

Guías Tecnológicas

Directiva 96/61 relativa a la prevención
y control integrados de la contaminación

Epígrafe 2.5

Metalurgia del cobre



Fundación Entorno
Empresa y Medio Ambiente

Ministerio de Industria
y Energía


Miner

★ 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Objeto del documento

La presente Guía resume el estudio de prospección tecnológica del sector de la metalurgia del cobre con objeto de recoger los aspectos más relevantes del Informe Tecnológico de manera que las personas interesadas puedan disponer de un documento de consulta más manejable.

En caso de estar interesado en consultar el documento completo puede solicitarlo dirigiéndose por escrito a:

Fundación Entorno, Empresa y Medio Ambiente
C/Padilla 17, ático. 28006 - Madrid
Telf. 91-575 63 94; Fax. 91-575 77 13
e-mail: administrador@fundacion-entorno.org

1.2 Metodología de trabajo

Tras contactar con las diferentes asociaciones empresariales y demás entidades con competencias en los sectores industriales seleccionados, se diseñó la siguiente metodología de trabajo para la elaboración de estos estudios:

Fase I: Informe Preliminar. Se realizó un primer informe con el objetivo de definir el ámbito de estudio e identificar las actividades incluidas en cada epígrafe. Ello permitió llevar a cabo para cada sector un informe previo sobre la situación tecnológico-ambiental que serviría de base para el trabajo a realizar directamente con las empresas en una fase posterior. Estos documentos quedaron recogidos en un CD-Rom y fueron distribuidos a las partes interesadas.

Fase II: Mesas de trabajo. Con objeto de poder contar con la opinión directa de las empresas, se convocaron distintas reuniones sectoriales de trabajo con el objetivo principal de discutir el contenido del Informe elaborado en la fase anterior. Además, en estas sesiones pudimos proporcionar a las empresas información sobre el desarrollo de los trabajos realizados para la definición de las Mejores Técnicas Disponibles (MTD's) del sector.

Fase III: Trabajo de campo. Las jornadas de trabajo y el compromiso adquirido por las organizaciones empresariales, nos ayudaron a contactar con empresas representativas de cada sector para la realización de visitas en las que, con la ayuda de un cuestionario, se recopilaban una serie de datos que pudieron ser comprobados in situ por nuestros asesores. La amplitud y relevancia del estudio requirió que la muestra de empresas a visitar pudiera ser extrapolable a la globalidad del sector, por lo que se diseñaron los siguientes criterios de selección:

Nº CENTROS	EPÍGRAFE 2.5.a (1)		EPÍGRAFE 2.5.b (2)
	M.Primaria	M.Secundaria	
VISITADOS	1	1	-
AFFECTADOS	1	1	9

(1) 2.5.a Instalaciones para la producción de metales en bruto no ferrosos a partir de minerales, concentrados o materias primas secundarias mediante procedimientos metalúrgicos, químicos o electrolíticos.

(2) 2.5.b Instalaciones para la fusión de metales no ferrosos, inclusive la aleación, incluidos los productos de recuperación (refinado, moldeado en fundición) con una capacidad de fusión de más de 4 T/día para el plomo y el cadmio y 20 T/día para todos los demás metales.

Fase IV: Informes Tecnológicos. La información recopilada en las fases anteriores fue analizada y evaluada para la confección del Informe Tecnológico objeto del programa. Para que este documento constituyera una potente herramienta en las negociaciones para la determinación de las MTD's, los informes se diseñaron siguiendo un esquema similar a los documentos de referencia que se elaborarán en el Institute for Prospective Technological Studies (JRC-IPTS). Estos documentos están a disposición del público en formato CD-Rom.

Fase V: Difusión. Uno de los objetivos que dan sentido a este proyecto es contar con la opinión directa de los industriales, ya que son pocas las veces en que la negociación precede a la norma. Por ello, además de la edición y distribución gratuita, tanto de los Informes Preliminares como de los Finales, se ha participado en diferentes foros profesionales para difundir los resultados del estudio.

Fase VI: Guías Tecnológicas. Para que las personas interesadas puedan disponer de una información más manejable y de documentos de discusión para los distintos foros, se han confeccionado las Guías Tecnológicas que resumen los aspectos más significativos del estudio.

1.3 Estructura de la Guía

1. **Introducción.** Presentación, objetivos, metodología, estructura del documento.
2. **La Industria del sector en España.** Visión general del estado de la industria en España, actividades e instalaciones afectadas por la Directiva.
3. **Descripción general del proceso productivo.** Diagrama de flujo y descripción de los problemas medioambientales.
4. **Características especiales del proceso productivo.** Descripción detallada de las etapas críticas desde el punto de vista medioambiental.
5. **Criterios de selección de las MTD's.** Aspectos a tener en cuenta para la selección de las MTD's, tomando como referencia la capacidad productiva marcada y los anexos III y IV de la Directiva.
6. **Técnicas disponibles.** Resumen de las técnicas productivas con relevancia a la hora de definir las MTD's y evaluación general de las mismas.
7. **Técnicas disponibles para el control de emisiones.** Resumen de las técnicas correctivas y evaluación general de las mismas.
8. **Mejores Técnicas Disponibles.** Resumen de la información agrupando las diferentes técnicas estudiadas.
9. **Técnicas emergentes.** Resumen de las técnicas en desarrollo para un nivel de control de la contaminación igual o superior al actualmente en uso.
10. **Conclusiones y recomendaciones.** Consecuencias de la aplicación de las MTD's en cada una de las actividades, y recomendaciones para facilitar el cambio tecnológico.

1.4 Entidades participantes

Las entidades que han colaborado en la realización de este estudio han sido la Unión Nacional de Industrias del Cobre (UNICOBRE), la Confederación Española de Organizaciones Empresariales del Metal (CONFEMETAL) y empresas del sector.

★ 2. LA INDUSTRIA DE LA METALURGIA DEL COBRE EN ESPAÑA

2.1 Panorama general del sector

Niveles de producción

La evolución del sector español del cobre refleja un aumento considerable en los ritmos productivos debido a la entrada en funcionamiento de la ampliación de las instalaciones de fundición y refinado electrolítico.

Tras esta ampliación, las grandes instalaciones españolas vienen a situarse entre las primeras fundiciones y refinarias de cobre de Europa y del mundo por su capacidad de fundición, con 289.000 T de cobre producidas en 1997 en la planta de Huelva convirtiéndose en la primera de Europa y la quinta mundial.

	PRODUCCIÓN DE COBRE (TONELADAS)				
	1992	1993	1994	1995	1996
Cobre refinado	179.100	179.200	188.300	164.200	264.000
Semitransformados de cobre	205.200	214.700	249.700	254.000	260.500

Fuente: Informe sobre la industria española 1997. MINER.

El panorama de la industria española del cobre presentó durante 1996 algunas peculiaridades frente a la evolución mundial, con comportamientos muy diferenciados en los dos subsectores que lo forman: el fundidor refinador y el semi-transformador.

