

Guías Tecnológicas

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

Epígrafe 2.5

Ferroaleaciones



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 ferrocarriles 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

1.2 Metodología de trabajo

En colaboración con las diferentes asociaciones empresariales y demás entidades con competencias en cada sector, 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 dos instalaciones de las cinco potencialmente afectadas, en función del tipo de producto fabricado.

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 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.

1.4 Entidades participantes

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

★ 2. LA INDUSTRIA DE LAS FERROALEACIONES EN ESPAÑA

2.1 Panorama general del sector

La situación general de este sector en España se caracteriza por la existencia de una única compañía de producción líder a nivel nacional y que ocupa el tercer lugar a nivel europeo entre las empresas dedicadas a la producción de ferroaleaciones.

PRODUCTO	Producción (Toneladas)				
	1993	1994	1995	1996	1997
Ferromanganeso	40.000	35.000	25.000	30.000	35.000
Ferrosilicio	30.000	25.000	30.000	30.000	30.000
Silicomanganeso	35.000	35.000	50.000	70.000	100.000
Silicio metal	5.000	3.000	5.000	5.000	15.000

Fuente: Informe IPTS de la Comisión Europea.

Esta empresa líder posee cinco centros productivos, los cuales cuentan con sus propios recursos básicos: fuentes de energía (amplios recursos hidroeléctricos, gracias a sus propias centrales en las cuencas del Xallas y del Cinca y a grupos de cogeneración) y explotaciones del mineral de cuarzo.

La industria de ferroaleaciones esta ligada intimamente y se desarrolla de forma conjunta a la industria siderúrgica, como elemento indispensable en su proceso de fabricación y contribuye de manera decisiva en el desarrollo de otros tres sectores básicos: aluminio, siliconas y electrodos de soldadura.

Las ferroaleaciones producidas a nivel nacional se resumen a continuación:

- Ferromanganeso standard, medio y bajo carbono.
- Ferrosilicomanganeso standard y superafinado.
- Ferrosilicio.
- Silicio metal.
- Microsilice.

El ferromanganeso, silicomanganeso y el ferrosilicio se emplean en un 90% en la fabricación de acero y un 10% en fundición, como desoxidantes y como aportadores de elementos de aleación.

El silicio metal se utiliza preferentemente en la fabricación de aleaciones de aluminio, así como para aplicaciones químicas, fundamentalmente siliconas. Sin embargo, en la siderurgia apenas tiene aplicación, salvo en aceros especiales como sustituto del FeSi.

La microsilice tiene aplicación en la preparación de hormigones, proporcionando mayor resistencia mecánica, mayor impermeabilidad y mayor resistencia al ataque químico.

2.2 Actividades e instalaciones afectadas por la Directiva 96/61

Bajo la definición del epígrafe 2.5.a están afectadas las actividades del sector de fabricación de ferroaleaciones. En términos del CNAE-93, este sector agrupa las siguientes categorías:

- 2745 "Producción y primera transformación de otros metales no férreos".
- 2840 "Forja, estampación y embutición de metales, metalurgia de polvos".
- 27100 "Ferroaleaciones CECA".
- 27351 "Ferroaleaciones no CECA".

Las instalaciones de producción de ferroaleaciones afectadas por la aplicación de la Directiva IPPC, se encuentran localizadas en las siguientes Comunidades Autónomas:

COMUNIDAD AUTÓNOMA	LOCALIZACIÓN	TIPO DE PRODUCTO
Galicia	Sabón	Silicio metal y Microsilice
	Dumbria	FeSi
	Cee	FeSi,FeMn y SiMn
Cantabria	Boo de Guamizo	FeMn y SiMn estandar y FeMn MC
Aragón	Monzón	FeMn MC y BC,y de SiMn superafinado

