

## Guías Tecnológicas

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

### Epígrafe 6.8

Fabricación de carbono  
y electrografito



**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 fabricación de carbono y electrografito con objeto de recoger los aspectos más relevantes del Informe Tecnológico de manera que las partes 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](mailto: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 visitaron los dos centros afectados por la Directiva en nuestro País.

**Fase IV: Guías Tecnológicas.** 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 partes 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.

Las entidades que han colaborado en la realización de este estudio han sido el Instituto Nacional del carbón (INCAR) y empresas del sector.

## ★ 2. LA INDUSTRIA DE LA FABRICACIÓN DE CARBONO Y ELECTROGRAFITO EN ESPAÑA

### 2.1 Panorama general del sector

En España, la industria de fabricación de carbono no está muy representada. A priori, sólo existen dos instalaciones filiales de empresas multinacionales que fabriquen carbono o electrografito como materia prima y, en ambos casos, destinado para componentes eléctricos, principalmente, electrodos de grafito. También existe otra empresa que cuenta con una planta de fabricación de electrodos para consumo propio, no estando afectada por esta Directiva al no ser ésta su actividad principal.

### 2.2 Actividades e instalaciones afectadas por la Directiva 96/61

Bajo la definición del epígrafe 6.8 se encuentra el sector de fabricación de carbono (carbón sintetizado) o electrografito por combustión o grafitación. Este tipo de actividad no tiene una correlación directa con el CNAE-93.

Dado el escaso número de empresas en España que se dedican a la fabricación de carbono o grafito como materia prima, se apunta, en este caso, la referencia de los CNAE-93 que las empresas del sector declaran. Así pues, el epígrafe 6.8 se correlaciona con:

- 3140 Fabricación de acumuladores y pilas eléctricas.
- 3162 Fabricación de otro material y equipo eléctrico.

Todas las instalaciones dedicadas en España a la fabricación de carbón estarían potencialmente afectadas, a excepción de la empresa que fabrica electrodos de grafito para consumo propio, ya que no corresponde a su actividad principal.

Por tanto existen dos instalaciones afectadas en el territorio español situadas en las Comunidades Autónomas de Galicia y Navarra.

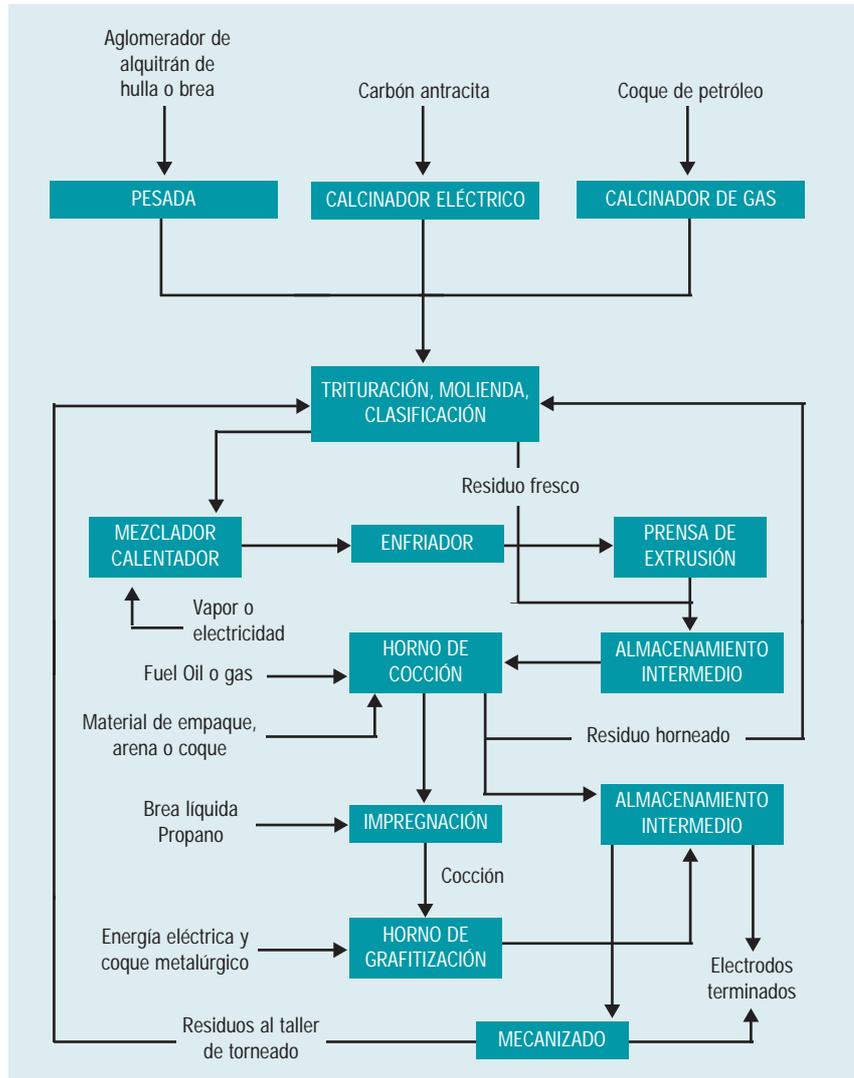
## ★ 3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO PRODUCTIVO