La producción de cobre refinado (electrolítico y de afino térmico) alcanzó en el año 1997 la cifra de 291.600 T, lo que representa un incremento de más del 10% sobre las 264.000 T del año 1996, que destaca todavía más cuando se compara con las 164.000 T producidas en 1995. Es decir, en dos años el aumento ha sido del 78%. En el porcentaje de variación sobre el año 1995 ha influido, como ya hemos mencionado, principalmente la entrada en funcionamiento de las nuevas inversiones en las instalaciones más importantes del sector. Esta circunstancia ha incrementado la producción y ha asegurado la continuidad de los ritmos productivos, interrumpidos temporalmente durante 1995 para acometer la realización de esas inversiones.

En lo que respecta a la producción de semitranformados del cobre y sus aleaciones, es de señalar que la producción en 1997 experimentó un incremento del 9% frente al año anterior, aumentando la producción de 261.000 T a 285.000 T.

Comercio exterior

La exportación de cobre refinado alcanzó en 1997 la cifra de 107.000 T, es decir, un incremento del 24% sobre las 86.000 T de 1996. Por su parte, las importaciones de cobre refinado sin elaborar se redujeron desde 21.000 T en 1996 a 12.400 T en 1997, es decir, una disminución del 42%.

Con estas cifras, el consumo aparente que resulta es de 197.000 T si bien, con datos reales, el consumo interior de cobre refinado en España durante 1997 fue de 203.000 T, lo que representa un incremento del 6% sobre las 191.000 T de consumo interior en 1996. La diferencia del 1% entre las cantidades reales y las del consumo aparente (producción + importación - exportación), es debida al tratamiento estadístico que se da a las operaciones de entrada y salida de los almacenes del LME (Bolsa de Metales de Londres) en los depósitos francos.

También en el subsector de semitransformación el comercio exterior sufrió un significativo incremento de las exportaciones, que fueron de 115.500 T en 1997, lo que equivale a un 17% más que en 1996. La importación alcanzó las 165.900 T, lo que representa un incremento del 7% respecto al año anterior.

El consumo aparente de semitransformados fue de 335.300 T, es decir, un 6% más que las 317.100 T de 1996. Este consumo ha estado abastecido en un 49% por las importaciones, porcentaje prácticamente idéntico al del año anterior.

Evolución de los precios

En cuanto a la evolución de los precios es bien sabido que están definidos prácticamente en su totalidad (si se trata de cobre refinado sin elaborar) por la cotización del cobre en la LME.

En 1997, dicha cotización experimentó variaciones muy importantes. Empezó el año a 2.255 dólares/T con una tendencia ascendente que lo llevó a los 2.714 dólares/T el día 19 de junio, para iniciar a partir de esa fecha, un mantenido y fuerte descenso acabando el año con una cotización de 1.724 dólares/T. Es decir, una caída del 36% en poco más de seis meses. El descenso continuó durante los primeros meses de 1998 hasta los 1.606 dólares/T (25 de febrero).

Según los analistas de mercados, este importante descenso se debe al fuerte aumento de las capacidades de producción de los últimos años y de las previstas para los próximos especialmente en el sector minero, lo que hace pensar que se producirán grandes excedentes y los consiguientes aumentos de existencias.

La cotización media que en 1996 había sido de 2.290 dólares/T, en 1997 quedó en 2.276 dólares/T, equivalentes a 335 Pts/Kg, lo que representa un aumento del 15% sobre el precio medio en pesetas de 1996. Como fácilmente puede deducirse, el aumento del precio ha sido debido al del cambio dólar/Pts que en 1996 fue de 126,8 Pts/dólar de media y en 1997 de 146,6 Pts/dólar.

2.2 Actividades e instalaciones afectadas por la Directiva 96/61

Bajo la definición del epígrafe 2.5.a están afectadas las actividades relacionadas con la metalurgia del cobre primaria y secundaria, entendiéndose como metalurgia primaria la producción de cobre a partir de minerales o concentrados de minerales y secundaria la producción de cobre a partir de materias primas secundarias como chatarras o residuos de otros procesos metalúrgicos.

Por otro lado, la definición del epígrafe 2.5.b, hace referencia al sector de transformación del cobre, estando afectados por este epígrafe los semitransformadores cuya capacidad de fusión sea superior a 20 T/día.

En términos del CNAE-93, este sector agrupa las siguientes categorías:

- 2742: Producción y primera transformación de cobre.
- 2840: Forja, estampación y embutición de metales, metalurgia de polvos.

Dentro de la industria del cobre, se encuentran representados un elevado número de sectores industriales que consumen este metal en sus diferentes aplicaciones entre los que destacan:

- Industria eléctrica
- Transporte
- Maquinaria-equipos
- Construcción

Según los datos facilitados por UNICOBRE, el total de centros afectados por la Directiva son 11, de los cuales únicamente dos empresas están afectadas por el epígrafe 2.5.a, caracterizándose una de ellas por la producción de cobre a partir de mineral (Andalucía) y la otra por empleo de materias primas secundarias (País Vasco).

El resto de centros están afectados por el epígrafe 2.5.b. Se trata de semitransformadores de cobre dedicados a la producción de alambón, tochos y tubos, entre otros. Los centros afectados se encuentran distribuidos en Andalucía, Cataluña, País Vasco y Principado de Asturias.

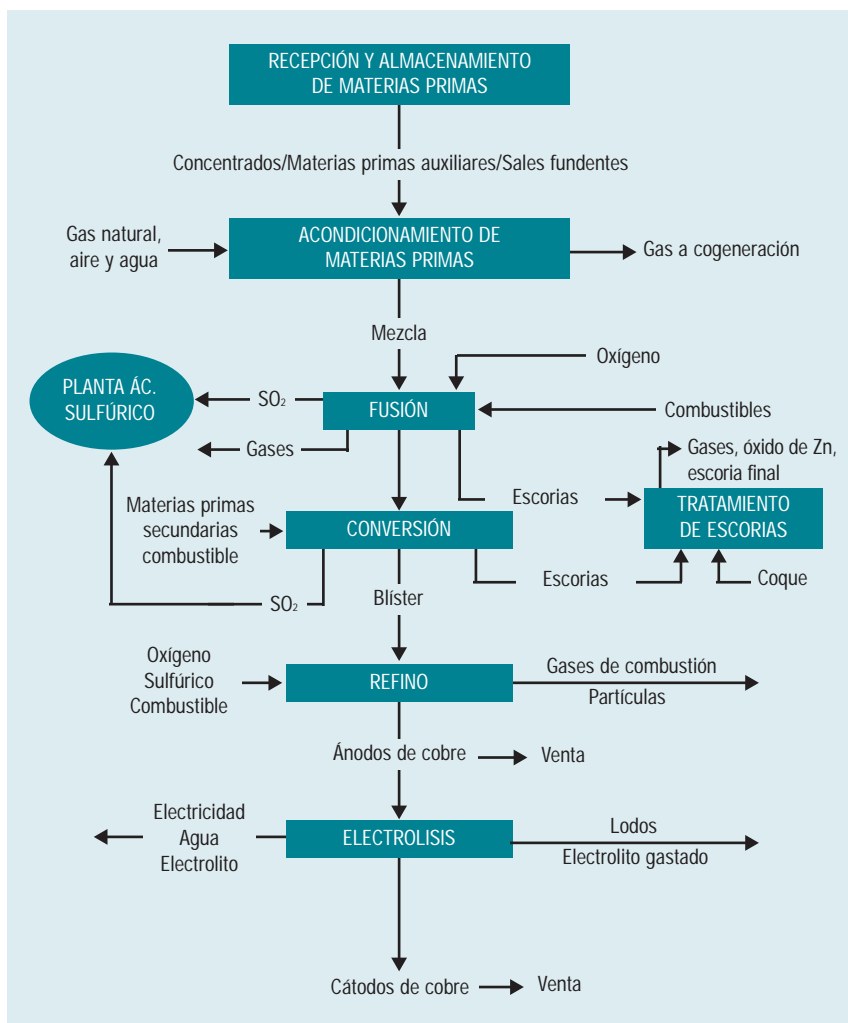
★ 3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO PRODUCTIVO