★ 3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO PRODUCTIVO

3.1 Diagrama de proceso

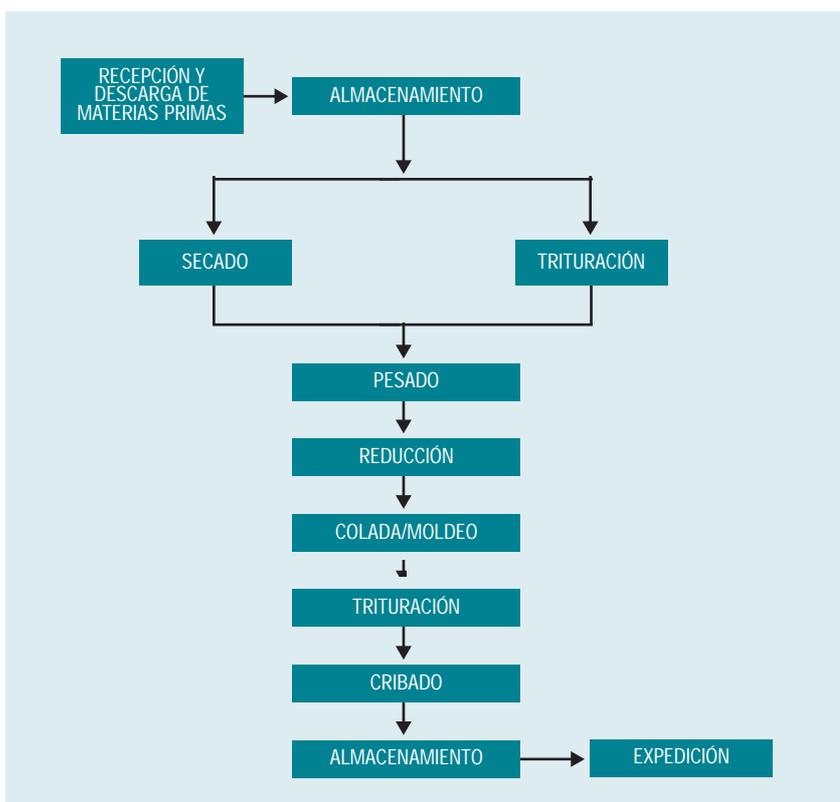
Las ferroaleaciones confieren a los productos de hierro o acero diferentes calidades y presentan diferentes funciones durante los ciclos de producción. Dependiendo de las materias primas utilizadas, la producción se realizará mediante un proceso primario o secundario. Las reacciones químicas básicas que se da en ambos procesos son las siguientes:

Proceso Primario: Metal oxidado + Hierro mineral/chatarra + Reductor → Ferroaleación + Oxido de reductor + escorias

Proceso Secundario: Chatarra metálica + Chatarra de hierro → Ferroaleación

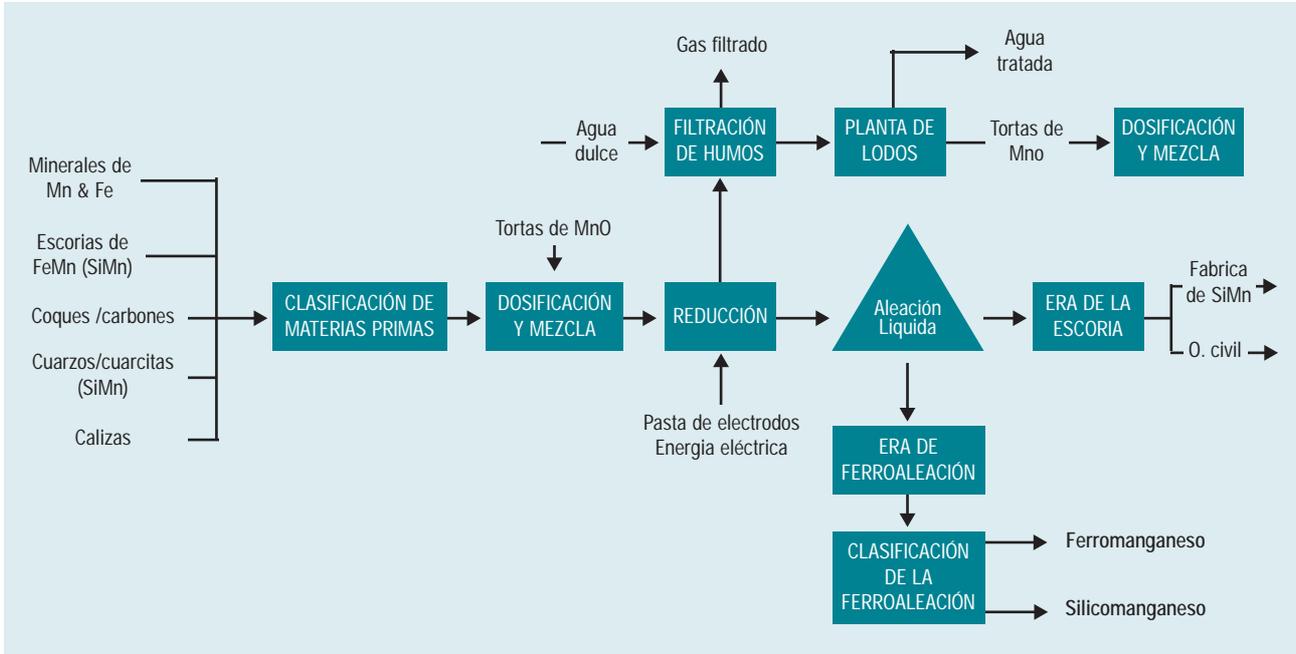
Las principales ferroaleaciones son las de manganeso y silicio. Sin embargo, es común en el mercado la producción de ferroaleaciones basándose en otros elementos químicos como: bario, cobalto, cobre, molibdeno, níquel, fósforo, titanio, tungsteno, vanadio y zirconio entre otros.