### 3.1 Diagrama de proceso

De todos los posibles procesos de fabricación de carbono y grafito, el procedimiento de obtención de electrodos es una de las aplicaciones más importante de estos materiales.

Tanto para el grafito como para el carbono, las etapas del proceso son similares, diferenciándose principalmente en los ciclos térmicos. Mientras que para el carbono, después de las etapas de selección, calcinación, molienda y moldeo por extrusión, se realiza un tratamiento único a unos 950°C, para el grafito, además de esta fase de horneado, es necesario un segundo tratamiento térmico por encima de los 2.700°C para conseguir la grafitización de los electrodos amorfos.

El esquema general de la fabricación de electrodos de carbono se resume en el siguiente diagrama de proceso:



### 3.2 Problemática medioambiental

Desde el punto de vista medioambiental, las instalaciones industriales productoras de electrodos de grafito se enfrentan fundamentalmente a problemas de contaminación atmosférica y residuos generados por la propia actividad y, en menor medida, a problemas de contaminación de aguas.

En este apartado se expone de forma 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.

ETAPA	PROBLEMÁTICA MEDIOAMBIENTAL	AFECCIÓN
ACOPIO Y PREPARACIÓN DE MATERIAS PRIMAS	C. ATMOSFÉRICA	Humos fujitivos COV's y HPA'S y polvo
	C.RESIDUOS	Residuos de electrodos frescos
	C. RUIDO	Molesta
FORMADO	C. ATMOSFÉRICA	Polvo y partículas
	C.RESIDUOS	Residuos de electrodos frescos
	C. RUIDO	Leve
HORNEADO	C. ATMOSFÉRICA	Partículas,HAP's,SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> y gases residuales
	C.RESIDUOS	Residuos de electrodos horneados y aceites
	C. RUIDO	Leve
IMPREGNACIÓN	C. ATMOSFÉRICA	Polvo y partículas,HAP's
	C.RESIDUOS	Pequeñas pérdidas residuales
	C. RUIDO	Leve
GRAFITIZACIÓN	C. ATMOSFÉRICA	Polvo,partículas,SO <sub>2</sub> y HAP
	C.RESIDUOS	Pequeñas pérdidas residuales
	C. RUIDO	Leve



## 4. CARACTERÍSTICAS ESPECIALES DEL PROCESO PRODUCTIVO

### 4.1 Etapa: Acopio y preparación de materias primas

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

Esta etapa incluye las operaciones de calcinación, molienda, clasificación y mezcla con aglomerante de las materias primas.

CONSUMOS	CARACTERIZACIÓN	CANTIDAD	OBSERVACIONES
Materias primas	Coque de petróleo o carbón	1,5 Kg/T producto	La utilización de carbón está en desuso
Materias secundarias	Aglomerantes (alquitrán de hulla o brea) y aditivos	25 kg/100 Kg coque	-
Energía	E.Eléctrica	4-10 KWh/T coque	Dato correspondiente a las operaciones de trituración y molienda.