3.1 Diagrama de proceso

Cobre primario

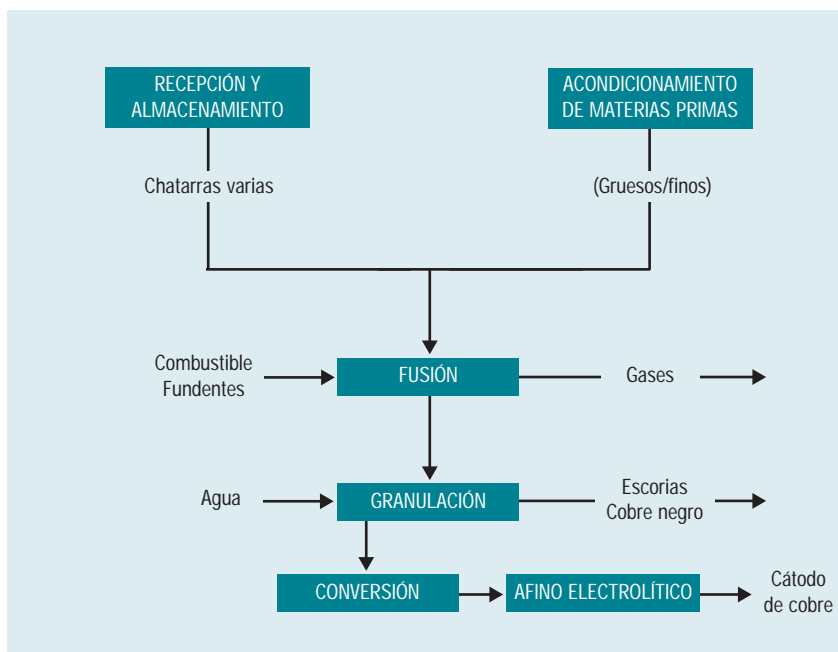
El cobre primario puede producirse mediante procesos hidrometalúrgicos o pirometalúrgicos, dependiendo del tipo de carga usada. En España, la obtención de cobre se realiza mediante procesos pirometalúrgicos, fundamentados en la descomposición de minerales sulfurados complejos de hierro y cobre, seguida por una oxidación selectiva y separación del hierro, y finalmente una oxidación del sulfuro de cobre excedente. Prácticamente todo el azufre contenido en el concentrado original se transforma en SO₂.

El esquema general de la producción de cobre primario se resume en el siguiente diagrama de proceso:



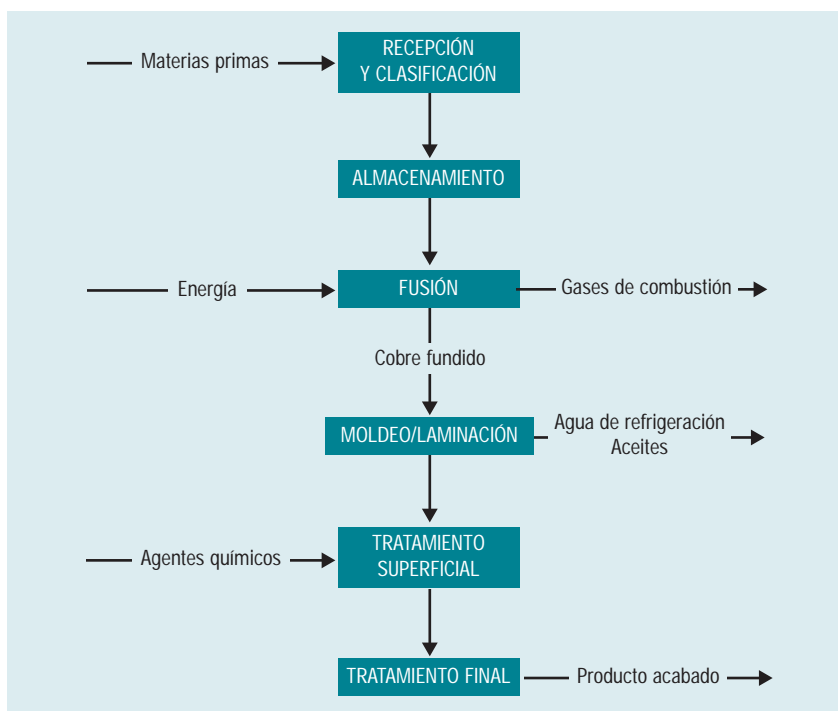
Cobre secundario

A continuación se detalla el diagrama de flujo general para la producción de cobre a partir de materias primas secundarias como chatarras o residuos de otros procesos metalúrgicos.



Transformación de cobre

Este apartado hace referencia a la industria de semitransformados del cobre y sus aleaciones, que incluye la fabricación de productos como el alambón, laminados y tubos, entre otros. Aunque las empresas de semitransformados no presentan un proceso tipo, ya que dependen de las materias primas de partida, se puede tomar como referencia el siguiente:



3.2 Problemática medioambiental

La producción de metales no férreos en general, y en particular la producción de cobre, es una fuente potencial de contaminación del aire, suelo y agua. Además, sustancias ecotóxicas y elementos como el plomo, el mercurio y el arsénico están casi siempre presentes en las materias primas y cuando se utilizan chatarras que contienen materia orgánica, se pueden producir emisiones de contaminantes orgánicos persistentes (dioxinas, PCB's).

Durante el proceso de obtención del cobre, se emplean grandes cantidades de agua pero su eliminación no conlleva prácticamente problemas, ya que en su mayoría se reciclan al proceso.