A continuación se muestra un diagrama general del proceso:

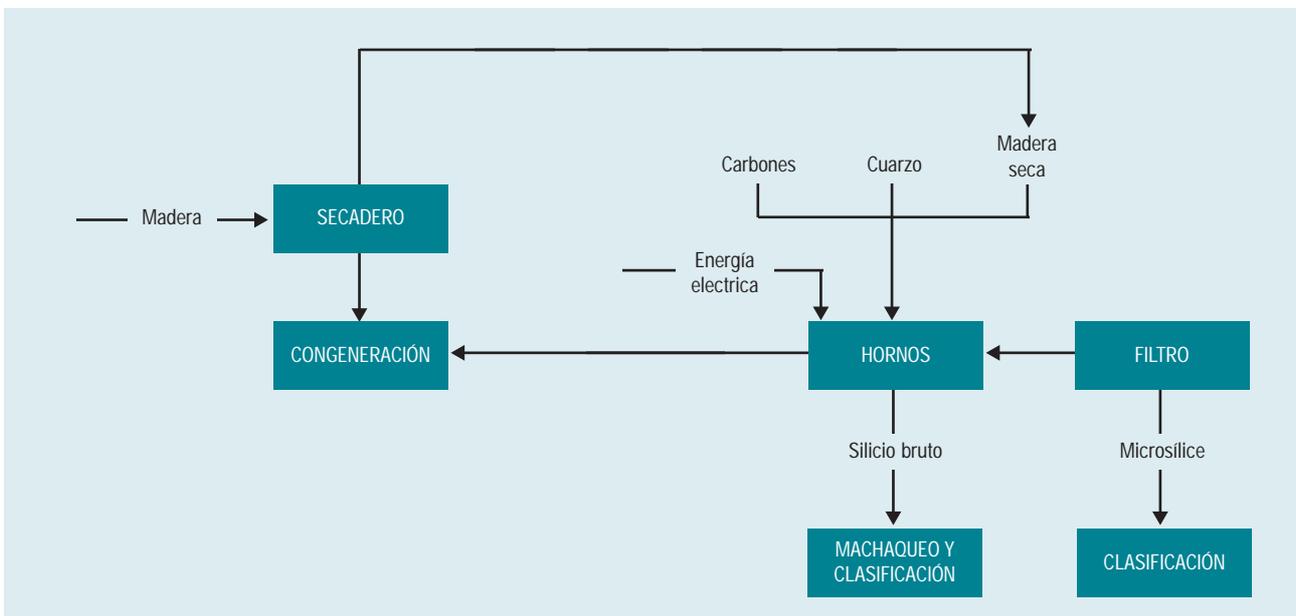


Dependiendo del tipo de producto fabricado, el proceso sufre ligeras variaciones tal y como queda reflejado en los siguientes diagramas:

ESQUEMA DE OBTENCIÓN DE FERROMANGANESO Y SILICOMANGANESO



ESQUEMA DE OBTENCIÓN DE SILICIO METAL



3.2 Problemática medioambiental

La fabricación de ferroaleaciones, es un proceso donde se consume mucha energía debido a las altas temperaturas que se necesitan. Es también una fuente potencial de contaminación del aire, agua y en menor medida del suelo.

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

ETAPA	PROBLEMÁTICA MEDIOAMBIENTAL	AFECCIÓN
RECEPCIÓN, CLASIFICACIÓN Y DOSIFICACIÓN DE MATERIAS PRIMAS	C. ATMOSFÉRICA	Partículas y polvo de origen mineral
	C. RESIDUOS	Aceites y grasas usados
REDUCCIÓN DE LOS MINERALES (HORNO)	C. ATMOSFÉRICA	Partículas y emisiones gaseosas (SO _x , CO _x , N ₂ , H ₂)
	C. RESIDUOS	Lodos, escorias y finos de filtro
	C. HÍDRICA	Aguas de depuración de gases
TRITURACIÓN Y CRIBADO	C. ATMOSFÉRICA	Polvos
	C. RESIDUOS	Aceites y grasas usados

★ **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 ambiental y para cuya reducción se recomienda la aplicación de una MTD.

Estas tecnologías se recomiendan fundamentalmente para las etapas de reducción de los minerales y de trituración y cribado. Estas dos últimas operaciones se realizan en dos puntos diferentes del proceso productivo, bien como tratamiento del mineral antes de ser introducido en el horno o una vez obtenida la ferroaleación como etapa previa a la expedición del producto.

4.1 Etapa: Reducción de minerales (horno)

Ferromanganeso (FeMn)

CONSUMOS	CARACTERIZACIÓN	CANTIDADES
Materias primas	Mineral de manganeso (MnO ₂ , MnO, CaO), Silíce, Fe ₂ O ₃	Mineral: 2.100-2.200 Kg/T producto
Materias secundarias	Fundentes (Caliza, cuarzita) Agente reductor (coque, carbón, madera) (1)	Carbones: 390-425 Kg/T producto
	Agua de refrigeración	2,2 m ³ /T producto
Energía	E. Eléctrica (2)	1.600-3.000 KWh/T producto (3)

(1) La calidad del carbón es importante desde el punto de vista medioambiental por su contenido en azufre y otros elementos contaminantes. El coque, además de agente reductor, es utilizado como fuente de energía en el caso de la producción de HC FeMn en alto horno.