EFFECTO M.A.	ASPECTO M.A.	CARACT.	CANTIDAD	TRATAMIENTO ACTUAL	OBSERVACIONES
Residuos	Aceites usados	RP	N.D.	Gestor autorizado	-
	Desechos frescos	Reciclable	Bajo	Reciclado en planta	
C.Atmosférica	Polvo y partículas	De igual naturaleza que el coque	20-30 mg/Nm <sup>3</sup>	Sistemas de filtros	-
	HAP's		0,5-8 mg/Nm <sup>3</sup>	Filtro de humos de brea	Hidrocarburos Aromáticos Polocíclicos contenidos en la brea.
	COV's		Bajo	Incinerador de solera móvil	-
C.Acústica	Trituradoras, molinos y mezcladoras	Molesta	Bajo	Aislamiento acústico	-

### 4.2 Etapa: Formado (extrusión o moldeado)

CONSUMOS	CARACTERIZACIÓN	CANTIDAD	OBSERVACIONES
Materias primas	Pasta fresca	N.D.	-
Materias secundarias	Agua	Bajo	Consumo en el tanque de enfriamiento
Energía	E.Eléctrica	N.D.	-

EFFECTO M.A.	ASPECTO M.A.	CARACT.	CANTIDAD	TRATAMIENTO ACTUAL	OBSERVACIONES
Residuos	Desechos frescos	Reciclable	Bajo	Reciclado en planta	-
C.Atmosférica	Polvo y partículas	De igual naturaleza que el coque	10-150 mg/Nm <sup>3</sup>	Filtros de sólidos de brea. Incinerador de solera móvil.	No suele ser un problema importante

## 4.3 Etapa: Horneado

CONSUMOS	CARACTERIZACIÓN	CANTIDAD	OBSERVACIONES
Materias primas	Electrodos frescos	N.D.	El consumo depende del tipo de producto y de horno
Materias secundarias	Material de empaque, arena o coque	N.D.	-
Energía	E. Eléctrica	Alta	En hornos de solera móvil el consumo se reduce en un 60-70%
	Gas Natural	Media	-
	Fuel-oil	Media	

EFFECTO M.A.	ASPECTO M.A.	CARACT.	CANTIDAD	TRATAMIENTO ACTUAL	OBSERVACIONES
Residuos	Desechos horneados	Reciclable	Bajo	Reciclado en planta	Residuos del lijado de los electrodos horneados
C. Atmosférica	NO <sub>x</sub>	Gases residuales	50-500 mg/m <sup>3</sup>	Filtro de mangas	La altura de la chimenea influye en la dispersión y concentración de contaminantes. Las emisiones de COV's dependen de si la brea es líquida (menor emisión) o sólida (mayor).
	CO <sub>x</sub>		Bajo		
	HAP's		100-300 mg/m <sup>3</sup>		
	SO <sub>2</sub>		100-800 mg/m <sup>3</sup>		
	Partículas		10-150 mg/m <sup>3</sup>	Precipitador Incinerador de solera móvil	
C. Acústica	Alimentación del horno	Leve	Baja	-	-
C. Térmica	Emisiones de gases calientes	-	T > 1.000°C	-	Efecto irrelevante

## 4.4 Etapa: Impregnación

CONSUMOS	CARACTERIZACIÓN	CANTIDAD	OBSERVACIONES
Materias primas	Electrodos horneados	N.D.	-
Materias secundarias	Brea líquida	Medio	-
Energía	E. Eléctrica	Media	-
	Propano		

EFFECTO M.A.	ASPECTO M.A.	CARACT.	CANTIDAD	TRATAMIENTO ACTUAL	OBSERVACIONES
C. Atmosférica	Partículas	-	10-150 mg/m <sup>3</sup>	Filtro de mangas Incinerador de solera móvil	Para menor contaminación se realiza un rehorneado previo a la grafitización
C. Térmica	Emisión gases calientes	-	T > 1.000°C	T > 1.000°C	Efecto irrelevante