En este apartado se expone de forma general y esquemática para cada una de las etapas del proceso productivo, la problemática medioambiental y las correspondientes afecciones, destacando en verde aquellas que hacen necesaria la implantación de MTD's.

Cobre primario

ETAPA	PROBLEMÁTICA MEDIOAMBIENTAL	AFECCIÓN
RECEPCIÓN,ALMACÉN Y ACONDICIONADO DE MAT. PRIMAS		Irrelevante
FUSIÓN	C. ATMOSFÉRICA	Gases de combustión y SO ₂
	C.RESIDUOS	Filtros,refractarios y escorias
CONVERSIÓN	C. ATMOSFÉRICA	Gases de combustión y SO ₂
	C.RESIDUOS	Refractarios y escorias
REFINO	C. ATMOSFÉRICA	Gases de combustión y partículas
ELECTRÓLISIS	C. HÍDRICA	Aguas ácidas
	C.RESIDUOS	Lodos de cubas y electrolito gastado

Cobre secundario

ETAPA	PROBLEMÁTICA MEDIOAMBIENTAL	AFECCIÓN
RECEPCIÓN,ALMACÉN Y ACONDICIONADO DE MAT. PRIMAS		Irrelevante
FUSIÓN	C. ATMOSFÉRICA	Gases de combustión,dioxinas, COV's,SO ₂ y partículas
CONVERSIÓN	C. ATMOSFÉRICA	Gases de combustión,dioxinas,COV's y SO ₂
	C.RESIDUOS	Refractarios y escorias
REFINO	C. ATMOSFÉRICA	Gases de combustión,dioxinas y partículas
ELECTRÓLISIS		Irrelevante

Transformados de cobre

ETAPA	PROBLEMÁTICA MEDIOAMBIENTAL	AFECCIÓN
RECEPCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS		Irrelevante
FUSIÓN	C. ATMOSFÉRICA	Gases de combustión,y partículas
MOLDEO/LAMINACIÓN Y TRATAMIENTO SUPERFICIAL	C.RESIDUOS	Escorias
	C.HÍDRICA	Aguas ácidas

★ 4. CARACTERÍSTICAS ESPECIALES DEL PROCESO PRODUCTIVO

En este apartado se recogen las características más relevantes de las etapas de proceso que han sido analizadas en el estudio con especial dedicación, dado su impacto medio ambiental, para cuya reducción se recomienda la aplicación de una MTD.

Estas tecnologías se recomiendan fundamentalmente para las etapas de fusión, conversión y electrólisis de la producción de cobre primario y para la etapa de fusión y tratamientos superficiales en la producción de cobre secundario.

4.1 Cobre primario

Etapa: Fusión

CONSUMOS	CARACTERIZACIÓN	CANTIDAD	OBSERVACIONES
Materias primas	Mezcla de concentrados de minerales de cobre	7.000-10.000 T/día	Con un 30% de Cu y un 0.2% de humedad después del proceso de secado previo.
Materias secundarias	Oxígeno	40-60%	El nivel de enriquecimiento del aire depende de la mezcla de concentrados. Con esta práctica se evita el consumo de combustible adicional dentro de la cámara de reacción.
	Fundentes	N.D.	-
Energía	Fuel-oil	N.D.	El fuel-oil se utiliza exclusivamente para compensar las pérdidas térmicas en el reposador, manteniendo caliente el baño fundido.

EFFECTO M.A.	ASPECTO M.A.	CARACT.	CANTIDAD	TRATAMIENTO ACTUAL	OBSERVACIONES
Residuos	Filtros y refractarios	RP	N.D.	Gestor autorizado	Procedentes del sistema de tratamiento de gases
	Escorias	RI	50% de materia prima (1)	Horno eléctrico (2)	La escoria final se granula con agua para obtener un producto con aplicaciones industriales (relleno y cemento).
C. Atmosférica	Gases de combustión	Partículas	6% de lo alimentado	Enfriamiento, depuración y filtración. Recuperación SO ₂ en planta de sulfúrico	-
		COx	N.D.		
		NOx	N.D.		
		SO ₂ (3)	6.600-16.000 gr/T		

(1) Dato referido a la totalidad del proceso.

(2) Para reducir el contenido en Cu desde el 2-6% hasta el 1%.

(3) Corresponde al 20-25% del total de gases generados en el proceso.

Etapa: Conversión

CONSUMOS	CARACTERIZACIÓN	CANTIDAD	OBSERVACIONES
Materias primas	Mata fundida	1.440 T/día	Contenido de Cu:60-65%
Materias secundarias	Chatarra, materiales reciclados del proceso	N.D.	-
	Oxígeno	<40 %	
Energía	Combustible	N.D.	Para mantener la temperatura de trabajo

EFFECTO M.A.	ASPECTO M.A.	CARACT.	CANTIDAD	TRATAMIENTO ACTUAL	OBSERVACIONES
Residuos	Refractarios	RP	N.D.	Gestor autorizado	Procedentes del sistema de tratamiento de gases
	Escorias	RI	50% de materia prima (1)	Horno eléctrico	Reducción del contenido en Cu desde el 2-6% al 1% (2)
C.Atmosférica	Gases de combustión	Partículas	N.D.	Enfriamiento, depuración y filtración.	Los gases se enfrían en cámaras de evaporación (una por convertidor)
		COx			
		NOx			
		SO ₂	5-10% del total de gases (1)	Recuperación en planta de sulfúrico.	-

(1) Dato referido a la totalidad del proceso.

(2) La escoria final se granula con agua para obtener un producto con aplicaciones industriales (relleno y cemento).

Etapa: Electrólisis

CONSUMOS	CARACTERIZACIÓN	CANTIDAD	OBSERVACIONES
Materias primas	Ánodos de cobre Electrolito	345 Kg/unidad	Procedentes de refinado del crudo y posterior moldeo
Materias secundarias	Agua	N.D.	-
Energía	E.Eléctrica	300-400 KW/T Cu	-

EFFECTO M.A.	ASPECTO M.A.	CARACT.	CANTIDAD	TRATAMIENTO ACTUAL	OBSERVACIONES
Residuos	Lodos de las cubas	RP	N.D.	Recuperación metales preciosos (Au,Ag)	Recuperación por centrifugación, filtración y evaporación
	Electrolito gastado			Recuperación del Cu	Recuperación mediante un proceso de cementación
C.Atmosférica	Partículas de Ni			-	Es recuperable
C.Hídrica	Aguas ácidas	-		-	-

4.1 Cobre secundario

Etapa: Fusión

CONSUMOS	CARACTERIZACIÓN	CANTIDAD	OBSERVACIONES
Materias primas	Chatarras (de Cu y latón) y aleaciones de Cu	70-80% Cu	-
	Gruesos/finos	90-98% Cu	
Materias secundarias	Fundentes	N.D.	La proporción de fundentes depende de las características de la materia prima.
Energía	Gas natural (el más utilizado)	N.D.	Los consumos dependen del tipo de horno y el tamaño de la carga.

EFFECTO M.A.	ASPECTO M.A.	CARACT.	CANTIDAD	TRATAMIENTO ACTUAL	OBSERVACIONES
Residuos	Escorias	RI	35-45% de mat. prima (1)	-	-
C.Atmosférica	Gases de combustión	Partículas	100-1.000 gr/T Cu	Enfriamiento y filtración	Metales recuperables: As, Sb, Cd, Hg, Pb y Zn (estos dos últimos en proporciones de hasta un 65%)
		COV's	5-100 gr/T Cu		
		COx	N.D.		-
		NO			
	Dioxinas	-	N.D.	Eliminación previa de materiales grasos y plásticos. Postquemador seguido de enfriamiento rápido	Su generación depende de la cantidad de materiales grasos y plásticos de la materia prima

(1) Dato referido a la totalidad del proceso.

Etapa: Conversión y electrólisis

Estas dos etapas son similares a la producción de cobre primario, excepto en la etapa de conversión, en la cual no se utiliza oxígeno sino coque como agente reductor y como combustible para compensar las pérdidas de calor del proceso.

4.3 Transformados de cobre

Etapa: Fusión

CONSUMOS	CARACTERIZACIÓN	CANTIDAD	OBSERVACIONES
Materias primas	Chatarras de Cu	90-98% en Cu	La chatarra debe tener un elevado contenido en Cu
	Cátodos de Cu,Cu refinado y aleaciones	N.D.	-
Materias secundarias	Fundentes	N.D.	La proporción a utilizar dependerá de las características de la materia prima.
Energía	Gas natural.	N.D.	Es el más utilizado.Los consumos dependerán del tipo de horno y el tamaño de la carga.

EFFECTO M.A.	ASPECTO M.A.	CARACT.	CANTIDAD	TRATAMIENTO ACTUAL	OBSERVACIONES
Residuos	Escorias	R.I.	N.D.	Recuperación metales preciosos	Oro y plata
C.Atmosférica	Partículas	Contiene Zn si utilizan aleaciones		Colectores y sistemas de depuración. Reducción del contenido de Zn,controlando la temperatura. Recuperación de Zn con separadores.	El tratamiento depende del tipo de materia prima y del grado de contaminación que presente
		CO	>5%	Postquemador con recuperación de calor	Tras el tratamiento la cantidad de CO es <100 mg/Nm ³

Etapa: Moldeo laminación y tratamiento superficial

CONSUMOS	CARACTERIZACIÓN	CANTIDAD	OBSERVACIONES
Materias primas	Metal fundido	N.D.	-
Materias secundarias	Aceites y lubricantes	N.D.	Para los equipos de estampación
Energía	Gas Natural y fuel-oil	N.D.	-

EFFECTO M.A.	ASPECTO M.A.	CARACT.	CANTIDAD	TRATAMIENTO ACTUAL
Residuos	Aceites usados	RP	N.D.	Neutralización en línea de desengrase
C.Atmosférica	Partículas	Contienen metales	Media	Recuperación de metales con separadores
C.Hídrica	Agua contaminada	Contiene aceites,metales y sólidos en suspensión	N.D.	Depuración

★ 5. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE MTD'S

El primer criterio ha sido la limitación de la aplicación de la Directiva al sector de semitransformadores en cuanto al tamaño de las instalaciones afectadas, cuya capacidad en hornos debe ser superior a 20 T/día.

El segundo criterio, el cual está reflejado en el Anexo III de la Directiva, es una lista indicativa de las principales sustancias contaminantes en el sector de producción de cobre tanto primaria como secundaria que se tomarán en cuenta obligatoriamente, y si es pertinente se fijarán valores límites de emisión en:

- Oxidos de azufre y otros compuestos de azufre.
- Oxidos de nitrógeno y otros compuestos de nitrógeno.
- Monóxido de carbono.
- Metales y sus compuestos.
- Polvos y partículas.
- Flúor y sus compuestos.
- Policlorodibenzodioxinas y Policlorodibenzofuranos.
- Materias en suspensión vertidas al agua
- Metales y sus compuestos vertidos al agua

Asimismo se han considerado algunos criterios recogidos en el Anexo IV de la Directiva, como:

- Uso de técnicas que minimicen la generación de residuos.
- Uso de sustancias menos peligrosas a las empleadas en la actualidad.
- Desarrollo de técnicas de recuperación y reciclado de sustancias generadas y utilizadas en el proceso y de los residuos cuando proceda.
- Procesos, instalaciones o métodos de funcionamiento comparables que hayan dado pruebas positivas a escala industrial.
- Avances técnicos y evolución de los conocimientos científicos.
- Carácter, efectos y volumen de las emisiones de que se trate.
- Fechas de entrada en funcionamiento de las instalaciones nuevas o existentes.
- Plazo que requiere la instauración de una mejor técnica disponible.
- Consumo y naturaleza de las materias primas (incluida el agua) utilizada en procedimientos de eficacia energética.
- Necesidad de prevenir o reducir al mínimo el impacto global de las emisiones y de los riesgos en el medio ambiente.
- Necesidad de prevenir cualquier riesgo de accidente o de reducir las consecuencias para el medio ambiente.
- Información publicada por la Comisión en virtud del apartado 2 del artículo 16 o por organizaciones internacionales.

Por último, se tendrá en cuenta el impacto sobre la economía sectorial y general del ámbito geográfico determinado que supone la implantación de una MTD.

★ 6. TÉCNICAS DISPONIBLES

En este apartado se presentan tablas que resumen de forma comparativa (en caso de existir más de una técnica) las diferentes técnicas productivas utilizadas para las etapas relevantes a la hora de definir las MTD's.

6.1 Cobre primario

Los concentrados de minerales de cobre (piritas cupríferas y la calcopirita) son tratados casi exclusivamente por procesos pirometalúrgicos, aunque existen desarrollos piloto sobre la aplicación de procesos hidrometalúrgicos.