(2) La cantidad de energía eléctrica consumida corresponden al proceso con horno eléctrico de arco sumergido sin recuperación de energía.

(3) Los consumos varían en función del producto final: HC FeMn (más consumo) y MC, LC Fe Mn (menor).

EFEECTO M.A	ASPECTO M.A	CARACT.	CANTIDAD	TRATAMIENTO ACTUAL
Residuos	Escorias	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , CaO	HF FeMn: 0,4 T/T producto	La escoria, si es de calidad adecuada y rica en MnO, se reutiliza como materia prima en la producción de SiMn, si no se utiliza para relleno
			MC y LC FeMn: 1,6-1,9 T/T producto	
	Lodos depuradora	Mn, MnO, SiO ₂ , y trazas de C, Al ₂ O ₃ , CaO	30-50 Kg/T producto	Reutilización
	Finos de filtro del horno	CaO, MnO, FeO, SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , MgO	N.D.	Se mezclan con escoria de SiMn.
C. Atmosférica	Gases	Partículas	HC FeMn: 5-60 mg/Nm ³ (1)	Con la utilización de Bag-house se puede alcanzar una emisión de polvo de 5 mg/Nm ³
			MC y LC FeMn: <25 mg/Nm ³	
		SO ₂	HC FeMn: 0,02-0,03 Kg/T producto (1)	-
		CO ₂	HC FeMn: 1.200-1.500 Kg/T producto (1)	-
			MC LC FeMn: 1.560-2.340 Kg/T producto	(2)
CO, N ₂ , H ₂	N.D.	-		
C. Hídrica	Aguas depuración de gases	Agua salada, CaO, SiO ₂ , MnO	20 m ³ /h (3)	Tratamiento físico-químico.

(1) Datos referidos a horno eléctrico de arco sumergido.

(2) El valor de CO₂ corresponde al proceso de reducción exotérmica del silicio. Si se produce MC FeMn a partir del HC FeMn, sería de 100-500 Kg/T producto.

(3) En caso de circuito cerrado el vertido es nulo.

Silicomanganeso (SiMn)

CONSUMOS	CARACTERIZACIÓN	CANTIDAD
Materias primas	Mineral de manganeso (MnO ₂ , MnO, CaO), Silice, Fe ₂ O ₃	Mineral Mn: 500-1.700 Kg/T producto
		Escorias FeMn: 400-2.500 Kg/T producto
		Electrodos: 2-30 Kg/T producto
Materias secundarias	Fundentes	Cuarzita: 12.000-29.000 T/año
	Agente reductor (coque, carbón, astillas de madera) (1)	Coque: 400-600 Kg/T producto
Energía	E. Eléctrica (2)	3.800-6.000 KWh/T producto

(1) La calidad del carbón es importante desde el punto de vista medioambiental, por su contenido en azufre y otros elementos contaminantes.

(2) La cantidad de energía eléctrica consumida corresponde al proceso con horno eléctrico de arco sumergido sin recuperación de energía.

EFEECTO M.A	ASPECTO M.A	CARACT.	CANTIDAD	TRATAMIENTO ACTUAL
Residuos	Escorias	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , CaO	0,9-2,2 T/T producto	La escoria, si es de calidad adecuada y rica en MnO, se reutiliza como materia prima en la producción de SiMn, si no se utiliza para relleno
	Lodos depuradora	Mn, MnO, SiO ₂ , y trazas de C, Al ₂ O ₃ , CaO	30-50 Kg/T producto	Reutilización
	Finos de filtro del horno	CaO, MnO, FeO, SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , MgO	N.D.	Se mezclan con escoria de SiMn
C. Atmosférica	Gases	Partículas	5-60 mg/Nm ³	Con la utilización de Bag-house se puede alcanzar una emisión de polvo de 5 mg/Nm ³
		SO ₂	Irrelevante	-
		CO ₂	1.100-1.800 Kg/T producto	-
		CO, N ₂ , H ₂	N.D.	-
C. Hídrica	Aguas depuración de gases	Agua, salada, CaO, SiO ₂ , MnO	20 m ³ /h (1)	Tratamiento físico-químico.

(1) En caso de circuito cerrado el vertido es nulo.

Ferrosiliceo

CONSUMOS	CARACTERIZACIÓN	CANTIDAD
Materias primas	Cuarzo (SiO ₂ , Fe ₂ O ₃)	1.800 Kg/T producto
	Electrodos	50 Kg/T producto
Materias secundarias	Fundentes (cuarzita, caliza) Agente reductor (coque, carbón, astillas de madera) (1)	Reductor: 850 Kg/T producto
Energía	E. Eléctrica (2)	8.500 KWh/T producto

(1) La calidad del carbón es importante desde el punto de vista medioambiental, por su contenido en azufre y otros elementos contaminantes.