#### 4.5 Etapa: Grafitización

CONSUMOS	CARACTERIZACIÓN	CANTIDAD	OBSERVACIONES
Materias primas	Electrodos impregnados	N.D.	-
Materias secundarias	Coque metalúrgico	12-18 kg/T electrodo	-
Energía	E.Eléctrica	4-5 KWh/Kg grafito	-

EFFECTO M.A.	ASPECTO M.A.	CARACT.	CANTIDAD	TRATAMIENTO ACTUAL	OBSERVACIONES
Residuos	Desechos	Reciclable	Bajo	Reciclado en planta	-
C.Atmosférica	Partículas	-	10-150 mg/m <sup>3</sup>	Ciclones Precipitador de partículas (Baghouse)	Los ciclones es una técnica poco eficaz para partículas de pequeño tamaño. El contenido de contaminantes es despreciable.
	SO <sub>2</sub>		100-800 mg/m <sup>3</sup>		
	HAP's		0,5-8 mg/Nm <sup>3</sup>		
C.Térmica	Gases calientes	-	T>3.000°C	-	Efecto irrelevante al encontrarse los hornos en áreas abiertas.

### ★ 5. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE MTD'S

El primer criterio está reflejado en el Anexo III de la Directiva, lista indicativa de las principales sustancias contaminantes que deben contemplarse en la fijación de los valores límite de emisión y que, para el caso particular de este epígrafe (6.8 "Instalaciones para la fabricación de carbono o electrografito por combustión o grafitización") son las siguientes:

- Óxidos de azufre y otros compuestos de azufre.
- Óxidos de nitrógeno y otros compuestos de nitrógeno.
- Monóxido de carbono.
- Polvos y partículas.
- Materias en suspensión vertidas 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.
- Fecha de entrada en funcionamiento de las instalaciones nuevas o existentes.
- Plazo que requiere la instauración de una mejor técnica disponible.
- Consumo y naturaleza de materias primas (incluida el agua) utilizadas 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 donde se implante una MTD.



## 6. TÉCNICAS DISPONIBLES

En este apartado se resumen las diferentes técnicas productivas utilizadas para las etapas relevantes a la hora de definir las MTD's.

### 6.1 Acopio y preparación de materias primas

Dentro del proceso de fabricación de carbono y electrografito, se requiere una preparación previa de la materia prima mediante operaciones de trituración, molturación, clasificación y mezcla con un ligante de brea. Cada una de estas operaciones son llevadas a cabo mediante técnicas estandarizadas en el sector, por lo que no presentan características especiales.

#### Trituración

La mayoría de los sistemas de trituración de materia prima (1,5 Kg de coque de petróleo/T de producto) tienen una doble trituradora de rodillos, de manera que se obtienen menores tamaños de partícula.

Para la reducción de emisiones de polvo tienen asociados sistemas de captación o cerramientos.

El consumo de energía eléctrica en las operaciones de trituración y molturación asciende a 4-10 kWh/T de coque.

#### Molturación y clasificación

El coque es molido (molinos de rodillos o de martillos) en tamaños muy pequeños que son clasificados por un separador de ciclón. Los tamaños más grandes no deseados son devueltos al molino y los tamaños aceptables van a depósitos de carga.

#### Mezcla coque-ligante

El ligante de brea usado en la mezcla (25 kg brea/100 kg de coque), almacenado en depósitos de carga, es aplicado según las necesidades, ya que la brea tiende a cuajar en condiciones ambientales en masas extremadamente difíciles de romper y manejar.

El mezclador cilíndrico es el más usado para mezclas de grano grueso, cuya intensidad es relativamente baja para evitar la rotura de la partícula con tiempos largos de mezcla (90 min.). Para composiciones de grano fino, mezcladores de más intensidad pueden ser usados con una correspondiente disminución del tiempo, como por ejemplo, mezcladores de paleta Sigma y de dos rotadores de Werner-Pfleiderer y Bandury.

En esta operación se consigue una cohesión intergranular óptima que determina las propiedades e integridad estructural del grafito.

### 6.2 Formado

El propósito de esta operación es comprimir la mezcla en una masa densa donde las partículas de coque y la brea están en íntimo contacto. Los dos métodos más importantes se describen a continuación:

ASUNTO A EVALUAR		TIPO DE FORMADO	
		Extrusión (1)	Moldeado (2)
Consumo de materiales	Agua	Bajo	
	Materias primas	Pasta	
Consumo de energía	Eléctrica	Medio	Alto
Emisiones	A la atmósfera	Medio	
	Ruido	Molesto	
Generación de residuos	Sólidos	Reciclables	
Influencia en la calidad del producto final	Electrodos frescos	Resistencia, elasticidad y conductividad más elevadas en la dirección normal que en las dos transversales	Para productos de tamaño grande y aplicaciones especiales
Costes	Inversiones + operación	Bajos	Medios-Altos
Experiencias anteriores	Años de mercado	-	Más antiguo
	Nº de aplicaciones conocidas	2	-

(1) Operación con prensa. La más utilizada es la Prensa Basculante ya que elimina la necesidad de precompactar la mezcla. Para mezclas de grano fino se utiliza normalmente la Prensa Hélice.

(2) Pueden ser prensas de acción simple o doble. El moldeado denominado JAR es usado para alargar las piezas.

### 6.3 Horneado

En esta etapa se convierte la brea en coque sólido y se reduce el volumen (5%) de los productos asociados con la pirólisis mediante aporte lento de calor. Este proceso conlleva cambios físicos y químicos en fase ligada, por lo que es catalogado como crítico en la producción de carbón y grafito.

Para proporcionar la flexibilidad necesaria a un amplio rango de tamaños se usan distintos hornos cuyas características generales se exponen en la siguiente tabla:

ASUNTO A EVALUAR		TIPO DE HORNO		
		VERTICAL DE CUBA	ANULAR (1)	SOLERA MÓVIL (2)
Consumo de energía	E.Eléctrica	Medio	Alto	Bajo (reducción en 60-70%)
Emisiones	A la atmósfera	30-40 Kg gas/500 Kg de electrodo fresco		
Influencia en la calidad del producto final	Electrodos horneados	Largos tiempos de horneado		Mejora de la efectividad por el uso de cámaras de combustión de acero inox.
Costes	Inversión + operación	Medio-Alto	Alto	N.D.
Experiencias anteriores	Años de mercado	>10		<5
	Nº de aplicaciones conocidas	-	1	1

(1) Elevada eficiencia térmica por la interconexión entre hornos.

(2) De reciente desarrollo, permite un mejor control de presión y temperatura.

### 6.4 Impregnación

Este proceso se realiza en autoclave para facilitar la impregnación sobre los poros del producto previamente secado a 250-300°C. Dependiendo de la densidad de los electrodos amorfos, se puede realizar una doble impregnación, siendo necesario un rehornado entre ambas.

La siguiente tabla recoge las generalidades del precalentamiento del producto:

ASUNTO A EVALUAR		PRECALENTAMIENTO DE ELECTRODOS
Consumo de materiales	Materias primas	Electrodos horneados y brea líquida
Consumo de energía	E.Eléctrica	Media
	Propano	
Emisiones	A la atmósfera	10-150 mg/m <sup>3</sup> de partículas
Influencia en la calidad del producto final	Electrodos impregnados	Mejora las propiedades para aplicaciones de alto rendimiento del grafito
Emisiones	Inversión + operación	Bajos
Emisiones	Años de mercado	>10
	Nº de aplicaciones conocidas	2

## 6.5 Grafitización

En esta etapa se somete la carga depositada en el horno a temperaturas de hasta 3.000°C de manera que el ordenamiento turboestático de las capas es eliminado y el carbón alcanza el nivel de cristalización del grafito. El tamaño y la orientación de los cristales darán lugar a diferentes propiedades.

Dentro de los hornos eléctricos utilizados, los más usados son los Acheson por su gran versatilidad. Por otro lado están los hornos de tubo para grafitar a pequeña escala y los hornos de corrientes de inducción donde el calentamiento de la carga es directo de manera que el consumo de energía y los tiempos de residencia son menores.

ASUNTO A EVALUAR		TIPO DE HORNO		
		ACHESON	DE TUBO	DE CORRIENTES DE INDUCCIÓN
Consumo de materiales	Materias primas	Electrodos impregnados y coque metalúrgico		
Consumo de energía	E. Eléctrica	4,5 KWh/Kg grafito	>4,5 KWh/Kg grafito	4,4 KWh/Kg grafito
Emisiones	A la atmósfera	Bajo		Medio
Influencia en la calidad del producto final	Electrodos de grafito	Mayor versatilidad	Menor intervalo de granulometrías	Poca versatilidad
Costes	Inversión + operación	N.D.		
Experiencias anteriores	Años de mercado	100	>20	
	Nº aplicaciones conocidas	2	-	

## ★ 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.

Las medidas primarias 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 y debe recurrirse a técnicas secundarias.

Es objeto del presente apartado definir para las etapas más relevantes del proce-

### 7.1 Etapa: Acopio, preparación de materias primas y formado

#### Tipo de contaminación: Humos fujitivos y polvo

TÉCNICA	ETAPA	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	COSTE	OBSERVACIONES
Sistema de filtros	Preparación materia prima	Rendimiento: 97% Límites alcanzables: - Partículas: 20-30 mg/Nm <sup>3</sup>	N.D.	Triturado y molienda
Filtro de humos de brea	Mezcla	Rendimiento: 97% Límites alcanzables: - Partículas: <2 mg/Nm <sup>3</sup> - Diclorometano: 1,5-2 mg/Nm <sup>3</sup>		-
Filtro de sólidos de brea	Mezcla y formado	Rendimiento: 97% Límites alcanzables: - Partículas: 5-10 mg/Nm <sup>3</sup> - Diclorometano: 2-3 mg/Nm <sup>3</sup>		-
Incinerador de solera móvil	Preparación materia prima y formado	Rendimiento: 99% Límites alcanzables: - Partículas: 80-90 mg/Nm <sup>3</sup> - Diclorometano: <0,008 mg/Nm <sup>3</sup>		-

## 7.2 Etapa: Horneado

### Tipo de contaminación: Partículas y polvo

TÉCNICA	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	INVERSIÓN (MPts)	OBSERVACIONES
Electrofiltros	Rendimiento:92% Consumo energía:112 KW Límites alcanzables: - Partículas:2,5-90 mg/Nm <sup>3</sup>	13,1 (1)	Su uso puede estar limitado por el contenido de CO debido a la presencia de atmósfera reductora
Filtro de mangas	Rendimiento:99% Consumo energía: 1,5-4 KWh/1.000 Nm <sup>3</sup> Límites alcanzables:Partículas: 25-30 mg/Nm <sup>3</sup>	13,1 - 16,4 (2)	Es la más extendida pero no pueden trabajar a altas temperaturas, por lo que es necesario un enfriamiento previo de los gases. El cambio de las mangas puede incrementar de forma importante los gastos de mantenimiento.
Incinerador de solera móvil	Rendimiento:99% Límites alcanzables: - Partículas:80-90 mg/Nm <sup>3</sup>	N.D.	-

(1) Coste del equipo,su instalación supondría un incremento del 60-80%.

(2) Incluye el enfriador de gases.

### Tipo de contaminación: HAP's

TÉCNICA	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	INVERSIÓN (MPts)	OBSERVACIONES
Electrofiltros	Rendimiento:92% Consumo energía: 112 KW Límites alcanzables: HAP's: 0,04-6 mg/m <sup>3</sup>	13,1 (1)	Su uso puede estar limitado por el contenido de CO debido a la presencia de atmósfera reductora

(1) Coste del equipo,su instalación supondría un incremento del 60-80%.