Etapa: Fusión

ASUNTO A EVALUAR		TIPO DE HORNO		
		DE REVERBERO	FLASH DE OUTOKUMPU	FLASH DE INCO
Consumo de materiales	Concentrados de Cu	N.D.	3.200 T/día	2.650 T/día
	Materias secundarias	Fundentes	Aire y 40-60% O ₂	95% O ₂
Consumo de energía	Combustibles	Alto	Bajo	
Emisiones	A la atmósfera(SO ₂)	<2%	20-25%	55-70%
Generación de residuos	Escorias	Media		
Influencia en la calidad del producto final	Cobre fundido	Media	62% Cu	40-60% Cu
Costes	Inversión+operación	Medio-alto	Medio	
Experiencias anteriores	Años de mercado	>20		
	Nº aplicaciones conocidas en España	-	2	-

Etapa: Conversión

ASUNTO A EVALUAR		TIPO DE CONVERTIDOR	
		PEIRCE-SMITH	KENNECOTT -OUTOKUMPU
Consumo de materiales	Mata fundida	1.440 T/día	<1.400 T/día
	Reciclados del proceso	Si	No
	Aire+oxígeno	37.000 Nm ³ /h (<40% O ₂)	70-75% O ₂
Consumo de energía	E.Eléctrica	Medio	
Emisiones	A la atmósfera	Media-baja (5-10% SO ₂)	Reducción >90% (40-45% SO ₂)
Generación de residuos	Escorias	Recuperables en horno eléctrico	
Influencia en la calidad del producto final	Cobre crudo o Blister	Media-Alta	Alta
Costes	Inversiones	-	Alto
	De operación	-	Muy bajo
	Total	Muy alto	Bajo (reducción en 35%)
Experiencias anteriores	Años de mercado	>20	<5
	Nº de aplicaciones conocidas en España	1	-

6.2 Cobre secundario

Etapa: Fusión

ASUNTO A EVALUAR		TIPO DE HORNO		
		DE REVERBERO	ROTATIVO O INDUCCION	DE CUBA
Consumo de materiales	Chatarras, gruesos/finos	Admite diferentes tamaños	N.D.	Muy pobres y contaminadas
	Fundentes	Carbonato sólido y fluorita	Si	
Consumo de energía	Combustibles	Líquidos o sólidos	Fósiles	Coque bajo en cenizas
Emisiones	A la atmósfera	Media	Baja	Media
Generación de residuos	Escorias	Media		Alta
Influencia en la calidad del producto final	Cobre fundido	Media	Alta	
Costes	Inversion+operación	N.D.		
Experiencias anteriores	Años de mercado	>20		>10
	Nº aplicaciones conocidas en España	N.D.		

6.2. Transformados de cobre

En lo que a la Directiva IPPC se refiere, este subsector tendría un tratamiento similar al cobre secundario, ya que es precisamente la etapa de fusión la nombrada en el epígrafe 2.5.b. El resto de las etapas (moldeo, laminación, tratamiento de superficies) son objeto de otros epígrafes.

★ **7. TÉCNICAS DISPONIBLES PARA EL CONTROL DE EMISIONES**

En este capítulo se presenta la evaluación técnico-económica de las técnicas disponibles para controlar y minimizar las emisiones a la atmósfera de las empresas del sector metalúrgico del cobre.

Las medidas primarias (minimización del consumo de materias primas, cambio de combustible, etc.) son siempre prioritarias a la hora de intentar minimizar las emisiones en la fuente, aunque, con su aplicación, no siempre se alcanzan los valores límites exigidos por la legislación actual.

De esta manera, la disminución en la fuente debe combinarse con técnicas secundarias correctivas, principalmente en las etapas de fusión y conversión, tal y como se expone a continuación.

7.1 Tipo de contaminación: Partículas

TÉCNICA	ETAPA	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	COSTE		OBSERVACIONES
			INV. (MPts)	OPER.(Pts/T)	
Filtro de mangas	Fusión y conversión	Rendimiento:99% Alto consumo energético (1) Límites alcanzables: - Partículas:1-5 mg/m ³ (2)	Bajos	Medio (3)	La más extendida. Es necesario un enfriamiento previo de los gases.
Precipitadores electrostáticos		Rendimiento:95% Consumo E.Eléctrica Límites alcanzables: - SO ₂ : <50-100 mg/m ³ (4) - Partículas:5-30 mg/m ³	Alta	Alta (5)	Opera a altas temperaturas,elevados volúmenes de gases y con partículas sólidas y líquidas. Problema de erosión de los equipos. Requiere un sistema de control de la corriente eléctrica para adecuarla a las necesidades de operación.
Ciclones		Rendimiento:medio Consumo E.Eléctrica Límites alcanzables: - Partículas:100-300 mg/m ³	Bajo		Poco eficaz para partículas de pequeño diámetro (2-3µ). Uso como tratamiento previo a otras operaciones de depuración.

- (1) Debido a las pérdidas de carga.
- (2) La presencia de metales dependerá de la composición de las partículas.
- (3) El cambio periódico de mangas incrementa de forma importante los costes de mantenimiento.
- (4) También reduce el contenido de SO₂ del efluente gaseoso.
- (5) Requiere continuas tareas de mantenimiento.

7.2 Tipo de contaminación: SO₂

TÉCNICA	ETAPA	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	COSTE		OBSERVACIONES
			INV. (MPts)	OPER. (Pts/T)	
Lavadores húmedos	Fusión y conversión	Rendimiento: alto Alto consumo energético y de agua Límites alcanzables: - SO ₂ : <50-150 mg/m ³ - Partículas: 4-50 mg/m ³	N.D		También reduce el contenido en partículas del efluente gaseoso.
Planta sulfúrico (recuperación SO ₂)		Rendimiento: 99,7% Consume energía Q max.: 300.000 Nm ³ /h. C.C.min. SO ₂ : 5-6% Límites alcanzables: - SO ₂ : 20 mg/Nm ³	Alta (1)		Los gases pasan por un conjunto de lavadores de gran eficiencia que producen el enfriamiento y eliminación de impurezas. Luego se pasan por unas torres de enfriamiento donde se condensa el exceso de agua.

(1) Depende de la dimensión y capacidad de producción de la planta de recuperación.

7.3 Tipo de contaminación: Dioxinas y CO

Además de las técnicas descritas (aplicables a producción primaria y secundaria), existe una técnica específica para la eliminación de dioxinas y CO, componentes propios de la fusión secundaria del cobre, que se aplica fundamentalmente a hornos de cuba.

TÉCNICA	ETAPA	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	COSTE		OBSERV.
			INV. (MPts)	OPER. (Pts/T)	
Postquemador, enfriamiento y filtración de gases	Fusión	Límites alcanzables: - Dioxinas: <0,5 mg/m ³ - CO: <50 mg/m ³ - COV's: <10 mg/m ³	Medio		Aplicables a hornos de cuba. Reduce las emisiones gaseosas en general y recupera metales.

7.4 Tipo de contaminación: Escorias

La generación de escorias es un problema que tiene mayor relevancia en la fusión secundaria. Son residuos peligrosos debido a su alto contenido en cobre, el cual puede ser reducido mediante el tratamiento de dichas escorias en horno eléctrico.

TÉCNICA	ETAPA	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	COSTE		OBSERV.
			INV. (MPts)	OPER. (Pts/T)	
Horno eléctrico	Fusión y conversión	Caudal : 2.000 T/día Consume E. eléctrica Límites alcanzables: - Cu residual: <1%	Medio (1)		Reduce el contenido de Cu desde el 2-6% hasta un 1%. La escoria final se granula para obtener un producto inerte.