(2) La cantidad de energía eléctrica consumida corresponde al proceso con horno eléctrico de arco sumergido sin recuperación de energía.

EFFECTO M.A	ASPECTO M.A	CARACT.	CANTIDAD	TRATAMIENTO ACTUAL
Residuos	Escorias	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , CaO	<1%	La escoria, si es de calidad adecuada y rica en MnO, se reutiliza como materia prima en la producción de SiMn, si no se utiliza para relleno
	Lodos depuradora	Mn, MnO, SiO ₂ , y trazas de C, Al ₂ O ₃ , CaO	200-300 Kg/T producto	Reutilización
	Finos de filtro del horno	CaO, MnO, FeO, SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , MgO	N.D.	Se mezclan con escoria de SiMn
C. Atmosférica	Gases	Partículas	1-20 mg/Nm ³	Con la utilización de Bag-house se puede alcanzar una emisión de polvo de 5 mg/Nm ³
		SO ₂	20 Kg/T producto	En producciones de alta calidad
		CO ₂	4.240 Kg/T producto	Fósil y biológico
		NO _x	15 Kg/T producto	-
		HAP's	0,0015 Kg/T producto	-
		Metales pesados	0,78 µgHG/Nm ³	-
		COV's	0,045 Kg/T producto	-
C. Hídrica	Aguas depuración de gases	Agua salada, CaO, SiO ₂ , MnO	20 m ³ /h (1)	Tratamiento físico-químico

(1) En caso de circuito cerrado el vertido es nulo.

Silicio metálico

CONSUMOS	CARACTERIZACIÓN	CANTIDAD
Materias primas	Cuarzo (SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ , CaO)	2.600 Kg/T producto
	Electrodos	100 Kg/T producto
Materias secundarias	Fundentes (cuarzita, caliza) Agente reductor (coque, carbón, astillas de madera) (1)	Reductor: 1.150-1.500 Kg/T producto Madera: 1.000-2.000 Kg/T producto
Energía	E. Eléctrica (2)	10.800-12.000 KWh/T producto

(1) La calidad del carbón es importante desde el punto de vista medioambiental, por su contenido en azufre y otros elementos contaminantes.

(2) La cantidad de energía eléctrica consumida corresponde al proceso con horno eléctrico de arco sumergido sin recuperación de energía.

EFFECTO M.A	ASPECTO M.A	CARACT.	CANTIDAAD	TRATAMIENTO ACTUAL
Residuos	Escorias	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , CaO	< 1%	La escoria, si es de calidad adecuada y rica en MnO, se reutiliza como materia prima en la producción de SiMn, si no se utiliza para relleno
	Lodos depuradora	Mn, MnO, SiO ₂ , y trazas de C, Al ₂ O ₃ , CaO	300-400 Kg/T producto	Reutilización
	Finos de filtro del horno	CaO, MnO, FeO, SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , MgO	N.D.	Se mezclan con escoria de SiMn
C. Atmosférica	Gases	Partículas	1-20 mg/Nm ³	Con la utilización de Bag-house se puede alcanzar una emisión de polvo de 5 mg/Nm ³
		SO ₂	12-18 Kg/T producto	En producciones de alta calidad
		CO ₂	6.500 Kg/T producto	Fósil y biológico
		NO _x	10-13 Kg/T producto	-
		HAP's	0,003 Kg/T producto	-
		Metales pesados	0,131 µgHG/Nm ³	-
C. Hídrica	Aguas depuración de gases	COV's	0,13 Kg/T producto	-
		Agua salada, CaO, SiO ₂ , MnO	20 m ³ /h (1)	Tratamiento físico-químico

(1) En caso de circuito cerrado el vertido es nulo.

4.2 Etapa: Trituración y cribado

CONSUMOS	CARACTERIZACIÓN	CANTIDAD
Materias primas	Minerales y ferroaleaciones	Elevada
Energía	E. Eléctrica	N.D.

EFFECTO M.A	ASPECTO M.A	CARACT.	CANTIDAAD	TRATAMIENTO ACTUAL
Residuos	Aceites, grasas y trapos (1)	RP	N.D.	Minimización y gestor autorizado
C. Atmosférica	Polvos	CaO, MnO, FeO, SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , MgO, otros	< 0,2%	Aspiración y humectación del terreno
C. Acústica	Trituradoras	Molesta	N.D.	-

(1) De operaciones de mantenimiento de maquinaria.



5. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE MTD'S

El primer criterio, el cual está reflejado en el Anexo III de la Directiva, es la lista indicativa de las principales sustancias contaminantes que se tomarán en cuenta obligatoriamente, y si es pertinente se fijarán valores límites de emisión en:

- Óxidos de azufre y otros compuestos de azufre.
- Óxidos 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) 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 que supone la implantación de una MTD.

★ 6. TÉCNICAS DISPONIBLES

En la siguiente tabla se resumen los distintos procesos existentes para la reducción de los minerales, señalando los distintos grupos de ferroaleaciones producidas:

PROCESO	PRODUCTOS
Horno eléctrico trifásico de arco sumergido	FeSi (50% Si) FeSi (65-75% Si) Si metal Si/Mn/Zr (SMZ) HC FeMn (alto carbono, 7,5%) Silicomanganeso (15-35% Si) Fe-Cr/Si FeSi (90% Si)
Reducción silicotérmica	MC FeMn (medio carbono, 1,3%) LC FeMn (bajo carbono, <0,75%)
Alto horno	HC FeMn (alto carbono)

En España tan solo se obtienen ferroaleaciones de FeSi, FeMn, SiMn y silicio metal. Por ello, en nuestro país, tan solo se utilizan dos procesos tipo, siendo el más utilizado (hasta el punto de estar estandarizado dentro de la industria española del sector de ferroaleaciones) el proceso de reducción en horno eléctrico de arco sumergido, dotado de electrodos de acción conjunta.

La producción de ferromanganeso con alto contenido en carbono (HC FeMn), se puede realizar tanto en un alto horno como en un horno eléctrico de arco sumergido. Casi la totalidad de los productores usan el horno eléctrico debido a que el consumo en coque es mucho más bajo (410-450 kg/T, frente a 1.100-1.450 kg/T), ya que solo lo utilizan como agente reductor y no como fuente de energía para el horno. En consecuencia las emisiones de CO a la atmósfera se reducen considerablemente.

Dentro del horno eléctrico de arco sumergido, como técnica disponible en la etapa de reducción del mineral, existen tres variaciones las cuales comentamos brevemente a continuación:

Horno eléctrico trifásico de arco sumergido abierto

PRODUCTOS	FeMn, SiMn, FeSi, Si Metal y ferroaleaciones recicladas
VENTAJAS	Diseño sencillo Para cualquier tipo de materia prima Fácil control de proceso Producción de agua caliente Costes de inversión y mantenimiento bajos
DESVENTAJAS	Consumo alto de energía No recuperación de calor (menos el del agua) Gran volumen de emisiones a la atmósfera Necesidad de sistemas de control de la contaminación Alto impacto medioambiental

Horno eléctrico de arco sumergido semiabierto

PRODUCTOS	FeMn,SiMn,FeSi,Si Metal
VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> Gran flexibilidad de materias.primas Recuperación de energía como E. Eléctrica Producción de agua caliente Menos emisiones Fácil control de proceso Reducción del impacto medioambiental
DESVENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> Consumo de energía relativamente alto Sistema más complejo Coste de mantenimiento alto Puede usar cantidades limitadas de finos sin aglomeración

Horno eléctrico de arco sumergido cubierto

PRODUCTOS	FeMn
VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> Sistema bastante sencillo Recuperación de energía en forma de gas rico en CO como combustible secundario Bajo impacto medioambiental Volumen bajo en emisiones
DESVENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> Emisiones constituidas mayormente por CO (explosivo y tóxico) Sistema de limpieza de gas húmedo Las aguas residuales y lodos necesitan ser tratados para reutilizarlos

★ 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 de ferroaleaciones.

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. De esta manera, es necesario recurrir a técnicas secundarias en las etapas de Reducción (horno), Trituración y Cribado, las cuales son objeto de la aplicación de las MTDs para el control de las emisiones.

7.1 Tipo de contaminación: Emisiones gaseosas

TÉCNICA	ETAPA	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	COSTE		OBSERVACIONES
			INV. (Mpts)	OPER. (Pts/T)	
Filtro de mangas	Reducción	Rendimiento:99% Límites alcanzables: - Partículas:1-5 mg/Nm ³	Bajo	Medio (3)	La más extendida. Es necesario un enfriamiento previo de los gases.
Precipitadores electrostáticos		Rendimiento:95%	Alto		Puede operar a altas temperaturas. Problema de erosión de los equipos
Ciclones	Reducción, trituración y cribado	Rendimiento:medio	Bajo		Eficiencia baja para partículas de pequeño tamaño (2-3 micras)
Lavadores húmedos		Rendimiento:alto Límites alcanzables: - Polvo:20 mg/Nm ³ - SO ₂ :<50 mg/Nm ³ - Otros gases:<5 mg/Nm ³	N.D.		Torres de lavado

7.2 Tipo de contaminación: Consumo de energía

El proceso de producción de ferroaleaciones se caracteriza por un elevado consumo de energía. Existen diferentes técnicas que hacen viable su recuperación.

Utilización del CO presente en las emisiones de un horno de arco sumergido cubierto o de un alto horno (producción de HC FeMn).

Este tipo de hornos genera emisiones ricas en CO (70-90%). Tras pasar por las torres de lavado (lavadores de gases en cascada), son sometidas a un proceso de combustión con aire donde el vapor a alta presión pasa por unas turbinas de baja presión y la energía es recuperada como electricidad.

Esta técnica reduce el consumo total del proceso (supone un 13,5% del total de energía requerida por el proceso) y de manera consecuente minimiza el impacto de las emisiones de CO₂.

Utilización de un horno de arco sumergido semiabierto

La energía procedente de las emisiones calientes del horno puede ser recuperada en una caldera, obteniendo un vapor sobrecalentado. Dicho vapor se pasa por una turbina, obteniéndose electricidad.

Esta técnica reduce el consumo total del proceso, suponiendo el 28-33% del total de energía consumida en el proceso.

★ 8. MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES

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

8.1 Emisiones a la atmósfera

Disminución de las emisiones a la atmósfera

En las etapas de almacenamiento y acondicionamiento de materias primas deben tenerse en cuenta medidas una serie de buenas prácticas viables desde el punto de vista económico y técnico. No suponen grandes inversiones y en cambio minimizan considerablemente las emisiones de partículas y polvos:

- Almacenamientos en contenedores cerrados.
- Recepción de materias primas a ser posibles humedecidas y/o en vehículos cerrados.
- La maquinaria y equipos utilizados en el tratamiento de las materias primas (recepción y clasificación) deben de estar aislados y debidamente cerrados. Siempre que se pueda y especialmente en los puntos de descarga o transferencia, debe 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.).

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 de evitarse la descarga por caída libre de materiales pulverulentos.

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

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

Tratamiento de los efluentes líquidos

Las aguas de refrigeración, siempre que no estén contaminadas no deben tratarse con el resto de aguas residuales y procurar siempre su 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, la toma de medidas preventivas y un correcto mantenimiento. Deben considerarse las zonas de una planta con posibilidades de fugas en los diseños iniciales así como en 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 existen técnicas disponibles más o menos viables desde el punto de vista económico, en función de la instalación, que contemplan los procedimientos electrolíticos para el tratamiento de efluentes. Su eficacia es variable en función de los procesos, 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.

En cualquier caso las aguas residuales deben siempre someterse a los medios de depuración necesarios para alcanzar los niveles permitidos por la legislación vigente.

Disminución de residuos y prevención de la contaminación del suelo

Se debe 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, buscando la manera de minimizar en lo posible el volumen de los mismos.

El problema de los lodos secos resultantes del tratamiento de las aguas residuales de la depuración de los gases con un importante contenido en óxido de manganeso, así como el de las escorias de silicomanganeso, quedan resueltos ya que los primeros se pueden recircular al proceso y los segundos se reutilizan en el sector de la construcción.

8.2 Técnicas secundarias

Etapa: Reducción (horno)

Problema M.A	MTD'S	Indicadores medioambientales	Límites legislados (1)	
Emisiones gaseosas y consumo energético	H.Eléctrico de arco sumergido semiabierto (2)	Recuperación del 28-33% de energía y reducción de emisiones	Partículas	10 Kg/T producto (para FeSi)
				0,3 Kg/T producto (para SiMn y FeMn)
	H.Eléctrico de arco sumergido cubierto (3)	Recuperación del 13,5% de energía a partir del CO y reducción de emisiones	CO	500 ppm
			SO ₂	4.300 mg/Nm ³
	Alto horno (4)	Recuperación del 23,5% de energía (coque) a partir del CO y reducción de emisiones	Partículas	10 Kg/T producto (para FeSi)
				0,3 Kg/T producto (para SiMn y FeMn)
CO			1.445 ppm	
		SO ₂	2.400 mg/Nm ³	

(1) RD 833/1975 de 6 de febrero que desarrolla la Ley 38/1972 de 22 de 3 Diciembre.

(2) Para ferroaleaciones de FeSi, Si metal, HC FeMn y SiMn. Estos sistemas se complementan con sistemas de depuración de gases tipo filtro de mangas, que debidamente dimensionados son de absoluta fiabilidad y eficacia, alcanzando así los niveles de emisión permitidos.

(3) Para ferroaleaciones de HC FeMn y SiMn. Estos sistemas se complementan con sistemas de depuración de gases en seco o húmedo.

(4) Para ferroaleaciones de HC FeMn. Debido al alto consumo de coque de este tipo de hornos, debe ser considerada una MTD, solo en el caso de ir asociado a una recuperación eficiente de energía a partir del CO contenido en las emisiones. Esto requiere unos sistemas de control y de reducción (captador de polvos, electrofiltro y lavador de gases) de alto rendimiento.

★ 9. TÉCNICAS EMERGENTES

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

9.1 Horno cubierto

La operación en este tipo de hornos para la producción de ferrosilicio y silicio metálico todavía no ha sido desarrollada de forma exitosa.



10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1 Problemática medioambiental y carencias tecnológicas

Desde el punto de vista medioambiental, las instalaciones industriales productoras de ferroaleaciones se enfrentan a problemas de contaminación atmosférica, residuos y, en menor medida, contaminación del agua. Además se enfrentan a un problema de excesivo consumo energético.

De manera resumida se establecen según el medio potencialmente afectado los aspectos medioambientales significativos y algunas soluciones que pueden emplearse.

Contaminación atmosférica

Durante las distintas operaciones se emiten a la atmósfera gases (productos de la reducción: óxidos de carbono, óxidos de nitrógeno) y partículas de distinta índole. Dentro de las actuaciones necesarias y de forma particular en el sector de la producción de ferroaleaciones cara a la Directiva IPPC, destacamos:

- Aumento de los edificios cerrados para el almacenamiento de las materias primas.
- Instalación de filtros para la eliminación de los humos de colada de los hornos y del vertido de las ferroaleaciones líquidas en eras o lingoteras.
- Instalación de filtros en las áreas de trituración y cribado de las ferroaleaciones para su expedición.
- Instalación de recintos cerrados para la captación de los finos en la carga de camiones.

Contaminación del agua

Como consecuencia de las distintas operaciones se generan aguas residuales que deben ser tratadas antes de verterse en un cauce o colector, ya que tendrán que cumplir la legislación específica aplicable.

Los contaminantes que pueden aparecer en las aguas residuales de una planta metalúrgica son: arsénico, cadmio, cobre, flúor, plomo, manganeso, mercurio, azufre en forma de sulfato o sulfito, zinc, nitrógeno amoniacal, DBO, etc.

Para la purificación de las aguas residuales, de forma general se llevan a cabo distintos tratamientos como:

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

En el caso particular del sector de ferroaleaciones, es necesario una instalación para el tratamiento de los lodos procedentes de la depuración vía húmeda de los humos de los hornos y para la recirculación de las aguas a los depuradores de humos.

Residuos

Durante el tratamiento térmico de minerales y concentrados, los gases arrastran impurezas que deben eliminarse antes de utilizarlos en cualquier tipo de producción secundaria, o de emitirlos a la atmósfera.

Las alternativas para el tratamiento de residuos metalúrgicos dependen de si el residuo es o no reciclable. Si lo es, la mejor alternativa es reciclarlo en el mismo lugar donde se ha generado, pero si desde el punto de vista económico y técnico no es viable debe ser enviado a una planta de reciclado externa.

Si el residuo no es reciclable, debe procurarse una minimización de su impacto ambiental, con depósito definitivo en el lugar de producción o en un lugar lo más próximo posible al mismo.

En el caso particular de las ferroaleaciones, se requiere de instalaciones para el briqueteado de los finos procedentes de los filtros y de los lodos para su fácil manejo y optimizar su empleo a la hora de la recirculación a los hornos.

Consumo de energía

Como hemos comentado, el consumo de energía en el proceso de producción de ferroaleaciones es importante. Para paliar este efecto se recomienda el uso de técnicas de recuperación de energía, tanto calorífica como eléctrica, a partir del CO contenido en las emisiones procedentes de los distintos hornos que se utilizan en este tipo de plantas metalúrgicas.

10.2 Recomendaciones y actuaciones previstas

Se demanda la elaboración de una legislación sectorial que contemple las particularidades de las instalaciones del sector. Los objetivos que deberían cumplirse con esta demanda es la actualización de la legislación que le afecta, que sirva de referencia para todo el territorio nacional, y en su caso, contar con las especificaciones que deben contemplarse debido a la trasposición de la Directiva IPPC.

Asimismo, se considera imprescindible la coordinación entre todas las Administraciones ambientales en lo que a la tramitación, actualización y revisión de permisos se refiere, de tal forma que en lo posible se dependa de una única autoridad que sea la que diseñe el procedimiento administrativo para tales fines.

También se demanda la existencia de procedimientos de control e inspección con una mínima homogeneidad de criterios, que sean de obligado cumplimiento y aplicación en todo el territorio nacional, para evitar los posibles favoritismos entre unas y otras regiones, lo cual perjudicaría seriamente al sector desde el punto de vista competitivo. Para ello se considera que debería existir una legislación específica básica estatal que recogiera dichos criterios.

Se hace necesario dotar al sector de una normalización legalizada para la realización de ensayos que permitan la caracterización de los residuos y su posible clasificación, si procede, como peligrosos e incorporar límites alcanzables y no utópicos, con la técnica disponible actualmente.

Los trabajos a nivel europeo para la determinación de las MTD's están muy avanzados ya que comenzaron en el año 1998. Junto a la metalurgia no férrea (Grupos de Trabajo Técnicos número 6 y 7), se están desarrollando los trabajos del epígrafe 6.8 relativo a la fabricación de carbón y electrografito.



Colaboran:



Ejecución Técnica:

