



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y QUÍMICA INORGÁNICA

**COMPORTAMIENTO AMBIENTAL DE LODOS DE
FUNDICIÓN ESTABILIZADOS/SOLIDIFICADOS**

Alberto Coz Fernández
Santander, 2001



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y QUÍMICA INORGÁNICA

**COMPORTAMIENTO AMBIENTAL DE LODOS DE
FUNDICIÓN ESTABILIZADOS/SOLIDIFICADOS**

TESIS DOCTORAL PRESENTADA POR *ALBERTO COZ FERNÁNDEZ*
PARA OPTAR AL TÍTULO DE DOCTOR EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

Directores de tesis

Dra. ANA ANDRÉS PAYÁN

Dr. ÁNGEL IRABIEN GULIAS

Mayo, 2001

*Hay hombres que luchan un día
y son buenos.
Hay otros que luchan un año
y son mejores.
Hay quienes luchan muchos años
y son muy buenos.
Pero hay los que luchan toda la vida:
esos son los imprescindibles*

Bertolt Brecht

*A mis padres, mi hermano
y a todos aquellos que también me han enseñado a luchar.*

Deseo expresar mi agradecimiento a Ana Andrés y Ángel Irabien por haberme ayudado tanto en la realización de esta tesis y haber depositado en mí su confianza. A todos mis compañeros de trabajo, principalmente Ana, Beatriz, Carmen M., Carmen R., Cristina, Dani, David C., David G., Emilio, Eva, Fres, Gema, Jorge, José Ángel, Lorena, Manuel, María C., María F., María José, Marta M., Marta S., Pedro A., Pedro S., Raquel, Rubén, Sonia y Teresa, por su gran compañerismo y amistad. A mis amigos, con especial atención a Alfonso, Andrés, Blanca, Buba, David, Diego, Edu, Jaime, Jose, José Ángel, José Ramón, Juan, Laura S., Laura V., Luis, María, Nacho, Nuria, Pablo, Paula, Raúl, Roberto, Toni y familiares por su ayuda incondicional. A mis amores, muy especialmente a quien ya sabe. Por último, a Avelino, Felix, Marián, Merche, Lourdes, Ramón y todas las personas que han hecho posible este trabajo con mayor facilidad.

“Amigos son los que en las prosperidades acuden al ser llamados y en las adversidades sin serlo” Demetrio I.

Gracias.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo ha sido evaluar tecnologías de gestión de un residuo (lodo de fundición) de una forma ambientalmente admisible. Para ello, se ha evaluado la peligrosidad del residuo y, posteriormente, se han estudiado diferentes tratamientos previos al vertido y se ha realizado su evaluación ambiental.

El lodo de fundición es un residuo que se genera en la fundición de piezas férreas, concretamente procede del lavado húmedo de los gases del horno fusor. Es un residuo ecotóxico, lo cual puede ser atribuido a la alta concentración de cinc en el lixiviado en medio ácido y a la carga orgánica (fenoles) del mismo, pudiéndose establecer relaciones de ecotoxicidad en función de la concentración de cinc y fenoles, tanto en el residuo original como en el residuo tratado.

Entre las diferentes tecnologías de tratamiento, destacan los procesos de estabilización/solidificación con cal o cemento como agente aglomerante por su elevado interés en residuos de carácter tóxico mixto: orgánico e inorgánico, como es el lodo de fundición.

Se ha llevado a cabo un estudio exhaustivo de los diferentes aditivos utilizados en los procesos de estabilización/solidificación en función de las características del residuo con el objetivo de evaluar los más adecuados para el lodo de fundición.

Se han desarrollado diferentes formulaciones cal o cemento y aditivos/residuo con el fin de cumplir los parámetros ambientales: ecotoxicidad, movilidad de metales y carga orgánica, en diferentes escenarios de vertido, concluyéndose con la relación existente entre formulación y evaluación ambiental. Los aditivos utilizados han sido humo de sílice, carbón activo y lignosulfonato cálcico-magnésico de carácter comercial y finos de arenas de fundición y negro de humo de carácter residual.

Por último, se ha realizado un estudio del comportamiento de los productos estabilizados/solidificados en medio ácido. Los parámetros estudiados han sido: pH, conductividad, potencial de oxidación-reducción y movilidad de los metales peligrosos encontrados en el lodo de fundición en función de la acidez del medio, estableciéndose relaciones entre dichos parámetros con el objetivo de evaluar el comportamiento de estos productos en medio ácido.