(1) Los costes dependerán de las fluctuaciones del precio de la E. Eléctrica.

★ 8. MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES

Es objeto del presente apartado definir para las etapas más relevantes del proceso de producción de cobre, las mejores técnicas disponibles desde la óptica medioambiental.

8.1 Emisiones a la atmósfera

Almacenamiento y acondicionado

En las operaciones de almacén y acondicionamiento de materias primas, deben tenerse en cuenta una serie de buenas prácticas viables desde el punto de vista económico y técnico que minimizan considerablemente las emisiones de partículas y polvos:

- Almacenamientos en contenedores cerrados.
- Recepción de las materias primas a ser posibles humedecidas y/o en vehículos cerrados.
- La maquinaria y equipos utilizados en el tratamiento de las materias primas (trituration, molienda clasificación...) deben de estar aislados y debidamente cerrados.
- Siempre que se pueda y especialmente en los puntos de descarga o transferencia debe de contemplarse la instalación de sistemas de captación de polvo y partículas y posteriormente deben ser adecuadamente tratados.
- La manipulación debe realizarse en instalaciones con equipos de ventilación y desempolvado (puntos de recepción, transferencia, descarga de materiales, cargadoras de palas, bocas de elementos de carga, etc.).

Transferencia de materiales

En las operaciones de transferencia de materiales, siempre que sea posible deben utilizarse equipos cerrados, como por ejemplo bandas transportadoras o transportadores en cadenas. Debe evitarse la descarga por caída libre de materiales pulverulentos.

Se deben de considerar algunas pautas para permitir que las operaciones de reciclado sean eficientes, como la humidificación para reducir las emisiones de polvo y disponer de medios para el reciclaje de los finos captados por los filtros e introducirlos en el proceso.

Fusión y conversión

Las emisiones de sustancias inorgánicas gaseosas, deben de disminuirse preferiblemente mediante medidas primarias durante el desarrollo del proceso, pues así se reducen en origen. Cuando estas medidas sean insuficientes o las características de las sustancias no permitan su aplicación, se recurrirá al uso de técnicas de depuración.

A continuación se citan las técnicas seleccionadas por el sector como las Mejores Técnicas Disponibles, distinguiendo entre los dos tipos de proceso, ya que se enfrentan a problemáticas medioambientales específicas.

Cobre primario

Para las etapas con relevancia a la hora de definir las MTD's, se propone la siguiente combinación de técnicas como solución técnica y económicamente asequible:

ETAPA	PROBLEMA M.A.	MTD's	Indicadores medioambientales	Limites legislados (1)
Fusión	Consumo combustible Emisiones SO ₂	H.Flash/Peirce-Smith (convertidor)	Menor consumo de combustible y menor tiempo de inyección de aire en convertidor	SO ₂ : 1.500 mg/Nm ³
Conversión	Emisiones SO ₂	Convertidor Kennecott-Outokumpu (3)	Disminución volumen gases >90%.	
		Planta de sulfúrico	Conversión del 99,7%	

(1) RD 833/1975 que desarrolla la Ley 38/1972 de Protección del Ambiente Atmosférico.

(2) Se necesitan instalaciones adicionales de granulación, secado y molienda de las matas antes de ser tratadas, pero con este sistema las instalaciones para la fabricación de ácido sulfúrico son de menor tamaño.

(3) Alta concentración de SO₂ en el efluente para recuperación como sulfúrico. Alta recuperación de Cu. Minimiza operaciones de depuración de gases y de refrigeración. Lleva asociado un conjunto de lavadores que eliminan las impurezas de los gases y los enfrían. A continuación, los gases pasan por torres de enfriamiento que condensan el agua en exceso.

Cobre secundario

En este caso no podemos recomendar la utilización de un horno en concreto ya que, según el tamaño y proporción de Cu que presente la materia prima a tratar se aplicarán unos u otros hornos de fusión (rotativo, de reverbero o de cuba).

En la etapa de fusión, la mayor incidencia medioambiental son las emisiones atmosféricas que, debido a la particularidad del sector, en la actualidad tan solo es viable su tratamiento mediante la instalación de equipos de depuración de gases y partículas.

Resaltar la necesidad de tratar las emisiones de dioxinas y CO, los cuales son componentes propios de la fusión secundaria del cobre fundamentalmente a hornos de cuba

ETAPA	PROBLEMA M.A.	MTD's	Indicadores medioambientales	Observaciones
Fusión	Dioxinas y CO	Postquemador+enfriamiento+filtración de gases	Límites alcanzables: - Dioxinas: <0,5 mg/m ³ - CO: <50 mg/m ³	Reduce las emisiones en general. Aplicable sobre todo en hornos cuba.
	Partículas	Sistemas de captación y depuración	99% rendimiento	La selección de uno u otro sistema de depuración dependerá de las características propias de cada efluente (Ver punto 7)

8.2 Efluentes Líquidos

Como recomendaciones básicas a la hora de definir una técnica o proceso como posible MTD deben de tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Las aguas de refrigeración, siempre que no estén contaminadas, no deben tratarse con el resto de aguas residuales y procurar siempre los sistemas de recirculación permitiendo sólo el consumo para reponer las pérdidas por evaporación.
- En la mayoría de los casos las fugas son previsibles y por tanto evitables mediante el uso de técnicas adecuadas y la toma de medidas preventivas y correcto mantenimiento. Deben considerarse las zonas de una planta con posibilidades de fugas en los diseños iniciales así como cuando se plantean modificaciones de las instalaciones, de forma que se contemplen sistemas de contención para mantener y controlar los vertidos en zonas inmediatas al foco.

Además, de estas medidas preventivas, existen técnicas disponibles viables desde el punto de vista económico en función de la instalación, que contemplan los procedimientos electrolíticos para el tratamiento de los efluentes. Su eficacia es variable en función del proceso pero por regla general, estas técnicas permiten una alta recuperación de los metales además de conseguir unos niveles aceptables en cuanto a la contaminación residual de los efluentes vertidos.

8.3 Residuos

Se debe de incentivar el desarrollo de técnicas y procesos que permitan en lo posible la disminución de la generación de residuos y procurar, siempre que sea posible, el reciclado en la propia planta.

En la etapa de fusión se generan escorias con alto contenido en cobre, las cuales adquieren mayor importancia en la fusión secundaria. Al tratarse de residuos peligrosos, la solución pasa por reducir su contenido en cobre mediante su tratamiento en horno eléctrico.

ETAPA	PROBLEMA M.A.	MTD's	Indicadores medioambientales	Observaciones
Fusión	Escorias	Horno eléctrico	Reduce el contenido en Cu hasta menos del 1%	La escoria final se granula con agua para obtener un producto inerte



9. TÉCNICAS EMERGENTES

Se recogen a continuación los procesos, técnicas, tecnologías y alternativas que bien por su poca implantación, bien por estar en fase piloto o a escala laboratorio, se deben considerar como técnicas emergentes dentro del sector de la metalurgia del cobre.

