



UNIVERSITAT DE BARCELONA



DEPARTAMENT DE CIÈNCIA DELS MATERIALS I  
ENGINYERIA METAL·LÚRGICA

PROGRAMA DE DOCTORAT D'ENGINYERIA DEL MEDI  
AMBIENT I DEL PRODUCTE.  
DEPARTAMENT D'ENGINYERIA QUÍMICA I METAL·LÚRGIA.  
BIENNI 2.002 – 2.004

**CARACTERIZACIÓN DE POLVOS DE  
FUNDICIÓN DE COBRE Y ESTABLECIMIENTO  
DE RUTAS DE PROCESADO**

Autor: ALEJANDRO MORALES SOTO

Directores:  
Dra. Montserrat Cruells Cadevall  
Dr. Antoni Roca Vallmajor

Barcelona, octubre 2.006

La Dra. Montserrat Cruells Cadevall, Profesora Titular del Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica de la Universidad de Barcelona, y el Dr. Antoni Roca Vallmajor, Catedrático del Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica de la Universidad de Barcelona,

HACEN CONSTAR:

Que el trabajo titulado "***Caracterización de polvos de fundición de cobre y establecimiento de rutas de procesado***" ha sido realizado en el Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica, por Alejandro Morales Soto, y constituye su memoria de Tesis Doctoral.

Que como directores del trabajo, autorizan la presentación en la Facultad de Química, para quien lo ha realizado pueda obtener el grado de Doctor.

Barcelona, Septiembre de 2.006

Dra. Montserrat Cruells Cadevall

Dr. Antoni Roca Vallmajor

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Barcelona por aceptarme en su programa del Tercer Ciclo y facilitarme la prosecución correcta del mismo.

A la Universidad Católica del Norte por autorizarme a acceder a este programa y financiar los gastos involucrados del mismo.

A mis colegas del Departamento de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Católica del Norte por el apoyo que me han brindado en estos años de duración del programa.

A la Dra. Monserrat Cruells, profesora y guía, quien con su calidez humana me fortaleció el ánimo para proseguir el programa y ha aportado muchísimo de su tiempo para el término de este trabajo.

Al Dr. Antoni Roca, profesor y guía, quien ha tenido un aporte fundamental en la génesis, en la dirección y en la finalización de este trabajo y por su gran ecuanimidad y paciencia para gran trabajar conmigo.

Al Dr. Joan Viñals, quien me ha maravillado por su entusiasmo por la mineralogía y su acogida al programa de doctorado.

A Esther Vilalta que entregó un grandísimo aporte en el trabajo experimental de este trabajo.

Al personal de los Serveis Científicotècnics de la UB que de diferentes maneras han apoyado mi trabajo de caracterización de los diferentes materiales que tuve que analizar. Mis especiales agradecimientos a la gente del MEB dirigidos por Ramón Fontarnau.

# INDICE

	Pag.
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes sobre los polvos de fundición de cobre	1
1.1.1. Génesis de los polvos de fundición de cobre	1
1.1.2. Caracterización de los polvos de fundición	3
1.1.3. Procesos de tratamiento de los polvos de fundición	6
1.2 Objetivo del trabajo	22
2. MATERIALES Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.	25
2.1. Descripción de los materiales y de su procedencia	25
2.2. Técnicas de caracterización	34
2.2.1. Técnicas para la caracterización de sólidos	34
2.2.2. Técnicas para la caracterización de disoluciones	37
2.3. Reactividad de los polvos de fundición de cobre	37
2.3.1. Lixiviación de los polvos de fundición con agua	37
2.3.2. Lixiviación en medio ácido o alcalino de los residuos de la lixiviación con agua	38
2.4 Separación magnética	39
2.5. Hidrociclonado	40
2.6. Inertización de los residuos	43
2.7. Rutas de procesado de los polvos de fundición de cobre	44
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
3.1. Caracterización de los polvos de fundición	45

3.1.1. Determinación de la humedad	45
3.1.2. Caracterización por fluorescencia de rayos X	45
3.1.3. Caracterización por difracción de rayos X	46
3.1.4. Caracterización por microscopía electrónica de barrido y energía dispersiva de rayos X	50
3.2. Reactividad de los polvos de fundición	65
3.2.1. Lixiviación con agua	65
3.2.2. Lixiviación en medio ácido o básico de los residuos de la lixiviación con agua	79
3.2.2.a. Lixiviación con ácido nítrico	79
3.2.2.b. Lixiviación con ácido sulfúrico	86
3.2.2.c. Lixiviación con ácido clorhídrico	91
3.2.2.d. Lixiviación con hidróxido de sodio	97
3.2.2.e. Lixiviación con hidróxido de amonio	102
3.2.3. Discusión de resultados de caracterización y reactividad	107
3.3 Separación magnética aplicada a los polvos de fundición de cobre	113
3.4. Hidrociclizado de los polvos de fundición de cobre	116
3.4.1 Caracterización granulométrica de los polvos de fundición de cobre	116
3.4.2. Separación granulométrica de los residuos	120
3.4.2.a Proceso de separación en ciclosizer	120
3.4.2.b Caracterización de las fracciones de tamaño por fluorescencia de rayos X	121
3.4.2.c Caracterización de las fracciones de tamaño por difracción de rayos X	131
3.4.2.d Caracterización de las fracciones de tamaño por microscopía electrónica de barrido y microanálisis EDX	138

3.4.3. Discusión de resultados de la separación granulométrica	141
3.5. Inertización de residuos	142
3.5.1. Caracterización de residuos mediante análisis de metales	143
3.5.2. Caracterización de residuos mediante el test de lixiviación normalizado	145
3.5.3. Inertización de residuos y caracterización mediante el test de lixiviación normalizado	149
4. RUTAS DE PROCESADO DE LOS POLVOS DE FUNDICIÓN DE COBRE	157
4.1. Ruta I: Lixiviación con agua, separación granulométrica e inertización de la fracción fina de los polvos de fundición	157
4.2. Ruta II: Lixiviación con ácido sulfúrico e inertización de la fracción fina de los polvos de fundición	163
5. CONCLUSIONES	
5.1 Caracterización de los polvos de fundición de cobre	167
5.2. Reactividad de los polvos de fundición de cobre	168
5.3. Separación magnética de los polvos de fundición de cobre	169
5.4. Hidrociclado de los polvos de fundición de cobre	169
5.5. Inertización de residuos	170
5.6. Rutas de tratamiento de los polvos de fundición de cobre	171
6. BIBLIOGRAFÍA	172
ANEXOS	185

