por lo tanto, en la mayoría de los casos estos son confinados en celdas de seguridad construidas en concreto, las cuales pueden estar ubicadas dentro de la misma empresa, instalaciones de terceros dedicados a recibir este tipo de materiales o rellenos sanitarios. En otros casos los lodos son acumulados en algún rincón de la empresa sin tener en cuenta los más mínimos cuidados para evitar que sean foco de contaminación por ejemplo de suelos o fuentes hídricas.

Hasta la fecha no existen soluciones técnicas y económicas viables para el manejo de este tipo de residuos. En el caso específico de lodos galvánicos con gran contenido en metales pesados, su vertido directo al medio ambiente es irresponsable e ilegal. Su almacenamiento en áreas controladas implica un costo adicional creciente que no siempre puede ser soportado por las industrias que lo generan. Por lo tanto, es necesario desarrollar nuevas tecnologías y procesos industriales que permitan reciclar estos residuos galvánicos a un costo razonable.

En fin, sea cual sea el lugar o la disposición que se haga de los lodos no se sabe a ciencia cierta qué hacer con ellos; lo único que sí es cierto es que poco a poco la acumulación de lodos se hace más grande, convirtiéndose así en un pasivo ambiental tanto para las empresas como para la sociedad. Además se debe decir que el costo actual en que incurren los empresarios para el manejo de dichos lodos, ya sea por que los tienen en sus propias empresas o por que los entregan a terceros o rellenos sanitarios, es alto. Se puede citar el ejemplo de la empresa GRIVAL CORONA, la cual dispone los lodos en una celda en el relleno sanitario

de Mondoñedo cuyo alquiler cuesta \$17.000.000,00 por mes, además de pagar más de \$2.000.000,00 mensuales por el transporte de los lodos hasta el relleno sanitario². Y esto no es lo preocupante, lo preocupante es que las celdas están programadas para ser cerradas a mediados del año 2012. La pregunta es entonces ¿qué hacer con lo que hay contenido en ellas? y ¿Qué hacer con los nuevos lodos?.

² Datos suministrados por el Ingeniero Andrés Mejía Jaramillo, Jefe del Departamento de Gestión Ambiental de la empresa Grival Corona, en entrevista realizada en el mes de abril de 2011.

2. JUSTIFICACIÓN

La manipulación, el confinamiento o aprovechamiento de residuos industriales de probada peligrosidad (En el caso de los lodos Galvánicos dicha peligrosidad se la confiere la presencia de metales pesados que en muy bajas concentraciones son tóxicos para los seres vivos) constituyen en la actualidad un objetivo prioritario a nivel mundial dado sus implicaciones medio ambientales, sanitarias, económicas, industriales y comerciales. Un informe elaborado en 2006, por el Ministerio del Medio Ambiente y la Red de Soluciones Empresariales Fundes, indican que:

En Colombia hay aproximadamente 2.500 talleres dedicados a procesos galvánicos, de los cuales la gran mayoría se encuentran concentrados en Bogotá (alrededor de 325 industrias de carácter formal y por lo menos 400 informales). La industria incluye un gran número de empresas que prestan servicios de recubrimientos de cromado y Zincado, con excepción de algunas pocas que manufacturan totalmente sus piezas, ya sean integradas a los procesos productivos metalmecánicos o en plantas exclusivas para esto³.

Los anteriores datos muestran un preocupante panorama, debido a que muchas de estas empresas algunas formales y la totalidad de las informales no cuentan con sistemas de tratamiento para sus residuos líquidos, siendo arrojados directamente a los sistemas de alcantarillados o a cuerpos de agua causando grandes problemas ambientales.

Por todo lo anterior la investigación va encaminada a buscar una solución a la problemática concerniente a los lodos procedentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales de la industria galvánica, desarrollando pruebas a nivel laboratorio que permitan su uso y/o reciclaje; empleándolos en la elaboración de metales ferrosos, en cuya composición estructural hay presencia de metales como el cromo, níquel y otros que le confieren características especiales que los hacen atractivos para su uso en muchas actividades que realiza el hombre.

Además es bueno resaltar que cualquier investigación encaminada a dar soluciones a dicha problemática es bienvenida, ya que, aunque esta investigación

³ Guía de Buenas Prácticas para el Sector Galvanotecnia. FUNDES. 2006

está dirigida a la industria galvánica, existen otras como la de cortineros que presenta la misma problemática. En fin, se estará abriendo el camino para que futuras investigaciones continúen por este, o en definitiva sirva para decir por este camino no es, mejor lo intentamos por aquel otro camino.

3. OBJETIVOS

3.1 GENERAL

Mediante la realización de pruebas a nivel laboratorio, determinar la viabilidad de utilizar lodos contaminados con metales pesados provenientes de los sistemas de tratamientos de aguas residuales de la industria galvánica (considerados como tóxicos por la legislación colombiana, Decreto 4741 de 2005), en la elaboración de metales ferrosos.

3.2 ESPECIFICOS

- Caracterizar químicamente las materias primas (acero AISI 1010 y lodo galvánico) utilizadas en la elaboración de las pruebas, con el fin de determinar las condiciones iniciales para el trabajo.
- Realizar la fundición en un horno de inducción de las materias primas (acero AISI 1010 y lodo galvánico), cuyo producto será caracterizado química y metalográficamente con el fin de determinar las condiciones finales del trabajo.
- Determinar experimentalmente si hubo o no recuperación de metales; y si los resultados obtenidos son positivos, establecer los beneficios económicos y ambientales que se pueden desprender de ellos.

4. MARCO TEORICO

4.1 GENERALIDADES DE LA INDUSTRIA GALVANOTECNIA

Se define la galvanotecnia como el proceso que consiste en las técnicas de obtención por vía electrolítica de depósitos metálicos en la superficie de los materiales con el fin de:

- Mejorar su aspecto
- Aumentar su resistencia a la corrosión y al ataque de sustancias químicas.
- Incrementar su resistencia a la fricción y al rayado

Los procesos se dividen en: galvanoplastia o electroformación sobre moldes para vaciados y galvanostegia o formación de revestimientos de protección o decoración. Los revestimientos que se utilizan en la galvanostegia son: Zinc, cadmio, estaño. Para una mayor protección se hacen revestimientos con cobre, níquel, y se deposita una capa superior de cromo.

4.1.1 Proceso.

En cada una de las etapas del proceso se presenta el consumo de materias primas tanto inorgánicas como orgánicas, además de altos volúmenes de agua, la cual se convierte junto con la energía en la materia prima de más alto consumo. El proceso cuenta con la siguiente serie de pasos:

- Preparación mecánica de la superficie
- Desengrase
- Enjuague
- Decapado
- Neutralización

- Electrólisis (con metal a electrodepositar)
- Enjuague
- Secado

4.1.2 Tratamiento de Aguas Residuales.

En la actualidad existen diversos métodos para el tratamiento de las aguas residuales industriales⁴, algunos más costosos que otros, al igual que difieren en su eficiencia de tratamiento. En lo que respecta a las industrias galvánicas por razones de costo y facilidad, la mayoría cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales cuyo objetivo es remover por precipitación los metales que se encuentran en estado soluble en el agua.

Esto se lleva a cabo por que los metales debido al pH del agua, que por lo general es neutro o < 7.0 , se encuentran en estado soluble. Al subir el pH adicionando soda caustica o cal, los metales reaccionan con los iones hidróxido para formar sólidos de hidróxido de metal los cuales son insolubles a pH altos >9.0 , con lo que se consigue pasar los metales de estado soluble a una fase sólida. La eliminación de metales no es completa hasta que los sólidos metálicos son físicamente removidos de las aguas residuales, por lo general se realiza por sedimentación y filtración. Hecha la separación de los sólidos, el pH del agua es ajustado para poder ser vertida. Los sólidos o lodos obtenidos pasan a su posterior tratamiento.

4.1.3 Tratamiento de Lodos Galvánicos.

Los sólidos producidos en la etapa de sedimentación y filtración se retiran periódicamente para ser sometidos a una etapa de deshidratación con el fin de eliminar el exceso de agua y dejar los sólidos. Ahora dichos sólidos contienen los hidróxidos de los metales precipitados, los cuales, debido a su alta carga de metales pesados deben ser tratados como residuos peligrosos según la normatividad (decreto 4741 de 2005⁵). Después de estar secos o con una humedad relativamente bajo los lodos son depositados en lugares especiales que se convierten en su sitio de disposición final.

En la actualidad no se sabe qué hacer con estos lodos, a la fecha los estudios adelantados no ha mostrado resultados satisfactorios, ya sea porque no cumplen

⁴ Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York. Manual de Tratamiento de Aguas Negras. México. Limusa. 2008. 304p. ISBN-13: 978-968-18-0464-0.

⁵ COLOMBIA Op cit PÁG 1.

con el objetivo de neutralizar la toxicidad del lodo o porque económica y técnicamente no son viables. Por ejemplo se ha estudiado la técnica de estabilización solidificación,

Donde los lodos son encapsulados en concreto o material puzolánico con lo cual se reduce marcadamente la contaminación debida a la lixiviación procedente de los mismos. Pero este método presenta un problema, la matriz de concreto no resiste el ataque de lixiviados en medio ácido o la influencia del medio ambiente. Un medio de lixiviación ácida tiene que ser tomado en cuenta con respecto a los ácidos orgánicos que se originen en el cuerpo del relleno sanitario y la realidad de la lluvia ácida presente en el medio ambiente⁶.