9.1 Proceso KIVCET

Es un proceso continuo aplicable tanto a la metalurgia primaria como secundaria que en esencia consiste en la tostación y fusión de las cargas formadas por el concentrado mediante la combinación de un reactor ciclónico de llama con un horno de resistencia de llama. El proceso de fusión se realiza en una atmósfera de oxígeno y los gases residuales salen del horno a temperaturas entre los 1.250-1.350°C conteniendo un 80-85% de dióxido de azufre en volumen, y óxidos metálicos que seguidamente son reducidos por carbón obteniéndose distintos productos, de acuerdo al concentrado.

9.2 Proceso ISASMELT/AUSMELT

Este proceso es un nuevo sistema de horno pirometalúrgico que utiliza una lanza vertical que puede sumergirse tanto en la escoria como en la mata. Es aplicable tanto a la metalurgia primaria como secundaria del cobre. La estructura de la lanza es sencilla y está refrigerada por el aire que se utiliza en el proceso. Concentrados, carbón y fundentes son introducidos de forma continua en el horno. Tanto la mata como las escorias son sangradas conjuntamente pasando el metal obtenido al afino correspondiente por los métodos convencionales.

9.3 Proceso QSL

Es un proceso en continuo, de una sola etapa y permite el tratamiento de diferentes materias primas. Todo el proceso se realiza en un reactor cilíndrico de eje prácticamente horizontal que puede bascular si el proceso o la operación se interrumpe. El reactor está dividido en dos partes por un tabique, el cual separa la zona de oxidación de la zona de reducción. Este sistema, presenta una sola evacuación de gases lo que facilita su control. Estos gases también tienen una buena concentración de dióxido de azufre lo que permite su recuperación como ácido sulfúrico.

9.4 Proceso KALDO-TBRC

Este proceso es adecuado para el tratamiento de cargas mixtas, compuestas por concentrados y desechos o chatarras o bien para materiales secundarios solamente.

Se trata de un proceso discontinuo tipo flash, que utiliza un convertidor TBRC (Top Blown Rotary Converter) de origen en la industria siderúrgica que posteriormente se ha implantado en algunos procesos pirometalúrgicos para la obtención de Cu y Pb. El convertido es basculado entre las operaciones de oxidación y reducción. El soplado se hace con aire enriquecido de oxígeno.

9.5 Proceso CONTOP

Consiste en la utilización de dos hornos: uno tipo relámpago (Flash) ciclónico para la producción de la mata de cobre y otro continuo de conversión y afino para producir ánodos de Cu. El concentrado, los fundentes y el oxígeno empleados se inyectan de forma tangencial en el ciclón donde tienen lugar la fusión. La mezcla que reacciona cae a una cámara de sedimentación donde se separan los gases, la mata y la escoria. La mata fluye de forma continua hacia el reactor de conversión y afino, previa a la obtención del ánodo de cobre.

Durante este proceso, la concentración de dióxido de azufre en los gases puede llegar al 80% y cerca del 90% de las impurezas se volatilizan. Las corrientes combinadas de los gases son tratadas en electrofiltros que permiten recuperar los elementos secundarios.

9.6 Procesos Hidrometalúrgicos para la recuperación de cobre

Entre estos procesos desarrollados por Técnicas Reunidas, S.A.,caven destacar para la metalurgia del cobre los siguientes:

- Proceso COMPREX vía sulfato, para la recuperación de Cobre, aparte de Zinc y Plomo.
- Proceso CUPREX vía cloruro para la recuperación de Cobre a partir de concentrados con cualquier contenido en cobre.
- Proceso SX Cu (Solvent Extraction). Desarrollado por Técnicas Reunidas, S.A. permite la recuperación del cu por extracción con disolventes no solubles en agua. Existen dos fases suspendidas, una acuosa y otra orgánica y mediante el control del pH de la mezcla y el agente acomplejante usado, el metal es extraído de forma selectiva en la fase orgánica. Después de esta etapa de separación se obtiene, mediante una re-extracción desde la fase orgánica a una acuosa, una solución de metal puro. Con la implantación de este proceso se da una recuperación del 99% de metal y eliminación de las emisiones de SO₂.

★ 10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1 Problemática medioambiental y carencias tecnológicas

Desde el punto de vista medioambiental, las instalaciones industriales productoras de cobre tanto primario como secundario, se enfrentan a problemas de contaminación atmosférica, residuos y, en menor medida, contaminación del agua. De manera resumida se establecen, según el medio potencialmente afectado, los aspectos medioambientales significativos y algunas soluciones que pueden emplearse con el objeto de disminuir las emisiones.

Contaminación atmosférica

Durante las distintas operaciones de los procesos de producción de cobre se emiten a la atmósfera gases (productos de combustión: óxidos de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre) y partículas de distinta índole.

Las emisiones de sustancias inorgánicas gaseosas, deben de disminuirse preferiblemente mediante medidas primarias durante el desarrollo del proceso, pues así se reducen en origen. Las sustancias que no puedan tratarse mediante medidas primarias, bien porque éstas sean insuficientes o bien porque sus características no lo permitan, necesitarán medidas secundarias como precipitadores electrostáticos, lavadores, filtros de mangas, procesos químicos o físico-químicos tipo adsorción, absorción, etc.

Por ejemplo, para reducir la contaminación atmosférica debida al SO₂, es usual en la industria del cobre la recuperación como ácido sulfúrico en plantas de producción del mismo. El rendimiento de estas plantas depende de la efectividad de los sistemas de limpieza de los gases a la hora de eliminar las posibles impurezas que contienen (sólidos, fluoruros y cloruros) y de la temperatura a la cual sale el gas, siendo necesario un enfriamiento a temperaturas por debajo de los 30°C. De esta manera se puede obtener un rendimiento del 98,5%.

Contaminación del agua

Como consecuencia de las distintas operaciones del proceso productivo, se generan aguas residuales que deben ser tratadas antes de su vertido, ya que tendrán que cumplir la legislación específica aplicable a la instalación y actividad. Los contaminantes que pueden aparecer en las aguas residuales de una planta de producción de cobre son: arsénico, cadmio, cobre, plomo, mercurio, zinc, y sólidos en suspensión.

Para la purificación de las aguas residuales generadas en procesos metalúrgicos se llevan a cabo distintos tratamientos como:

- Separación de sólidos
- Vertido, reciclado o reutilización del agua tratada.
- Deshidratación y gestión del lodo obtenido.



Colaboran:



UNICOBRE
UNIÓN NACIONAL DE INDUSTRIAS
DEL COBRE

 **CONFEMETAL**

Ejecución Técnica:

 **TECNOLOGÍA Y
GESTIÓN DE LA
INNOVACIÓN**
MEDIO AMBIENTE Y CALIDAD