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN	1
1.1.- ORIGEN E IDENTIFICACIÓN DE RESIDUOS DE FUNDICIÓN	3
1.1.1.- Descripción de los procesos de fabricación en fundición	3
1.1.2.- Identificación de los focos contaminantes	13
1.2.- VÍAS DE GESTIÓN DE LODOS DE FUNDICIÓN	15
1.3.- PROCESOS FÍSICO-QUÍMICOS DE ESTABILIZACIÓN/SOLIDIFICACIÓN	21
1.3.1.- Definiciones y mecanismos del proceso E/S	22
1.3.2.- Procesos de estabilización /solidificación y aplicaciones.....	24
1.3.3.- Procesos E/S de compuestos orgánicos o mezclas inorgánicos-orgánicos	36
1.4.- COMPORTAMIENTO AMBIENTAL DEL RESIDUO E/S EN CONDICIONES DE VERTIDO.....	47
1.4.1.- Limitaciones de vertido. Normativas.....	47
1.4.2.- Comportamiento en función de la acidez del medio	55
2.- MÉTODO EXPERIMENTAL	57
2.1.- TÉCNICAS Y MÉTODOS EXPERIMENTALES SOBRE RESIDUOS.....	59
2.1.1.- Métodos físicos: humedad, volumen relativo y pérdidas por ignición	59
2.1.2.- Métodos químicos: carbono orgánico total (COT)	60
2.1.3.- Ensayo de digestión total.....	61
2.2.- TÉCNICAS Y MÉTODOS EXPERIMENTALES SOBRE LIXIVIADOS.....	63
2.2.1.- Ensayos de lixiviación: TCLP y DIN 38414-S4	63
2.2.2.- Ensayo de capacidad de neutralización ácida.....	67
2.2.3.- Determinación de la ecotoxicidad. Ensayo de bioluminiscencia.....	70
2.2.4.- Determinación de parámetros químicos: pH, conductividad, potencial redox, carbono orgánico total, compuestos fenólicos, compuestos orgánicos halogenados adsorbibles, concentración de metales, concentración de aniones	71
2.3.- DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS DE SECADO, CO-DEPOSICIÓN Y ESTABILIZACIÓN/SOLIDIFICACIÓN	83
2.3.1.- Estabilización con óxido de calcio y finos de arenas de fundición.....	87
2.3.2.- Estabilización/solidificación con cemento Portland y finos de arenas de fundición	89
2.3.3.- Estabilización/solidificación con cal o cemento y aditivos específicos.....	91
3.- RESULTADOS E INTERPRETACIÓN	95
3.1.- ESTIMACIÓN DE LOS CONTAMINANTES GENERADOS EN FUNDICIÓN	97
3.2.- CARACTERIZACIÓN DEL LODO DE FUNDICIÓN	109
3.2.1.- Composición del lodo de fundición	109
3.2.2.- Compuestos orgánicos peligrosos en el lodo de fundición: fenoles	114
3.2.3.- Peligrosidad del lodo de fundición	116

3.3.- EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN AMBIENTAL DEL LODO DE FUNDICIÓN	123
3.3.1.- Análisis y evaluación ambiental del secado al aire.....	125
3.3.2.- Análisis y evaluación ambiental de la co-deposición	130
3.4.- DESARROLLO DE PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN /SOLIDIFICACIÓN DE LODOS DE FUNDICIÓN	135
3.4.1.- Estabilización con óxido de calcio y finos de arenas de fundición.....	136
3.4.2.- Estabilización/solidificación con cemento Portland y finos de arenas de fundición	158
3.4.3.- Estabilización/solidificación con aditivos específicos.....	175
3.5.- VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA ECOTOXICIDAD DEL LODO DE FUNDICIÓN Y SUS PRODUCTOS E/S.....	194
3.6.- COMPORTAMIENTO EN MEDIO ÁCIDO DE LOS PRODUCTOS ESTABILIZADOS/SOLIDIFICADOS ...	197
3.6.1.- Resultados de pH, conductividad y potencial redox	198
3.6.2.- Movilidad de metales	208
3.6.3.- Evaluación ambiental de los resultados de E/S en base al comportamiento en medio ácido	222
4.- CONCLUSIONES.....	229
5.- BIBLIOGRAFÍA.....	235
<u>ANEXO I. ADITIVOS EN E/S CON CAL O CEMENTO</u>	
<u>ANEXO II. CANTIDADES DE LIGNOSULFONATO, HUMO DE SÍLICE Y CARBÓN ACTIVO UTILIZADOS COMO ADITIVOS EN E/S</u>	