La literatura muestra otros estudios que a nivel laboratorio se han realizado para la eliminación de lodos galvánicos, por ejemplo, “incorporación en materiales para la producción de productos cerámicos, en los cuales se han obtenido vidrios cuya composición lleva agregado un 40% de peso de lodos”⁷. o “el tratamiento térmico”⁸. Cuyos resultados son prometedores e inician a abrir las puertas a una posible solución.

4.1.4 Problemática Ambiental.

La actividad de tratamiento de superficies produce fundamentalmente efluentes líquidos de dos tipos; por un lado, aparecen cargas contaminantes altas, en volúmenes relativamente pequeños, de los efluentes generados en los baños de proceso, y por otro, efluentes con cargas contaminantes diluidas en grandes volúmenes de agua, de los efluentes procedentes de los enjuagues o lavados. La generación de desechos sólidos o semisólidos es el siguiente problema en importancia después de los vertidos líquidos. Los principales residuos resultantes de la actividad son: soluciones viciadas, metales base, desechos de reactivos empleados en las distintas operaciones, aceites y grasas procedentes de la separación de aceites de los baños de desengrase, filtros y cartuchos impregnados por electrolito, envases y embalajes usados y lodos con contenido en metales pesados procedentes del tratamiento de las aguas residuales⁹.

⁶ Tomado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389405001408>. Consultado 2011-08-01

⁷ J.M.F. Ferreira, H.M. Alves and A.M. Mendonca, Inertization of galvanic sludges by its incorporation in ceramic products, *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio* **38** (1999), pp. 127–131.

⁸ A.M. Bernardes, I. Bohlinger and W. Wuth, The thermal treatment of galvanic sludges for environmental compatibility—research summary, *J. Miner. Metals Mater. Soc.* **48** (1996), pp. 59–62

⁹ Chávez Porras, Álvaro; Cristancho Montenegro, Diana Lucía; Ospina Granados, Édgar Alexander. UNA ALTERNATIVA LIMPIA PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES GALVÁNICAS: REVISIÓN

4.2 METALES FERROSOS

Los metales ferrosos son aquellos que están basados en el hierro y el carbono fundamentalmente. Estas aleaciones se dividen en tres grupos: los aceros, las fundiciones de hierro y las ferroaleaciones:

4.2.1 Acero.

Es una aleación de hierro y carbono con menos de un 2% en carbono que contiene otros elementos de aleación, los cuales le confieren propiedades mecánicas específicas para su utilización en la industria metalmeccánica.

4.2.2 Fundición.

Cuando el contenido en carbono es superior a un 2,1% en peso, la aleación se denomina fundición. Generalmente tienen entre un 3% y un 4,5% de C en peso. Hay distintos tipos de fundiciones (gris, esferoidal, blanca y maleable); según el tipo se utilizan para distintas aplicaciones: en motores, válvulas, engranajes, etc¹⁰.

4.2.3 Ferroaleaciones.

Las ferroaleaciones son aleaciones con un contenido de hierro superior al 4% en peso y con uno o varios elementos como cromo, manganeso, fósforo, silicio en diferentes proporciones en peso. Las principales ferroaleaciones son las de manganeso y silicio. Sin embargo, es común en el mercado la producción de ferroaleaciones basándose en otros elementos químicos como: bario, cobalto, cobre, molibdeno, níquel, fósforo, titanio, tungsteno, vanadio y zirconio entre otros¹¹.

BIBLIOGRÁFICA. Revista de Ingenierías Universidad de Medellín, Vol. 8, Núm. 14, enero junio, 2009, pp. 39-50 Universidad de Medellín Colombia

¹⁰ Fundación Entorno, Empresa y Medio Ambiente. Guías Tecnológicas Fundición de Metales Ferrosos. Madrid España. 2000.

¹¹ Fundación Entorno, Empresa y Medio Ambiente. Guías Tecnológicas Ferroaleaciones. Madrid España. 2000.

4.2.4 Obtención de metales ferrosos.

La mayoría del hierro se extrae de los minerales de hierro en altos hornos de gran tamaño. En el alto horno, el monóxido de carbono obtenido a partir de coque actúa como agente reductor para reducir los óxidos de hierro (principalmente Fe_2O_3) para producir arrabio bruto que contiene aproximadamente un 4% de carbono junto con algunas impurezas. El arrabio del alto horno se transfiere normalmente en estado líquido a un horno de fabricación de acero. El proceso más utilizado habitualmente para convertir arrabio en acero es el soplado con oxígeno y medio básico. En este proceso el arrabio y hasta un 30% de chatarra de acero se cargan en un convertidor en forma de túnel revestido de material refractario, en el que se inserta una bala de oxígeno. El oxígeno puro de la bala reacciona con el arrabio líquido para formar óxido de hierro. Seguidamente, el carbono del acero reacciona con el óxido de hierro para formar monóxido de carbono. Inmediatamente antes del comienzo de la reacción con oxígeno, se adicionan en cantidades controladas fundentes formadores de escoria (principalmente cal). En este proceso, el contenido en carbono del acero se reduce drásticamente, al tiempo que se consigue una reducción en la concentración de impurezas como azufre y fósforo.

El acero fundido procedente del convertidor se vierte en moldes estacionarios o de modo continuos en grandes bloques rectangulares de los que se cortan periódicamente grandes secciones. Después de la colada los lingotes se calientan en un horno de termo difusión y se laminan en caliente en planchas, palanquillas, torchos o palancones. Más tarde, las planchas se laminan en frío y en caliente hasta obtener láminas y chapas de acero. Las palanquillas se laminan en frío y en caliente para obtener barras, varillas y alambres; mientras que los torchos o palancones son laminados en forma tales como vigas y rieles.

4.2.5 Microestructura de los metales ferrosos.

Los materiales ferrosos están constituidos por microestructuras las cuales pueden estar formadas por una o varias fases y microconstituyentes. “Una fase se puede definir como una parte homogénea de un sistema totalmente diferenciable de otras partes, en cuanto a composición química, forma y propiedades” por ejemplo: las fases ferrita y cementita que forman el microconstituyente perlita en los aceros. Las fases o microconstituyentes pueden ser obtenidas a través de transformaciones de

fase ocurridas durante el enfriamiento del metal desde su estado de colada o por transformaciones de fase de estado sólido¹².

4.2.5.1 Ferrita: es una solución sólida intersticial de carbono en hierro BCC, clasificándose dentro de un número pequeño de morfologías distintivas, en dependencia del crecimiento a partir de los límites de grano de la austenita y la forma de los cristales.

4.2.5.2 Cementita: es un compuesto intermetálico ortorrómbico frágil, con estequiometría M_3C , donde $M=Fe$ y/u otros elementos de aleación sustitucionales tales como Mn, Ni, etc. La cementita se forma a partir de la fase austenítica arriba de la temperatura eutectoide, en el campo de dos fases de ferrita y austenita del diagrama Fe-C. La cementita, se forma típicamente en aceros con contenidos de carbono mayores a la composición eutectoide (aceros hipereutectoides $\%C > 0.77\%$).

4.2.5.3 Perlita: consta de colonias de láminas paralelas y alternadas de ferrita y cementita que crecen cooperativamente a partir de los límites de grano de la austenita. A menor espaciado interlaminar de las placas de ferrita y cementita, mejores son las propiedades de tenacidad y resistencia en los aceros perlíticos.

4.2.5.4 Martensita: es una solución sólida supersaturada de átomos de carbono con una estructura tetragonal de cuerpo centrado (TCC). La transformación martensítica en los aceros comienza cuando el metal es enfriado suficientemente rápido desde el campo austenítico, no dando tiempo para que exista una transformación difusional. Aquí, el tiempo es insuficiente para permitir que los átomos de carbono entren en solución sólida por difusión.

4.2.5.5 Bainita: es un producto microestructural de la descomposición del eutectoide. La bainita se forma cuando la austenita se descompone en dos fases diferentes al enfriarse. Es de morfología y propiedades diferentes a la perlita. La bainita es una mezcla no laminar de dos fases derivadas de la austenita, cuando estas fases crecen a diferentes tasas. Dos tipos de bainita son observados, la bainita superior o de alta temperatura y la bainita inferior o de baja temperatura. En esta última, presenta menos y más finas partículas de cementita que precipitan entre las placas de ferrita, si las comparamos con las de la bainita superior. Como consecuencia de esto, la bainita inferior tiende a ser más tenaz que la bainita superior.

¹² MESA Dairo. Zapata Alberto. Consideraciones sobre aplicaciones tecnológicas de transformaciones de fase en aceros. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia. Abril de 2005.

4.2.5.6 Precipitados: en la precipitación se forman partículas duras, de gran diversidad de tamaños, cantidad y formas, mediante procesos como: enfriamientos controlados desde temperatura de fusión (donde se forman precipitados primarios), por tratamiento de envejecimiento, donde se forman los precipitados secundarios. Los precipitados en los aceros pueden ser carburos, nitruros o carbonitruros, en dependencia de su composición. Los precipitados son Aprovechados en aceros aleados como los inoxidables y aceros para herramientas, donde se busca obtener microestructuras apropiadas que hacen que el material cumpla de forma eficiente su función.

4.2.6 Elementos aleantes de los metales ferrosos.

Los aleantes son elementos químicos metálicos y no metálicos que mejoran las propiedades de los metales ferrosos. Los principales elementos aleantes añadidos son: manganeso, níquel, cromo, molibdeno y wolframio. Otros elementos que a veces se añaden son: vanadio, cobalto, boro, cobre, aluminio, plomo, titanio y niobio¹³.

4.2.6.1 Distribución de los elementos aleantes en los metales ferrosos: el modo en que los elementos aleantes se distribuyen en los metales ferrosos depende básicamente de la tendencia a formar carburos u otros compuestos por parte de cada elemento. El níquel se disuelve en la ferrita, ya que tiene menos tendencia a formar carburos que el hierro. El silicio se combina en una cantidad limitada con el oxígeno presente en el metal ferroso para formar inclusiones no metálicas; pero, por otra parte, se disuelve en la ferrita. La mayor parte del manganeso añadido a los metales ferrosos se disuelve en la ferrita. Parte del manganeso, sin embargo, formara carburos: pero normalmente entrara en la cementita como $(Fe, Mn)_3C$. El cromo que tiene una tendencia más fuerte que el hierro a formar carburos, se reparte entre las fases de carburo y ferrita. La distribución del cromo depende de la cantidad de carbono presente y de si otros elementos con más tendencia a formar carburos (como el titanio y el niobio) están ausentes. El wolframio y el molibdeno se combinan con el carbono para formar carburos si hay suficiente carbono presente y si otros elementos (como el titanio y el niobio) que tiene más tendencia a formar carburos están ausentes. El vanadio, titanio y niobio son elementos con gran tendencia a formar carburos y se

¹³ SMITH, William. Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales. Tercera Edición. McGraw-Hill. Madrid España. 1998.

encuentran principalmente como tales. El aluminio se combina con oxígeno y nitrógeno para dar compuestos Al_2O_3 y AlN , respectivamente¹⁴.

4.2.6.2 Materias prima: las materias primas que se utilizan para la fabricación de los metales ferrosos son en su gran mayoría ferroaleaciones, aleaciones binarias o ternarias formadas por hierro y otros elementos, que se emplean para ajustar la composición del metal ferroso o alearlo, por ejemplo, el cromo se obtiene de un mineral de ferrocromo llamado cromita, “de cuya producción mundial el 90% se utiliza con fines metalúrgicos¹⁵”; el níquel se obtiene del mineral conocido como ferroníquel “de cuya producción mundial el 65% se utiliza para la fabricación de acero inoxidable, 20% en otros aceros y el restante en otras aleaciones¹⁶”. Otros tipos de materias primas utilizadas son el retal proveniente del mismo proceso o de otros y el reciclaje de chatarra, la cual no tiene una procedencia cierta y puede aportar diferentes clases de elementos al proceso, como es el caso del cobre que es incorporado por el uso de chatarra proveniente de procesos electrónicos o electrodomésticos.

4.3 NORMATIVIDAD AMBIENTAL PARA EL SECTOR GALVANICO.

Directriz Normativa	Entidad que la Expide	Descripción
Ley 99 de 1993.	Congreso de la República	Su creación da origen al Sistema Nacional Ambiental (SINA), al igual que brinda la posibilidad de Institucionalizar el Ministerio del Medio Ambiente con la única labor de prevenir el desgaste del Ambiente.
Política Nacional de	Ministerio de Ambiente,	Ésta se orienta hacia la

¹⁴ Ibí.

¹⁵ Tomado de Stainless Steel Information. Disponible en: www.estainlesssteel.com/ferrochrome.shtml consultado 2012-01-19.

¹⁶ Vilora de la hoz. Joaquín. El ferroníquel de cerromatoso: aspectos económicos de Montelibano y el alto San Jorge. Documento de trabajo sobre economía regional N° 117. Banco de La Republica. Cartagena. 2009.

Producción Más Limpia.	Vivienda y Desarrollo Territorial - MAVDT	prevención y minimización de los impactos y riesgos al medio ambiente y al ser humano, contemplando y garantizando la protección ambiental, el crecimiento económico y la competitividad empresarial entre otros aspectos necesarios para la incursión de los sectores productivos al ámbito ambiental.
Componente Hídrico		
Ley 373 de 1997 “Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua”	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - MAVDT	Esta ley formula y postula la implementación y el seguimiento del programa de uso eficiente del recurso hídrico; Así mismo brinda los lineamientos para la adopción del mismo por parte de los usuarios.
Decreto 1594 de 1984 “Por el cual se reglamenta el uso del agua y residuos líquidos”	Ministerio de Agricultura	Relaciona las directrices referentes a las prohibiciones en las descargas a cualquier sistema de alcantarillado.
Resolución 1074 de 1997 “Por la cual se	Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente - DAMA	Contiene el marco de referencia normativa en cuanto a las descargas o vertimientos al sistema

establecen estándares ambientales en materia de vertimientos”		de alcantarillado de la ciudad.
Resolución 1596 de 2001“Por la cual se modifica la resolución 1074 de 1997”	Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente - DAMA	Esta resolución realiza modificaciones a la resolución 1074, en su artículo 3, parámetro de tensoactivos.
Componente Aire		
Decreto 02 de 1982 “Por la cual se reglamentan las emisiones atmosféricas”	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - MAVDT	Expone las regulaciones pertinentes a las emisiones, normas locales de calidad del aire y normas de emisiones para fuentes fijas.
Decreto 948 de 1995	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - MAVDT	Aunque se encuentra parcialmente vigente, este define el marco de las acciones y mecanismos administrativos de las autoridades ambientales para mejorar y preservar la calidad del aire
Decreto 2107 de 1995	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - MAVDT	Por medio del cual se modifica en parte el decreto 948 de 1995, en sus aspectos de Reglamento de Protección y Control de Calidad del aire.
Resolución 627 de 2006	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo	Reglamenta los niveles permisibles de ruido

	Territorial - MAVDT	ambiental.
Componente Suelo		
Decreto 4741 de 2005	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - MAVDT	Reglamenta la gestión integral de residuos sólidos peligrosos, acorde con la clasificación Internacional CRETI (Corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad e inflamabilidad).
Decreto 1713 de 2002	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - MAVDT	Mediante este decreto se reglamenta la ley 99 de 1993 en cuanto a la gestión integral de residuos peligrosos.
Publicidad Exterior Visual		
Decreto 959 de 2000	Alcaldía Mayor de Bogotá	Reglamenta la normatividad en cuanto a publicidad exterior visual se refiere, en el distrito capital.
Decreto 506 de 2003	Alcaldía Mayor de Bogotá	Establece las normas, parámetros, y prohibiciones para la instalación de publicidad exterior visual en el Distrito Capital.
Resolución 1944 de 2003	Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente - DAMA	Establece el procedimiento para el registro de los diferentes tipos de elementos de publicidad exterior

		visual.
--	--	---------

5. METODOLOGÍA

La investigación se realiza según la siguiente secuencia de pasos o etapas.

5.1 CONSECUCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS

El proyecto está dirigido a contribuir con el mejoramiento del medio ambiente, entonces se trabaja con material reciclable. Se emplea chatarra de hierro, específicamente material de baja aleación que permite visualizar cualquier cambio en la composición química en la fundición obtenida, concretamente los cambios que se pueden presentar en metales tales como cromo, níquel y cobre. En segundo lugar el lodo proviene de una industria de recubrimientos electrolíticos, concretamente de la galvanoplástica cuyos lodos son ricos en metales pesados como el cromo, níquel y cobre.

Las materias primas se caracterizaron químicamente, por espectrometría de emisión atómica (EA), en el caso del material metálico; y el lodo por fluorescencia de rayos X por ser un material de matriz compleja. Los resultados de estos análisis sirven como base para determinar si hay o no recuperación de los metales en cuestión. Adicionalmente se realizó caracterización metalográfica al metal base, con el fin de verificar cambios en la microestructura del material al cambiar la composición química.

5.2 FUNDICIÓN DEL ACERO

Luego de caracterizadas las materias primas se procede a conseguir un horno en el cual se pueda realizar la fundición del material base junto con el lodo. El horno a utilizar debe alcanzar una temperatura tal que garantice el paso del estado sólido a líquido de todos y cada uno de los materiales dosificados (aproximadamente 1600°C). El tiempo estimado para este proceso es de 20 a 30 minutos, momento durante el cual se retira la escoria que queda sobre nadando en la fundición.

Luego la fundición es vaciada en los moldes en forma de lingotes, en el cual se deja la fundición durante 24 horas a fin de que esta enfríe de una forma lenta, para finalmente ser caracterizada.

5.3 CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO

A los lingotes de la fundición obtenidos, se les verifica que estos presente un buen acabado y luego se procede a su caracterización. Las probetas son caracterizadas químicamente por espectrometría de emisión atómica (EA), resultado éste que comparado con los iniciales permite determinar si hay o no recuperación de los metales de importancia. Además se realiza caracterización metalográfica para determinar los cambios microestructurales que se pueden presentar en el material, a fin de garantizar que hubo una buena integración de los diferentes metales.

5.4 DETERMINACIÓN DE BENEFICIOS

Teniendo en cuenta los resultados de la caracterización química del metal base y el producto, se procede a realizar los cálculos correspondientes para determinar los cambios que hubo en la composición química de los metales cromo, níquel y cobre. Si los resultados obtenidos en la investigación son positivos, se procede a estimar y determinar los beneficios tanto ambientales como económicos del reciclaje de los lodos en la elaboración de aleaciones ferrosas.

5.5 PRESUPUESTO

A continuación se hace la relación de los costos asociados a la investigación, donde se hace evidente que los mayores gastos están relacionados con el servicio de análisis especializados, los cuales fueron la base fundamental de dicha investigación. (Ver resumen página siguiente).

ITEM	CANTIDAD	VALOR \$	TOTAL
Análisis de composición química del lodo por fluorescencia de rayos X.	1	85000	\$ 85.000
Análisis de composición química por espectroscopia de emisión atómica del metal base y la fundición.	2	60000	\$ 120.000
Servicio fundición de metales en horno de inducción.	1	150000	\$ 150.000
Análisis metalográfica del metal base y la fundición.	2	80000	\$ 160.000
Papelería	1	150000	\$ 150.000
Transportes	1	150000	\$ 150.000
TOTAL INVERTIDO			\$ 815.000

6. RESULTADOS

6.1 CONSECUCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS

6.1.1 Metal base: para el desarrollo del trabajo y en busca de un metal base de baja aleación, se consiguen 4000g de retal de acero AISI 1010 en una distribuidora de metales. Este acero se caracteriza químicamente en un espectrofotómetro de emisión atómica de arco y chispa marca BAIRD modelo SPECTROVAC DV4/262477-612A, cuyos resultados se muestran a continuación:

Figura 1. Retal acero AISI 1010.



Fuente: el autor

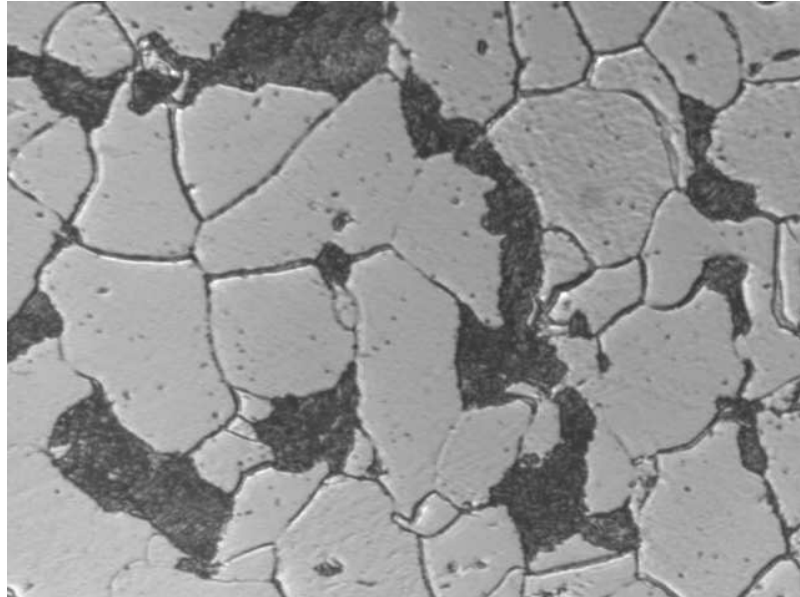
Cuadro 1. Composición química retal metal base AISI 1010.

Elemento	%
Fe	98,477
Si	0,113
Mo	0,019
Al	0,007
C	0,129
Cu	0,247
W	<0,005
Nb	<0,002
Mn	0,646
Ni	0,100
Co	0,011
B	0,0003
P	0,016
Cr	0,192
Ti	0,001
Pb	0,009
S	0,016
V	0,002
Sn	0,013
Mg	<0,000

En el cuadro 1 se puede observar que el acero es de alto contenido de hierro con 98.477%, además el contenido de los metales de interés es bajo cromo 0.192%, níquel 0.100% y cobre 0.247%.

Como complemento a la caracterización química se realiza caracterización metalográfica, a fin de tener una línea base de la microestructura del material. A continuación se presenta la micrografía de la estructura del acero base.

Figura 2. Microestructura metal base 1000X.



Fuente: el autor

La figura 2 muestra la microestructura ferrítico-perlítica del acero de partida, característica de los aceros al carbono de baja aleación.

Figura 3. Lodo seco.



6.1.2 Lodo: el lodo fue suministrado por la empresa GRIVAL CORONA, para el desarrollo de la presente investigación. Dicho lodo se caracterizó químicamente por fluorescencia de rayos X, en un espectrofotómetro marca PHILIPS modelo MAGIXPRO PW-2440. Los resultados se muestran en el cuadro 2.

Cuadro 2. Composición química del lodo de partida.

Elemento	%
CaO	27,488
Cr	22,443
Cu	12,097
Ni	9,367
S	2,931
P ₂ O ₅	1,063
Na ₂ O	0,872
MgO	0,678
Sn	0,582
SiO ₂	0,575
Fe ₂ O ₃	0,412
Cl	0,387
Zn	0,239
Al ₂ O ₃	0,189
Ce	0,172
Ba	0,098
Pb	0,063
Sr	0,028

El cuadro 2 muestra que el lodo es rico en metales pesados y que son los de interés para la investigación, cromo 22.443%, níquel 9.367% y cobre 12.097%. De igual forma el cuadro 2 permite ver que el contenido de CaO es del 27.488%, la presencia de este compuesto será benéfica para la fundición, ya que el mismo es usado industrialmente como formador de escoria y purificador del material fundido.

Por otro lado el lodo es sometido a la prueba de perdidas por calcinación (PXC) en una mufla a 550°C durante 2 horas. Esta prueba es un indicativo del contenido de materia orgánica presente en la muestra. Como resultado se obtiene que el lodo presenta 20.316% de perdidas en peso por calcinación.

6.2 FUNDICIÓN DEL ACERO

Para la fundición del material se hace uso de un horno eléctrico de inducción equipado con un crisol de carburo de silicio con capacidad para 5000g de carga.

Figura 4. Horno eléctrico de inducción.



Fuente: el autor

Se pone en funcionamiento el horno y lentamente se adiciona la carga. En primer lugar se adicionan los 4000g del material base, se sube la temperatura del horno hasta que alcance los 1600°C y se espera hasta que todo el material pase a estado líquido; posterior y lentamente se adicionan sobre el material fundido 1000g del lodo seco, durante este proceso se observa el desprendimiento de humo, el borboteo y salpicadura del material fundido cuyas chispas caen fuera del crisol. Se permite que visualmente el lodo se integre a la fundición, se deja el material hervir durante 5 minutos, transcurrido este tiempo se descarga la fundición en una lingotera de material metálico (fundición gris). La lingotera se deja enfriar dentro del horno durante 24 horas. Después de este tiempo se desmolda el material y se procede a su caracterización.

Figura 5. Material en fundición.



Fuente: el autor

Figura 6. Desprendimiento de humo en la fundición.



Fuente: el autor.

Figura 7. Lingotera con material fundido.



Cuadro 3. Cantidades adicionadas de cada uno de los elementos según la carga de materia prima.

METAL BASE		LODO	
Elemento	Gramos	Elemento	Gramos
Fe	3939,08	CaO	274,88
Si	4,52	Cr	224,43
Mo	0,76	Cu	120,97
Al	0,28	Ni	93,67
C	5,16	S	29,31
Cu	9,88	P2O5	10,63
W	0,00	Na2O	8,72
Nb	0,00	MgO	6,78
Mn	25,84	Sn	5,82
Ni	4,00	SiO2	5,75
Co	0,44	Fe2O3	4,12
B	0,012	Cl	3,87
P	0,64	Zn	2,39
Cr	7,68	Al2O3	1,89
Ti	0,04	Ce	1,72
Pb	0,36	Ba	0,98
S	0,64	Pb	0,63
V	0,08	Sr	0,28
Sn	0,52	PXP	203,16
Mg	0,00		

El cuadro 3 muestra según la cantidad de materia prima dosificada, es decir metal base y/o lodo y su caracterización química, la cantidad en gramos de cada uno de los elementos que las componen. Lo anterior quiere decir por ejemplo que por parte del metal base se aportó de cromo 7.68g, níquel 4.00g, cobre 9.88g y por parte del lodo se aportó de cromo 224.43g, níquel 93.67, cobre 120.97g etc.

6.3 CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO

Como resultado de la fundición se obtienen 3 lingotes cuyo peso total es de 4450g y una escoria de 250g. El material obtenido es caracterizado químicamente en un

espectrofotómetro de emisión atómica de arco y chispa marca BAIRD modelo SPECTROVAC DV4/262477-612A, cuyos resultados se muestran a continuación:

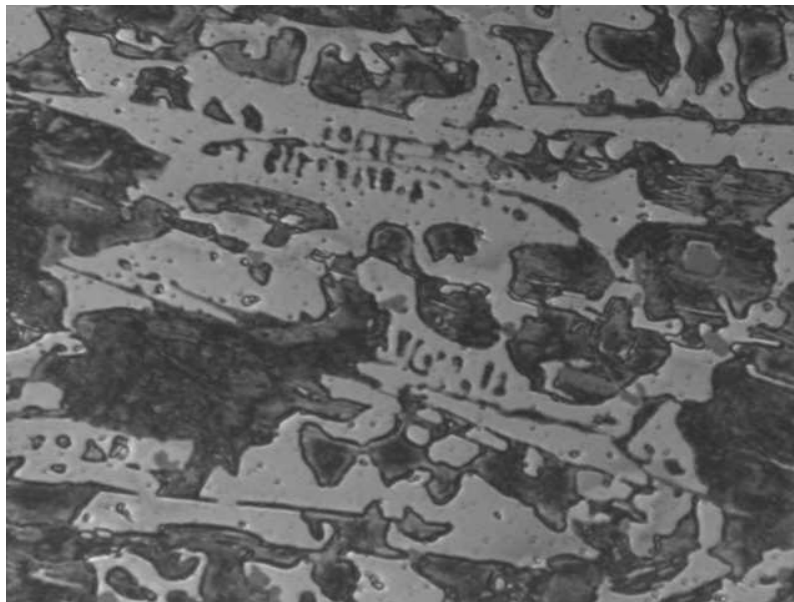
Cuadro 4. Composición química del producto (fundición).

Elemento	%	Gramos
Fe	92,134	4099.96
Si	1,322	58.83
Mo	0,028	1.25
Al	0,008	0.36
C	2,509	111.65
Cu	0,987	43.92
W	<0,005	0.00
Nb	<0,002	0.00
Mn	0,526	23.41
Ni	0,615	27.37
Co	0,011	0.49
P	0,026	1.16
Cr	2,524	112.32
Ti	0,006	0.27
B	0.0001	0.00
Mg	<0.001	0.00
Pb	0,007	0.31
S	0,208	9.26
V	0,002	0.09
Sn	0,055	2.45

El cuadro 4 muestra la composición química del producto o fundición, en la cual se puede apreciar que los metales de interés están en la siguiente concentración cromo 2.524%, níquel 0.615% y cobre 0.987%. De igual forma se aprecia que elementos como el carbono con 2.509% y el silicio con 1.322 se presentan en alta concentración.

Como complemento a la caracterización química se realiza caracterización metalográfica, a fin de verificar el tipo de microestructura presente en el producto y poder comparar con la microestructura obtenida en el material base. A continuación se presenta la micrografía de la estructura del producto: (ver página siguiente).

Figura 8. Microestructura del producto 1000X.



Fuente: el autor.

La figura 8 presenta una microestructura perlítica-ledeburítica característica de metales ferrosos con más del 2.26% de carbono.

6.4 ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

En este apartado se hará un análisis de los resultados obtenidos de la caracterización tanto del metal base como del producto. Se espera mostrar con claridad las variaciones que se presentaron en la concentración de cada uno de los elementos químicos analizados y las posibles causas de dichas variaciones. De igual manera servirá como base para determinar si fueron o no satisfactorios los resultados de la investigación.

En primer lugar se presenta un cuadro comparativo entre la composición química del metal base y la composición química del producto. (Ver página siguiente).

Cuadro 5. Comparativo resultados composición química.

Elemento	Metal base	Producto
	%	%
Fe	98,477	92,134
Si	0,113	1,322
Mo	0,019	0,028
Al	0,007	0,008
C	0,129	2,509
Cu	0,247	0,987
W	<0,005	<0,005
Nb	<0,002	<0,002
Mn	0,646	0,526
Ni	0,100	0,615
Co	0,011	0,011
B	0,0003	0,0001
P	0,016	0,026
Cr	0,192	2,524
Ti	0,001	0,006
Pb	0,009	0,007
S	0,016	0,208
V	0,002	0,002
Sn	0,013	0,055
Mg	<0,000	<0,000

En el cuadro 5 se puede observar que con respecto al metal base el contenido de hierro del producto es 6.343% menos, lo cual es un indicativo del aumento en la concentración de otros elementos. En correlación a lo dicho anteriormente se puede observar en el mismo cuadro que la concentración de la mayoría de los otros elementos se incremento, por ejemplo: el silicio 1.209%, carbono 2.380%, cobre 0.740%, níquel 0.515% y cromo 2.332%. Estos son los valores más representativos y los elementos de mayor interés.

El aumento en la concentración de los elementos cromo, níquel y cobre esta claramente asociada a los aportes hechos por el lodo. Es más, este sería un resultado satisfactorio y era lo que se esperaba, que dichos metales que están en altas concentraciones en el lodo se pudieran integrar al metal.

Por otro lado el incremento en la concentración de los elementos carbono y silicio se relacionan con el tipo de crisol que se uso en el horno para la fundición. Ya que este crisol esta hecho de carburo de silicio (SiC), compuesto que es soluble en hierro fundido. Por tal motivo hubo difusión de carbono y silicio del crisol a la fundición. Si se tiene en cuenta la otra materia prima usada (el lodo), cuya caracterización química se puede ver en el cuadro 2, no hay una concentración tal de carbono o silicio que permitan evidenciar que su aumento fue aporte del lodo.

Teniendo en cuenta que los resultados anteriores muestran que hubo integración de los componentes del lodo con el acero; a continuación se hace el análisis de cuál fue la cantidad de cobre, cromo y níquel (que son los elementos de interés en esta investigación) se recupero en la fundición. Para lo anterior se debe determinar cuál fue el aporte en gramos de cada uno de los elementos de interés por materia prima, y cuál fue la cantidad también en gramos obtenida en el producto.

Cuadro 6. Contenido de Cr, Cu y Ni por cada materia prima y en el producto.

Elemento	Metal base	Lodo	Producto
Cr	7,68g	224,40g	112.32g
Ni	4,00g	93,67g	27.37g
Cu	9,88g	121,00g	43.92g

Los valores que se presentan en el cuadro 6 se obtienen de la relación que se hace de la cantidad utilizada de cada materia prima, la cantidad del producto que se obtiene; con el análisis de la composición química de cada uno de ellos. Estas cantidades se pueden apreciar en los cuadros 3 y 4 respectivamente.

Con los datos presentados en el cuadro 6, se hacen los correspondientes cálculos para determinar el porcentaje de recuperación de metales. Entonces, de las cantidades obtenidas en el producto se resta la cantidad aportada por el metal base, con lo cual se determina la cantidad de los metales integrados a la fundición y que fue aportada por el lodo. La cantidad hallada se divide por el valor de la

concentración de metales en el lodo, cuyo resultado se expresa en %. (Ver cuadro 7)

Cuadro 7. Porcentaje de recuperación de metales en la fundición.

Elemento	Fundición	Metal base	Cantidad integrada	Lodo	% Recuperación
Cr	112,32g	7,68g	104,64g	224,40g	46,63
Ni	27,37g	4,00g	23,37g	93,67g	24,95
Cu	43,92g	9,88g	34,04g	121,00g	28,13

El cuadro 7 muestra que hubo una recuperación de 46.63% de cromo, 24.95% de níquel y 28.13% de cobre. Resultados bajos, pero para un primer ensayo son satisfactorios.

6.5 DETERMINACIÓN DE BENEFICIOS

Como los resultados mostrados en el numeral anterior son satisfactorios, esto genera mayores expectativas para continuar la investigación a fin de conseguir mejores resultados. En este punto se mostrarán cuáles podrían ser los beneficios tanto ambientales como económicos que se puede generar de conseguir una mayor recuperación de los metales de interés.

En primer lugar a nivel ambiental se conseguiría que los lodos provenientes de la industria galvanizada dejaran de ser un residuo peligroso, para convertirse en una materia prima; por consiguiente se podría disminuir en gran medida la contaminación de suelos y fuentes hídricas debida a este tipo de residuos. Sumado a lo anterior se conseguiría que en la industria metalúrgica se consumieran los lodos existentes, acabando con el pasivo ambiental actual debido a estos lodos. Por otro lado se conseguiría que en la industria siderúrgica hubiera un menor consumo de materias primas como el ferroníquel o el ferrocromo, con los aspectos ambientales positivos que esto pueda traer como consecuencia para la minería de estas ferroaleaciones.

En segundo lugar a nivel económico se conseguiría que las empresas que generan este tipo de residuos, hagan grandes ahorros por no tener que pagar millonarias sumas por el arriendo de instalaciones para confinar los lodos, al igual que los costos asociados a los transportes de los mismos. Por ejemplo, trayendo nuevamente el tema de la empresa GRIVAL CORONA, esta se podría ahorrar \$17.000.000 al mes por arriendo de celdas de seguridad y \$2.000.000 al mes por transporte. Lo que da un ahorro mínimo de \$19.000.000 al mes, dinero que podría invertirse en otras necesidades. En el caso de las empresas que consumen materias primas como ferroníquel, ferrocromo y/o chatarra de cobre el ahorro se vería en el hecho de disminuir el consumo de estas o la no compra de las mismas, ya que en el mercado un kilo de ferroníquel cuesta \$24.000, uno de ferrocromo \$11.000 y el kilo de chatarra de cobre cuesta \$12.000¹⁷. Valores suministrados por la distribuidora de ferroaleaciones EL QUINTAL y la asociación de recicladores de Bogotá, respectivamente.

6.5.1 Costos del proyecto.

Tomando los resultados positivos obtenidos se puede asumir que los únicos costos asociados al proyecto son los incurridos en la investigación. Ya que como se plantean las pruebas, el proceso para el consumo de los lodos no implicará ningún cambio en el proceso de producción actual de las aleaciones ferrosas.

6.5.2 Costo – Beneficio.

Del análisis costo beneficio se puede decir que el único costo que involucraría el proyecto, sería el transporte del lodo a las instalaciones de la empresa siderúrgica que los quiera usar. Por lo demás serían solo beneficios, ya que el lodo es un subproducto del proceso galvanizado. Una empresa como GRIVAL que gasta mensualmente mucho dinero en el manejo de los lodos, el solo hecho de no pagar por el manejo de los mismos ya es ganancia para ellos y por eso están dispuestos a regalarlos. Una empresa siderúrgica que pueda consumir el lodo como materia prima sin gastar un centavo, ahorrando dinero porque baja el consumo o ya no consume algunas materias primas minerales que son muy costosas, le generaría ganancias por bajar costos de producción. Como se puede ver son más los beneficios que los costos.

¹⁷ Los valores mencionados fueron suministrados por la distribuidora de ferroaleaciones EL QUINTAL y la asociación de recicladores de Bogotá. En consultas realizadas telefónicamente el día jueves 8 de marzo de 2012.

6.5.3 Población Objetivo.

En lo correspondiente a la población objetivo el trabajo estaría beneficiando en primer lugar a las empresas de recubrimientos electrolíticos que manejen este tipo de lodos. Y en segundo lugar a las personas que vivan cerca a cada una de estas empresas. Si hablamos por ejemplo de las empresas ubicadas en bogota, la población beneficiada seria la de bogota.

7. CONCLUSIONES

- La caracterización de las materias primas mostró que el Lodo contiene altos porcentajes de metales pesados los cuales son tóxicos y perjudiciales para la salud humana y del medio ambiente. Se encuentra que es rico en cromo 22.443%, níquel 9.363%, cobre 12.097% y otros en menores cantidades; además contiene 27.488% de CaO y un 20% de pérdidas por calcinación. Estos dos últimos elementos se consideran que son benéficos para la investigación ya que en los procesos siderúrgicos se adicionan como aditivos a fin de conseguir una mejor reducción de los minerales y para la obtención de escoria como medio de purificación de los metales ferrosos. En lo que respecta al metal base utilizado (acero al carbono AISI 1010) el análisis de composición química muestra la baja presencia de elementos aleantes, dentro de los que se destaca la concentración de cromo con 0.192%, níquel 0.100% y cobre 0.247%. Metales que se tienen en cuenta y facilitaran determinar si hubo algún cambio en su concentración. Además el análisis microestructural demuestra la pureza del material por la presencia mayoritaria de ferrita, la cual se considera hierro puro.
- Se realiza la fundición de los materiales lo cual permite observar una buena integración del lodo seco entre el metal fundido, el desprendimiento de humo y el borboteo de la fundición. De la fundición se obtiene 3 lingotes de producto con un peso total de 4450g más 250g de escoria. La caracterización química del producto o fundición muestra que con respecto al metal base hay una disminución en el porcentaje de hierro bajando a 92.134% y un aumento en la concentración de los contenidos de cromo con 2.524%, níquel 0.615%, cobre 0.987%, silicio 1.322% y carbono 2.509%. Resultados estos que muestran una variación positiva en la concentración de los metales como el cromo, níquel y cobre; demostrando así que si hubo integración de dichos metales a la aleación. El aumento en la concentración del silicio y el carbono está ligado al uso de un crisol de carburo de silicio SiC durante el proceso de fundición. Debido a que el compuesto SiC es soluble en hierro fundido, por tal motivo hubo difusión de los elementos carbono y silicio del crisol hacia el metal líquido. Además el análisis microestructural evidencia la presencia de la fase ledeburítica comprobando la presencia del alto contenido de carbono.
- Los resultados muestran que si hay recuperación o integración de los metales de interés en la fundición, dando porcentajes de recuperación para cada uno

de los elementos de: cromo 46.63%, níquel 24.95% y cobre 28.13%. Aunque los resultados aparentemente son bajos, para las condiciones de trabajo poco controladas en las cuales se hizo la prueba, son un buen inicio. Además se debe tener en cuenta que hubo problemas con el crisol y no se usó ningún tipo de aditivo que pudieran facilitar la integración de los elementos de interés en la fundición. Como los resultados obtenidos son buenos, se abre un nuevo camino para continuar con la investigación a fin de obtener mayores porcentajes de recuperación de los elementos de interés y así lograr dar una solución satisfactoria a la problemática ambiental de los lodos provenientes de la planta de tratamiento de agua residual de la industria galvánica. Por otro lado de los resultados de este trabajo se desprenden los siguientes beneficios: por el lado ambiental es terminar con el pasivo ambiental generado por la acumulación durante años (en algunas ocasiones adecuada en otras inadecuadas) de los lodos provenientes de la industria de recubrimientos electrolíticos. Además de la prevención de la contaminación por causas del mal manejo de estos lodos, con metales pesados de fuentes hídricas y suelos. Por el lado de las empresas dedicadas a los recubrimientos galvánicos tendrían ahorros por el hecho de no tener que pagar a terceros por el tratamiento y disposición de los lodos, además de los costos asociados a su transporte. Se puede afirmar que a lo anterior se sumaría el hecho de no exponerse a sanciones legales por parte de las autoridades ambientales debido al mal manejo de dichos lodos. Por el lado de la industria siderúrgica los beneficios se verían representados en el hecho de no tener que consumir o disminuir el consumo de materias primas minerales cuyos precios por kilogramo son altos; ya que estas podrían ser remplazadas por los lodos. No se puede dejar de mencionar que este lodo es rico en CaO, una materia prima de común uso en este tipo de industria, lo que significaría otro ahorro.

8. RECOMENDACIONES

Por falta de tiempo debido al cumplimiento del cronograma académico y a la falta de recursos propios, fue imposible repetir las pruebas; motivos estos por los cuales se recomienda:

- Tomando como base los resultados obtenidos en este trabajo continuar con la investigación a fin de obtener superiores resultados que puedan dar la mejor solución a la problemática de los lodos provenientes de dicha industria.
- Para continuar con la investigación se recomienda tomar todas las medidas de control necesarias que permitan llevar a buen fin la investigación, entre las cuales se resaltan: continuar usando el horno de inducción el cual permite tener condiciones ambientales controladas, el uso de un crisol de Magnesias que sería el recomendado para realizar este tipo de fundiciones, el asesoramiento de un experto en fundición quien pueda recomendar y guiar en el uso de aditivos que permitan mejorar la integración de los elemento de interés en la fundición.
- Continuar haciendo las pruebas experimentales a nivel laboratorio hasta conseguir los mejores resultados, para luego sugerirlo a una empresa y poder llevar a pruebas semi-industriales.
- Cuando a nivel laboratorio se tenga la prueba con los mejores resultados, someter el producto al análisis de difracción de rayos X, con el cual se puede establecer de que manera están integrados los diferentes elementos en la red cristalina.
- Explorar bajo la misma metodología los lodos de otras industrias (los cuales son catalogados como peligrosos por su alto contenido de metales pesados), como lo serían los de la industria de la curtiembre, la del cincado entre otras.
- Hacer las pruebas utilizando hierro de fundición en lugar de acero, ya que este tipo de material necesita menores temperaturas para su fundición. Mientras que para fundir acero se necesita del orden de los 1600°C, para el hierro de fundición se necesitaría del orden de los 1000°C. Además a nivel industrial es más fácil conseguir hornos para fundir este material (el cual lo llaman hierro colado) que hornos para fundir acero los cuales son más especializados.

BIBLIOGRAFÍA

1. A.M. Bernardes, I. Bohlinger and W. Wuth, The thermal treatment of galvanic sludges for environmental compatibility—research summary, *J. Miner. Metals Mater. Soc.* 48 (1996), pp. 59–62
2. ASKELAND, Donald. Ciencia e Ingeniería de Los Materiales. Tercera Edición. International Thomson Editores. México. 1998. ISBN 968-7529-36-9.
3. BAENA, Isabel. Estudio de la actividad Bacteriana de Aceros Inoxidables Aleados con Cobre. Universidad de Sevilla. Sevilla, España. 2005.
4. CASTRO, Guillermo. Fundiciones. Departamento de Ingeniería Mecánica F.I.U.B.A. Febrero de 2009.
5. CALLISTER, William. Materials science and engineering: an introduction. 7th Edition. John Wiley & Sons. New York, the United States of America. 2007. ISBN-13: 978-0-471-73696-7.
6. Centro Nacional de Producción Más Limpia. Guía de Producción más Limpia para el Sector de Recubrimientos Electrolíticos en Colombia. Medellín. 2005.
7. CHAVES Porras, Álvaro; CRISTANCHO Montenegro, Diana Lucía; OPINA Granados, Édgar Alexander. Una alternativa limpia para el tratamiento de las aguas residuales galvánicas: revisión bibliográfica. Revista de Ingenierías Universidad de Medellín, Vol. 8, Núm. 14, enero junio, 2009, pp. 39-50 Universidad de Medellín Colombia.
8. Colombia. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (2005). Decreto 4741 “Por el cual se reglamente parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral”. Bogotá 30 de Diciembre.
9. Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible/Organización de Control Ambiental y Desarrollo Empresarial OCADE. Gestión integral de residuos o desechos peligrosos. Bases Conceptuales. Bogotá. Colombia. 2007. 186p.
10. Colombia. Ministerio de Minas y Energía. Unidad de Planeación Minero energética. El níquel en Colombia. Bogotá. Colombia. Noviembre de 2009.

11. Comisión Nacional del Medio Ambiente – Región Metropolitana. Guía para el control y la prevención de la contaminación industrial. Galvanoplastia. Santiago de Chile. 2000.
12. D.C.R. Espinosa, J.A.S. Tenório, Laboratory study of galvanic sludge's influence on the clinkerization process, *Resour. Conserv. Recycl.* 31 (2000) 71–82.
13. Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York. Manual de Tratamiento de Aguas Negras. México. Limusa. 2008. 304p. ISBN-13: 978-968-18-0464-0.
14. FUNDES. Guía de Buenas Prácticas para el Sector Galvanotecnia. Colombia. 2006.
15. Fundación Entorno, Empresa y Medio Ambiente. Guías Tecnológicas Fundición de Metales Ferrosos. Madrid España. 2000.
16. -----, -----, Guías Tecnológicas Ferroaleaciones. Madrid España. 2000.
17. H.P. Rajcevic, A hydrometallurgical process for the treatment of industrial wastes, *Plant. Surf. Finish.* (July) (1990) 22–25.
18. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Trabajos escritos: presentación y referencias bibliográficas. Sexta actualización. Bogotá: ICONTEC, 2008 110 p.
19. J.M.F. Ferreira, H.M. Alves and A.M. Mendonca, Inertization of galvanic sludges by its incorporation in ceramic products, *Boletín de la Sociedad Espanola de Ceramica y Vidrio* 38 (1999), pp. 127–131
20. M. Pedlík, J. Jandov'a, Obtaining Zn-, Ni-, Cu-concentrates from waste galvanic sludges, in: Research Report, VŠCHT Praha, 1993.
21. MESA Dairo. Zapata Alberto. Consideraciones sobre aplicaciones tecnológicas de trasformaciones de fase en aceros. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia. Abril de 2005.
22. MEYERS, Marc and CHAWLA, Krishan. Mechanical Behavior of Materials. 2nd Edition. Cambridge University Press. New York, the United States of America. 2009. ISBN-13 978-0-521-86675-0.
23. OPEN. Guía Metodológica para el Uso Eficiente de la energía en el sector: Acero, Hierro, Materiales no ferrosos y galvanotecnia. Bogotá. 2010.

24. Organización para el desarrollo empresarial sostenible y DAMA. Diagnóstico Empresarial Sector Galvanotecnia. 2006.
25. ROSARIO, Samuel. Curso Selección de Aceros Especiales – Introducción a los Aceros Especiales. Universidad nacional mayor san marcos - aceros böhler del Perú s.a. Perú.
26. SMITH, William. Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales. Tercera Edición. McGraw-Hill. Madrid España. 1998.
27. VILORA DE LA HOZ. Joaquín. El ferroníquel de cerromatoso: aspectos económicos de Montelibano y el alto San Jorge. Documento de trabajo sobre economía regional N° 117. Banco de La Republica. Cartagena. 2009.

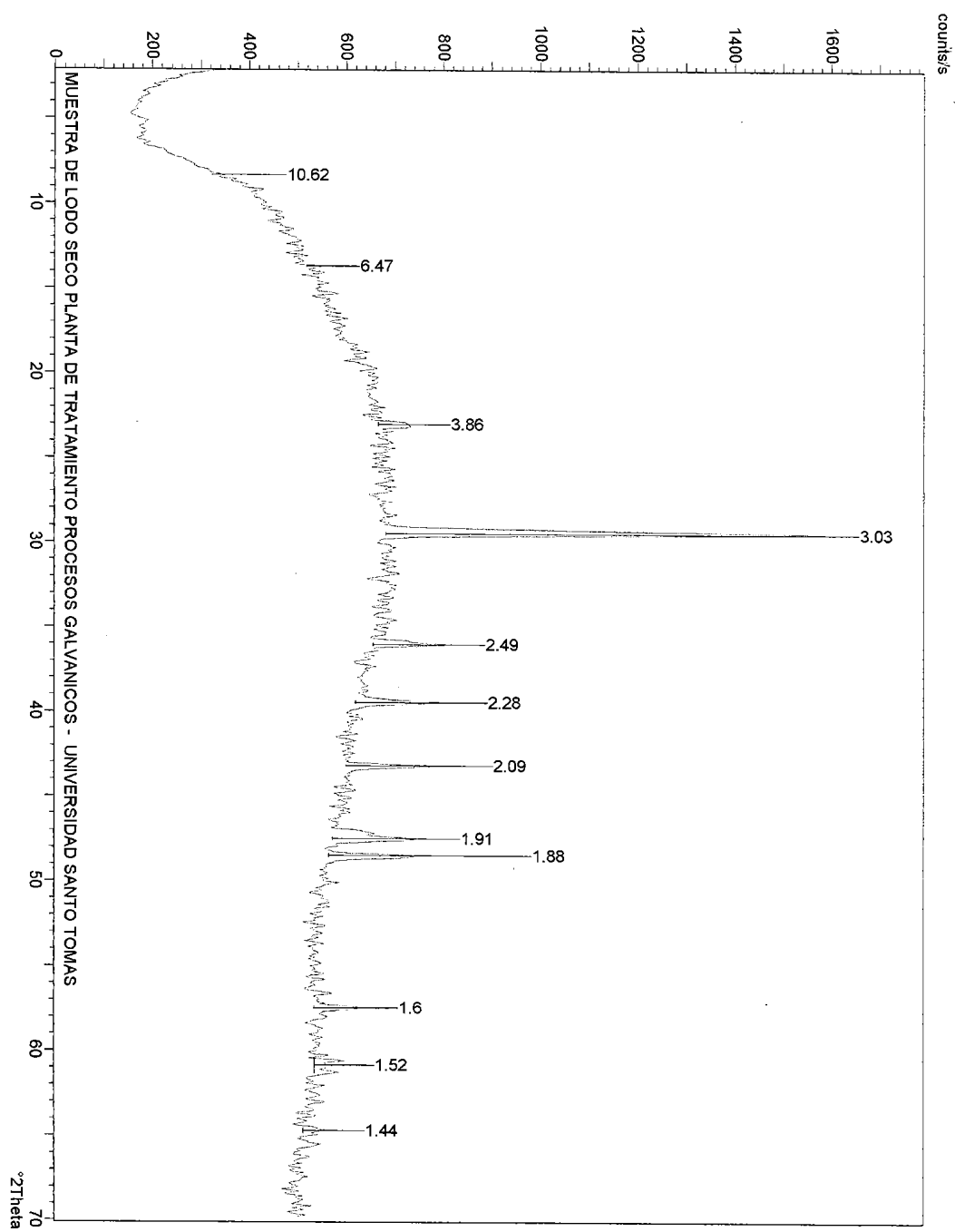
CIBERGRAFÍA.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389405001408>.

www.estainlesssteel.com/ferrochrome.shtml

44

[illegible]





UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

VICERRECTORÍA ACADÉMICA
CENTRO DE EQUIPOS INTERFACULTADES - CEIF
LABORATORIO DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X

XRF-261-11

Bogotá D.C., diciembre 1 de 2011

Señor

JHON JAIRO CASTAÑEDA BOCANEGRA

Estudiante

Administración Ambiental y de los Recursos Naturales

Facultad de Ciencias y Tecnologías

Universidad Santo Tomas

Bogotá

Correo: jicastanedab@unal.edu.co

Respetado Señor:

Me permito reportar el resultado semicuantitativo destructivo de una (01) muestra sólida (Lodo), remitida por usted, la cual fue codificada por este laboratorio como:

• **XRF-2629 Lodo –Castañeda-**

La muestra en polvo fue mezclada con cera espectrométrica de la casa Merck en relación Muestra:Cera de 10:1 (7 gr. de muestra y 0.7 gr. de cera), posteriormente homogenizada por agitación, llevada a una prensa hidráulica a 120 kN por un minuto generando una pastilla prensada de 37mm de diámetro que posteriormente fue medida en la aplicación **SEMIQ-2007**.

El análisis semicuantitativo se realizó con el software IQ, haciendo 11 barridos, con el fin de detectar todos los elementos presentes en la muestra, excluyendo H, C, Li, Be, B, N, O y los elementos transuránicos.

Se utilizó un espectrómetro de fluorescencia de rayos X, MagixPro PW – 2440 Philips equipado con un tubo de Rodio, con una potencia máxima de 4 KW. Este equipo tiene una sensibilidad de 200ppm (0.02%) en la detección de elementos pesados metálicos.

La estabilidad del equipo es controlada diariamente mediante la medición de una muestra patrón.

ciencia, tecnología e innovación para el país

Carrera 30 No. 45 - 03 **EDIFICIO MANUEL ANCÍZAR**, Piso 1º, Oficina 114
Teléfono: Conmutador: (57-1) 316 5000 Ext. 16594 Fax: 16596
Correo electrónico: labfux_ceifbog@unal.edu.co / w

El resultado obtenido en forma de compuestos y de elementos, se transcribe a continuación.

Elemento y/o Compuesto	XRF-2629 Lodo -Castañeda- (% en peso)
CaCO ₃	49,285
Cr	21,863
Cu	11,476
Ni	8,900
S	3,027
P ₂ O ₅	1,104
Na ₂ O	0,925
MgO	0,712
SiO ₂	0,599
Sn	0,546
Cl	0,397
Fe ₂ O ₃	0,394
Zn	0,225
Al ₂ O ₃	0,198
Ce	0,168
Ba	0,096
Pb	0,059
Sr	0,026

Elemento y/o Compuesto	XRF-2629 Lodo -Castañeda- (% en peso)
CaO	27,488
Cr	22,443
Cu	12,097
Ni	9,367
S	2,931
P ₂ O ₅	1,063
Na ₂ O	0,872
MgO	0,678
Sn	0,582
SiO ₂	0,575
Fe ₂ O ₃	0,412
Cl	0,387
Zn	0,239
Al ₂ O ₃	0,189
Ce	0,172
Ba	0,098
Pb	0,063
Sr	0,028

Nota: El resultado analítico presente, corresponde exclusivamente a la muestra recibida y no a otro material de la misma procedencia. El laboratorio no se hace responsable de las posibles interpretaciones surgidas por la reproducción parcial del presente informe.

Cordialmente,



ANA ELENA CONCHA PERDOMO.
Coordinadora

ciencia, tecnología e innovación para el país

Carrera 30 No. 45 - 03 EDIFICIO MANUEL ANCÍZAR, Piso 1º, Oficina 114
Teléfono: Conmutador: (57-1) 316 5000 Ext. 16594 Fax: 16596
Correo electrónico: labfux_ceifbog@unal.edu.co / www.ceif.unal.edu.co
Bogotá, Colombia, Sur América



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE BOGOTÁ
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA Y MECATRÓNICA
LABORATORIO DE MATERIALES Y PROCESOS

STORE DATA : 396
ORDEN DE TRABAJO : INTERNA
COMPANIA : ESTUDIANTE
ENTERANTE : JHON JAIRO CASTAÑEDA B
FIRMA ANALISTA :
ANALISTA : JHON JAIRO CASTANEDA.
FIRMA JEFE LAB :
JEFE LABORATORIO : ING. ORLANDO SANTAMARIA R
REFERENCIA : RETAL ACERO 1010
Alloy : LAB2010 Mode :PA 2-Dec-2011 Time 15:39

Burn 1
Fe 98.316 C 0.136 Mn 0.633 P 0.013 S 0.016
Si 0.109 Cu 0.236 Ni 0.095 Cr 0.189 V 0.002
Mo 0.019 W < 0.005 Co 0.010 Ti 0.000 Sn 0.013
Al 0.005 Nb< 0.002 B 0.0002 Pb 0.008 Mg< 0.000

Burn 2
Fe 98.480 C 0.134 Mn 0.642 P 0.015 S 0.017
Si 0.114 Cu 0.243 Ni 0.100 Cr 0.191 V 0.002
Mo 0.019 W < 0.005 Co 0.010 Ti 0.001 Sn 0.013
Al 0.009 Nb< 0.002 B 0.0002 Pb 0.008 Mg< 0.000

Burn 3
Fe 98.480 C 0.127 Mn 0.656 P 0.018 S 0.017
Si 0.116 Cu 0.253 Ni 0.103 Cr 0.194 V 0.002
Mo 0.020 W < 0.005 Co 0.011 Ti 0.001 Sn 0.013
Al 0.007 Nb< 0.002 B 0.0005 Pb 0.009 Mg< 0.000

Burn 4
Fe 98.478 C 0.126 Mn 0.646 P 0.018 S 0.016
Si 0.113 Cu 0.249 Ni 0.100 Cr 0.193 V 0.002
Mo 0.019 W < 0.005 Co 0.011 Ti 0.001 Sn 0.013
Al 0.006 Nb< 0.002 B 0.0004 Pb 0.009 Mg< 0.000

Burn 5
Fe 98.458 C 0.123 Mn 0.655 P 0.019 S 0.017
Si 0.114 Cu 0.255 Ni 0.103 Cr 0.194 V 0.002
Mo 0.019 W < 0.005 Co 0.011 Ti 0.001 Sn 0.013
Al 0.005 Nb< 0.002 B < 0.0001 Pb 0.010 Mg 0.000

Average
Fe 98.477 C 0.129 Mn 0.646 P 0.016 S 0.016
Si 0.113 Cu 0.247 Ni 0.100 Cr 0.192 V 0.002
Mo 0.019 W < 0.005 Co 0.011 Ti 0.001 Sn 0.013
Al 0.007 Nb< 0.002 B 0.0003 Pb 0.009 Mg< 0.000

ciencia, tecnología e innovación para el país

Carrera 30 No. 45-03, POSTGRADOS DE MATERIALES Y PROCESOS, Edificio 407, Piso 2
Teléfono: (57) (1) 316 55 82 Correo electrónico: (57) (1) 316 5000 Ext. 11203 - 11204 Telefax: (57) (1) 316 55 86
Correo electrónico: unimatlab_fibog@unal.edu.co
"150 años Construyendo Nación con Ingenio Propio"
Bogotá, Colombia, Sur América



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE BOGOTÁ
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA Y MECATRÓNICA
LABORATORIO DE MATERIALES Y PROCESOS

STORE DATA : 403
ORDEN DE TRABAJO : INTERNA
COMPANIA : ESTUDIANTE
ENTERANTE : JHON JAIRO CASTAÑEDA B
FIRMA ANALISTA :
ANALISTA : JHON JAIRO CASTANEDA.
FIRMA JEFE LAB :
JEFE LABORATORIO : ING. ORLANDO SANTAMARIA R
REFERENCIA : FUNDICION CON LODO
Alloy : T00LSTL Mode :PA 7-Dec-2011 Time 14:33

Burn 1							
Fe 92.370	Al	0.008	C > 2.000	Mn	0.507	P	0.026
S 0.120	Si	1.227	Cu 0.115	Ni	0.551	Cr	2.513
Mo 0.027	V	0.001	W 0.003	Co	0.010	Sn	> 0.012
Burn 2							
Fe 92.037	Al	0.008	C > 2.000	Mn	0.577	P	0.026
S 0.120	Si	1.329	Cu 0.115	Ni	0.618	Cr	2.522
Mo 0.028	V	0.002	W < 0.003	Co	0.011	Sn	> 0.012
Burn 3							
Fe 91.945	Al	0.008	C > 2.000	Mn	0.494	P	0.026
S 0.120	Si	1.409	Cu 0.115	Ni	0.578	Cr	2.537
Mo 0.029	V	0.002	W 0.014	Co	0.012	Sn	> 0.012
Average							
Fe 92.134	Al	0.008	C > 2.000	Mn	0.526	P	0.026
S 0.120	Si	1.322	Cu 0.115	Ni	0.613	Cr	2.524
Mo 0.028	V	0.002	W 0.007	Co	0.011	Sn	> 0.012

ciencia, tecnología e innovación para el país

Carrera 30 No. 45-03. POSTGRADOS DE MATERIALES Y PROCESOS. Edificio 407, Piso 2
Teléfono: (57) (1) 316 55 82 Correo electrónico: unimatman_fibog@unal.edu.co
"150 años Construyendo Nación con Ingenio Propio"
Bogotá, Colombia, Sur América

```

STORE DATA      : 404
ORDEN DE TRABAJO : INTERNA
COMPANIA        : ESTUDIANTE
ENTERANTE       : JHON JAIR CASTAÑEDA B
FIRMA ANALISTA  :
ANALISTA        : JHON JAIR CASTANEDA.
FIRMA JEFE LAB  :
JEFE LABORATORIO : ING. ORLANDO SANTAMARIA R
REFERENCIA      : FUNDICION CON LODO
Alloy : CAST_FE Mode :PP 7-Dec-2011 Time 14:35

```

```

Burn 1
Fe 90.684 C 2.531 Si 1.504 Mn 0.509 Cr> 0.396
S 0.209 S > 0.018 Al 0.023 P 0.041 Sn 0.055
Cu> 0.696 Ti 0.006 V 0.008 Mo 0.030 Zn 0.009
Ni> 0.324 Pb 0.007 Mg< 0.002

Burn 2
Fe 90.697 C 2.517 Si 1.469 Mn 0.558 Cr> 0.396
S 0.209 S > 0.018 Al 0.023 P 0.042 Sn 0.052
Cu> 0.696 Ti 0.006 V 0.008 Mo 0.031 Zn 0.009
Ni> 0.324 Pb> 0.007 Mg< 0.002

Burn 3
Fe 90.663 C 2.479 Si 1.540 Mn 0.494 Cr> 0.396
S 0.203 S > 0.018 Al 0.024 P 0.043 Sn 0.057
Cu> 0.696 Ti 0.005 V 0.008 Mo 0.029 Zn 0.010
Ni> 0.324 Pb 0.007 Mg< 0.002

Average
Fe 90.681 C 2.509 Si 1.512 Mn 0.520 Cr> 0.396
S 0.208 S > 0.018 Al 0.024 P 0.043 Sn 0.055
Cu> 0.696 Ti 0.006 V 0.008 Mo 0.030 Zn 0.009
Ni> 0.324 Pb 0.007 Mg< 0.002

```