### Tipo de contaminación: SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>

TÉCNICA	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	COSTE (MPts/T)		OBSERVACIONES
		INVERSIÓN	OPERACIÓN	
Oxidador térmico convencional	Rendimiento:99% Límites alcanzables: - SO <sub>2</sub> : 20-100 mg/m <sup>3</sup> - NO <sub>x</sub> : 50-250 mg/m <sup>3</sup>	16,4-19,7	3,2-6,6	Postquemadores asociados a otros sistemas de filtración.Problemas con el sistema de control.
Oxidador térmico regenerativo	Rendimiento:N.D. Límites alcanzables: - SO <sub>2</sub> : 50-150 mg/m <sup>3</sup> - NO <sub>x</sub> : 10-40 mg/m <sup>3</sup>	Mayor	Menor	

### 7.3 Etapa: Impregnación

#### Tipo de contaminación: Polvo y HAP's

TÉCNICA	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	INVERSIÓN (MPts)	OBSERVACIONES
Filtro de mangas	Rendimiento:99% Límites alcanzables: - Polvo:1-4 mg/m <sup>3</sup> - HAP's:4-40 mg/m <sup>3</sup>	13,1-16,4 (1)	No pueden trabajar a altas temperaturas, por lo que es necesario un enfriamiento previo de los gases. El cambio de las mangas puede incrementar de forma importante los gastos de mantenimiento.

(1) Incluye el enfriador de gases. Este coste tan solo se refiere a el equipo, su instalación supondría un 60-80% más.

#### Tipo de contaminación: SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>

TÉCNICA	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	COSTE (MPts/T)		OBSERVACIONES
		INVERSIÓN	OPERACIÓN	
Oxidador térmico convencional	Rendimiento:99% Límites alcanzables: - SO <sub>2</sub> : 20-100 mg/m <sup>3</sup> - NO <sub>x</sub> : 50-250 mg/m <sup>3</sup>	16,4-19,7	3,2-6,6	Postquemadores asociados a otros sistemas de filtración. Problemas con el sistema de control.

### 7.4 Etapa: Grafitización

#### Tipo de contaminación: Partículas y polvo

TÉCNICA	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	INVERSIÓN (MPts)	OBSERVACIONES
Precipitador de partículas	Rendimiento:97% Límites alcanzables: - Partículas:20-30 mg/Nm <sup>3</sup>	N.D.	-
Ciclones	Rendimiento:40% Límites alcanzables: - Partículas:20-30 mg/Nm <sup>3</sup>	Baja	Poco eficiente para partículas de pequeño diámetro. Asociado a otros sistemas de filtración.

## ★ 8. MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES

so de fabricación de fabricación de carbono y electrografito, las mejores técnicas disponibles desde la óptica medioambiental. Este sector, como ya se ha comentado, en España está constituido por dos

### 8.1 Etapa: Preparación de materias primas

PROBLEMA M.A.	MTD's	%Reducción	Límites emisión (1)	OBSERVACIONES
Partículas y polvos	Trituradora de rodillos Molino de rodillos/martillos Mezclador cilíndrico Sistema de filtros	99%	20-30 mg/Nm <sup>3</sup>	Elevada reducción de las emisiones

(1) Informe del IPTS a la Comisión Europea.

### 8.2 Etapa: Formado

PROBLEMA M.A.	MTD's	%Reducción	Límites emisión (1)	OBSERVACIONES
Partículas y polvo	Extrusión con prensa basculante Filtro de humo	99%	5-10 mg/Nm <sup>3</sup>	Prensa de elevada eficiencia y versatilidad granulométrica, lo que permite una reducción importante de los residuos.

(1) Informe del IPTS a la Comisión Europea.

### 8.3 Etapa: Horneado

PROBLEMA M.A.	MTD's	%Reducción	Límites emisión (1)	OBSERVACIONES
Partículas	Horno de solera móvil Filtro de mangas	99%	25-30 mg/Nm <sup>3</sup>	Los filtros de manga son ampliamente utilizados en la actualidad.
HAP's			0,5-8 mg/Nm <sup>3</sup>	
SO <sub>2</sub>			100-800 mg/Nm <sup>3</sup>	
NO <sub>x</sub>			50-500 mg/Nm <sup>3</sup>	

(1) Informe del IPTS a la Comisión Europea

### 8.4 Etapa: Impregnación

PROBLEMA M.A.	MTD's	%Reducción	Límites emisión (1)	OBSERVACIONES
Partículas	Precalentamiento de electrodos	N.D.	25-30 mg/Nm <sup>3</sup>	Buena práctica
HAP's			0,5-8 mg/Nm <sup>3</sup>	
SO <sub>2</sub>			100-800 mg/Nm <sup>3</sup>	
NO <sub>x</sub>			50-500 mg/Nm <sup>3</sup>	

(1) Informe del IPTS a la Comisión Europea

### 8.5 Etapa: Grafitización

PROBLEMA M.A.	MTD's	%Reducción	Límites emisión (1)	OBSERVACIONES
Partículas y polvo	Rehorneado	99%	20-30 mg/Nm <sup>3</sup>	Técnica ampliamente utilizada por el sector

(1) Informe del IPTS a la Comisión Europea

## ★ 9. TÉCNICAS EMERGENTES

empresas multinacionales, las cuales cuentan con departamentos de I+D y departamentos técnicos que dirigen sus esfuerzos hacia el desarrollo de nuevas aplicaciones y tecnologías con el propósito de mejorar la calidad de los productos y la eficiencia del proceso.

Al ser un sector industrial muy específico y estar en manos de un número escaso de empresas, depende de los desarrollos tecnológicos propios. Cabe destacar un horno de Solera Móvil de reciente desarrollo, del cual comentamos las características más importantes:

- Ubicado sobre la superficie.
- La solera es montada sobre ruedas y situada sobre un carril.
- La solera está aislada del depósito de calor por una capa de agua.
- Estos hornos proporcionan un mejor control de la temperatura y presión y una mayor uniformidad del producto.
- El desarrollo de cámaras de combustión de acero inoxidable ha mejorado la efectividad del calor de estos hornos.
- Además de reducir los requerimientos totales de energía en un 60-70%, estas cámaras permiten el uso de maquinaria automática en carga, descarga y manejo de los electrodos.

## ★ 10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 10.1 Problemática medioambiental y carencias tecnológicas

Este subsector tiene capacidad para modificar sus procedimientos buscando niveles de producción más limpia. Las principales medidas a tener en cuenta para una mayor protección del medio ambiente, van encaminadas a minimizar las emisiones mediante mejoras en la manipulación y procesos de preparación de la materia prima, procesos de horneado, etc.

Desde el punto de vista medioambiental, las instalaciones industriales productoras de electrodos de grafito se enfrentan fundamentalmente a problemas de contaminación atmosférica. En todas las instalaciones existen técnicas adecuadas para reducir este tipo de emisiones, normalmente consistentes en filtros de mangas o ciclones con algún sistema combinado de precipitación de partículas. El problema es conseguir que con los productos que se fabrican, los niveles de emisión registrados puedan disminuirse aún más, en lo cual se está trabajando.

Desde el punto de vista tecnológico la industria española de fabricación de carbono y electrografito está al mismo nivel que su entorno europeo, por el hecho ya mencionado de tratarse de multinacionales.

## 10.2 Recomendaciones y actuaciones previstas

Este sector está incluido en el Grupo de Trabajo Técnico del IPTS correspondiente la Metalurgia no Férrica y pretende tener el documento de referencia terminado en enero del 2000, pero debido a la complejidad del tema, el nivel de respuesta de los distintos subgrupos está siendo muy diversa.

Una demanda común de todo el sector metalúrgico y entre ellos los fabricantes de carbono y electrografito es la necesidad de exigir a la administración ambiental la adecuación de la legislación y sobre todo la actualización de la misma.

Al mismo tiempo que se produce dicha adecuación y actualización, es necesario que dicha legislación esté especificada para cada sector industrial y concretamente en la industria del carbono se hace imprescindible para tener criterios objetivos en los que ampararse y cubrir la posible indefensión jurídica que éstos pueden llegar a producir.

Por otro lado, es necesario que la administración ambiental adopte las medidas necesarias para establecer criterios válidos en todo el territorio nacional en cuanto a la recogida de datos y metodologías analíticas, de tal forma que con unos criterios mínimos y de aplicación general, pueden establecerse comparaciones y actuar sobre aquellos elementos realmente perjudiciales para el medio ambiente, así como tomar las medidas necesarias en cuanto a políticas industriales y de modernización del sector.



Ejecución Técnica: