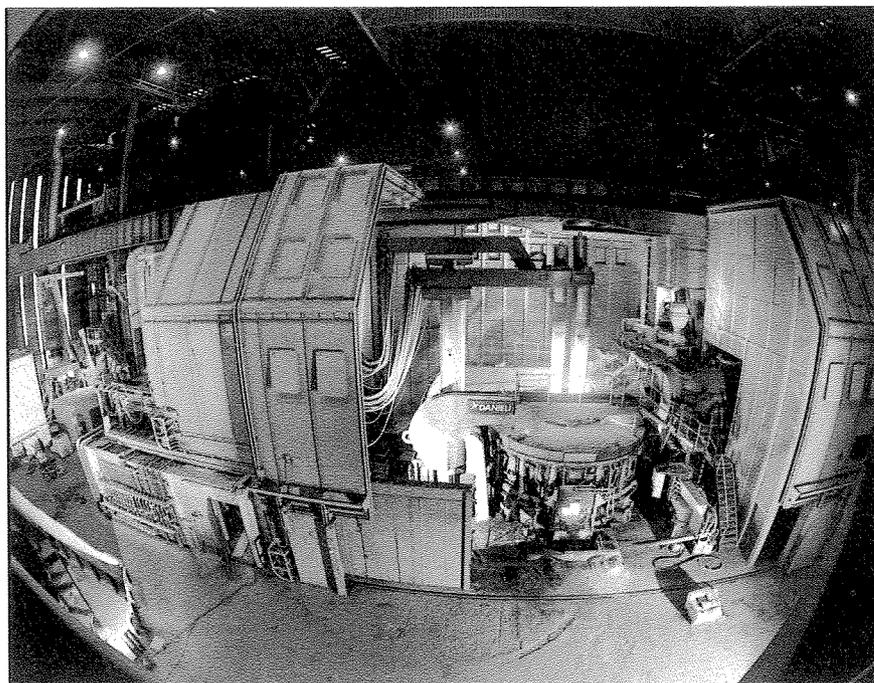


FABRICACIÓN DE ACERO EN HORNO ELÉCTRICO DE ARCO (HEA) EVOLUCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO (1992-96)

Antonio Oña Santiago (1), Ing. Ind.
José M^a Palacios Reparaz (2), Dr. Ing. Ind.
José Luis Arana Bilbao (2), Dr. Ing. Ind.



expondrán en primer lugar datos relativos a las instalaciones en funcionamiento, continuando con sus consumos a lo largo de 1996 y los gráficos correspondientes a sus tendencias en los últimos cinco años.

2. La fabricación de acero en HEA

La producción española de acero en HEA durante 1996 fue de 7.837.900 toneladas, producción que corresponde en casi su totalidad a semiproductos de colada continua y lingote.

El consumo energético de esta producción de acero fue de 4.647,1 millones de kWh. El reparto entre el subsector del acero común y el acero especial se expone en la Tabla I:

En el Estado Español hay actualmente 26 HEA en servicio, 17 en el subsector del acero

1. Introducción

Como es bien conocido, el consumo energético es un factor importante que incide sobre el coste de producción del acero en un HEA.

En el presente artículo se presentarán y analizarán las evoluciones de los diferentes tipos de energía consumidos en las acerías españolas. Por ello y con el fin de que el lector posea una clara idea del estado del Sector Acerista No Integral, se

	Acero bruto (t)	Energía eléctrica (Millones de kWh)
Acero común	6.136.700	3.613,5
Acero especial	1.701.200	1.033,6
Total acero	7.837.900	4.647,1

(Las toneladas de Acero bruto expuestas hacen referencia a semiproductos de colada continua y lingote)

Tabla I. Producción y consumo energético (Año 1996)

(1) Ingeniero Industrial, doctorando del Programa Ingeniería Térmica.

(2) Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales e Ingenieros de Telecomunicación de Bilbao.

Acero Bruto					Acero Bruto						
		Total	Unidad	Específico	Unidad			Total	Unidad	Específico	Unidad
ACERO COMÚN	Producción	6.136.700	t			6.136.700	t				
	Energía eléctrica	3.613.500.000	kWh	588,83	kWh/t	36.134.500	GJ	5,888	GJ/t		
	Oxígeno	179.500.000	Nm ³	29,25	Nm ³ /t	1.256.300	GJ	0,204	GJ/t		
	Gas natural	481.560.000	Th	78,47	Th/t	2.006.500	GJ	0,326	GJ/t		
	Fuelóleo	18.792.000	Th	3,06	Th/t	78.300	GJ	0,012	GJ/t		
	Propano	96.000	Th	0,01	Th/t	400	GJ	0,000	GJ/t		
TOTAL										6,430 GJ/t	
ACERO ESPECIAL	Producción	1.701.200	t			1.701.200	t				
	Energía	1.033.600.000	kWh	607,57	kWh/t	10.335.900	GJ	6,075	GJ/t		
	Oxígeno	44.400.000	Nm ³	26,09	Nm ³ /t	310.600	GJ	0,182	GJ/t		
	Carbon	26.712.000	Th	15,70	Th/t	111.300	GJ	0,065	GJ/t		
	Gas Natural	171.192.000	Th	100,63	Th/t	713.300	GJ	0,419	GJ/t		
	Fuelóleo	5.784.000	Th	3,40	Th/t	24.100	GJ	0,014	GJ/t		
	Gas de	3.456.000	Th	2,03	Th/t	14.400	GJ	0,008	GJ/t		
	Propano	1.464.000	Th	0,86	Th/t	6.100	GJ	0,003	GJ/t		
	Gas de	117.600.000	Th	69,12	Th/t	490.000	GJ	0,288	GJ/t		
TOTAL										7,054 GJ/t	
TOTAL ACERIAS ELECTRICAS	Producción	7.837.900	t			7.837.900	t				
	Energía eléctrica	4.647.100.000	kWh	592,90	kWh/t	46.470.400	GJ	5,928	GJ/t		
	Oxígeno	223.900.000	Nm ³	28,56	Nm ³ /t	1.566.900	GJ	0,199	GJ/t		
	Carbon	26.712.000	Th	3,40	Th/t	111.300	GJ	0,014	GJ/t		
	Gas Natural	652.752.000	Th	83,28	Th/t	2.719.800	GJ	0,347	GJ/t		
	Fuelóleo	24.576.000	Th	3,13	Th/t	102.400	GJ	0,013	GJ/t		
	Gasóleo	3.456.000	Th	0,44	Th/t	14.400	GJ	0,001	GJ/t		
	Propano	1.560.000	Th	0,19	Th/t	6.500	GJ	0,000	GJ/t		
Gas de refinería	117.600.000	Th	15,00	Th/t	490.000	GJ	0,062	GJ/t			
TOTAL										6,654 GJ/t	

Tabla II. Consumos energéticos (Año 1996)
 (Los consumos específicos de la tabla están referidos a tonelada de semiproductos de colada continua y lingote)

común y nueve en el del acero especial. Todas las plantas tienen un proceso basado en un solo HEA más metalurgia secundaria, a excepción de una planta que posee dos HEA y dos Hornos Cuchara (HC).

A partir de estos datos, se puede calcular la producción media específica de acero producido en HEA, la cual es de aproximadamente 360.000 t por planta de acero común y 190.000 t por planta de acero especial.

3. Estado actual de la tecnología

El nivel tecnológico de nuestros HEA es bastante uniforme y elevado. Prácticamente la totalidad de acerías han acometido inversiones recientes, de tal forma que cuentan con:

- Altas potencias en los transformadores.

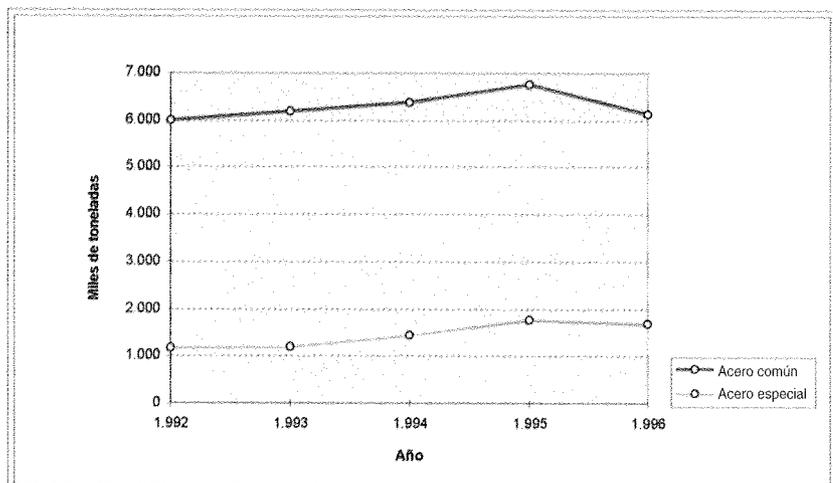
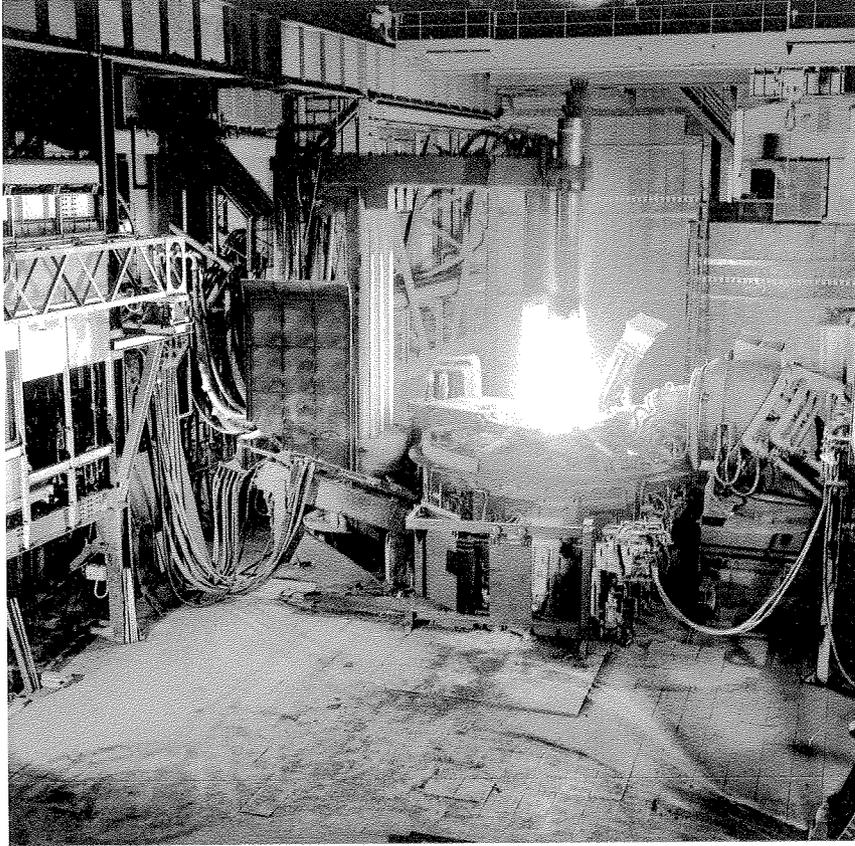


Figura 1: Producción española de acero en HEA.
 (La producción expuesta en la gráfica hace referencia a semiproductos de colada continua y lingote)



- Altas tensiones secundarias.
- Regulación de electrodos de alta velocidad de respuesta.
- Inyección de productos carbonosos.
- Mecheros de gas natural (en muchos casos)
- Colada por el fondo.

Además, sus instalaciones de depuración de humos son modernas y en general cuentan con grandes volúmenes de aspiración para satisfacer así las especificaciones medioambientales.

Una planta de acero especial es la única que tiene una instalación de precalentamiento de chatarra en base a los humos del 4º agujero. Para 1999 habrá al menos dos acerías que cuenten con este tipo de actuación, con un sistema de "Horno Shaft" o similar.

En la totalidad de plantas, el acero se afina al 100 % en metalurgia secundaria de HC. Excepto dos, todas disponen de instalaciones de Colada Continua (CC), complementándose en el caso de los Aceros Especiales con Procesos de Vacío o de AOD en el caso de los tres productores de acero inoxidable.

La totalidad de los HEA ubicados en el Estado Español son de corriente alterna, a excepción de los implantados en ACB (dos hor-

nos) y Siderúrgica Balboa (un horno), que funden con corriente continua. Las razones básicas para la selección del HEA de corriente continua están ligadas a las limitaciones de la red eléctrica. Las diferencias en consumo específico son mínimas, siendo significativa la disminución de la polución en la red y particularmente el efecto flicker con el HEA de corriente continua.

En cuanto al proceso de fusión del HEA, el empleo masivo de la inyección de oxígeno y la espumación de la escoria son técnicas ejecutadas de forma habitual. Estas acciones se traducen en una reducción del consumo eléctrico, una mejora de la productividad a través de un acortamiento del tiempo de fusión y un aumento del rendimiento energético del Horno, todo ello con la mínima merma en el rendimiento metálico.

4. Consumo energético (Año 1996)

En la Tabla II se exponen los diferentes consumos de energía de las Acerías No Integrales Españolas, a lo largo de 1996.

Relativo a estos datos se debe puntualizar lo siguiente:

· Al hablar de producción de Acero Bruto, se está haciendo referencia a semiproductos de colada continua y lingote, de tal forma que los consumos específicos están referidos a dichos productos.

· Los consumos de energía eléctrica que aparecen expresados en Gigajulios en la tabla, están referidos a energía primaria, habiéndose tomado un 36 % como rendimiento medio de generación del kWh_{eléctrico}.

Respecto a la energía eléctrica consumida en la producción de oxígeno, se ha utilizado un ratio de 0,7 kWh_e por Nm³ de O₂ producido. Igual que los valores de energía eléctrica anteriores, estos datos expuestos en GJ también hacen referencia a energía primaria.

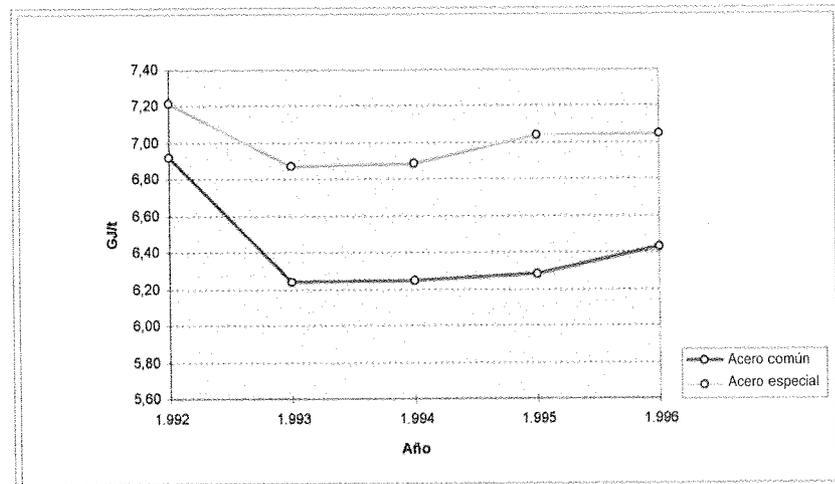


Figura 2: Consumo energético total de los HEA españoles. (Los consumos específicos de la gráfica están referidos a tonelada de semiproductos de colada continua y lingote)

· Se ha incluido en la tabla el consumo de Gas de refinería. Aunque no se trata de un consumo típico del HEA, se presenta debido a su orden de magnitud con respecto al total.

· Carecemos de datos sobre los consumos exactos de electrodos de los hornos. Aunque su importancia energética es pequeña, estimamos que este consumo es de aproximadamente 2 - 2,5 kg/t_{acero líquido}

5. Evolución de los consumos energéticos

Se presentan a continuación las Figuras 1 a 6, en las cuales aparecen las evoluciones cuantificadas de la producción de acero y los consumos de energía en las plantas españolas.

En el siguiente punto se analizarán las tendencias de estos valores, sirviendo como soporte las gráficas expuestas.

6. Discusión de los resultados

· Producción de acero

En 1996, la producción mundial de acero en HEA fue el 32,9 % del acero total producido, presentando España un *ratio* de producción del 65,4 %. El pasado año de 1997, este valor ha alcanzado la cota del 70,6 %.

En cuanto a la producción absoluta de 1996 en HEA, el primer país europeo fue Italia con 14 millones de t; el segundo, Alemania con 10 millones de t y el tercero España con 7,83 millones de t. La producción española en el año 1997 ha sido de 9,73 millones de t.

En la Figura 1 se puede observar cómo la producción absoluta se ha mantenido ligeramente *in crescendo*, a excepción de la suave caída sufrida a lo largo de 1996.

· Consumo energético total en acería

En la Figura 2 se presenta el consumo total de energía primaria en las acerías españolas. Este consumo comprende el HEA, el HC, la CC, la aspiración de humos y las instalaciones auxiliares.

En 1996, este consumo era de 6,43 GJ/t para el acero común, mientras que los aceros especiales necesitaban 7,05 GJ/t. Como se puede observar en la gráfica, el consumo específico de los aceros especiales siempre ha permanecido por

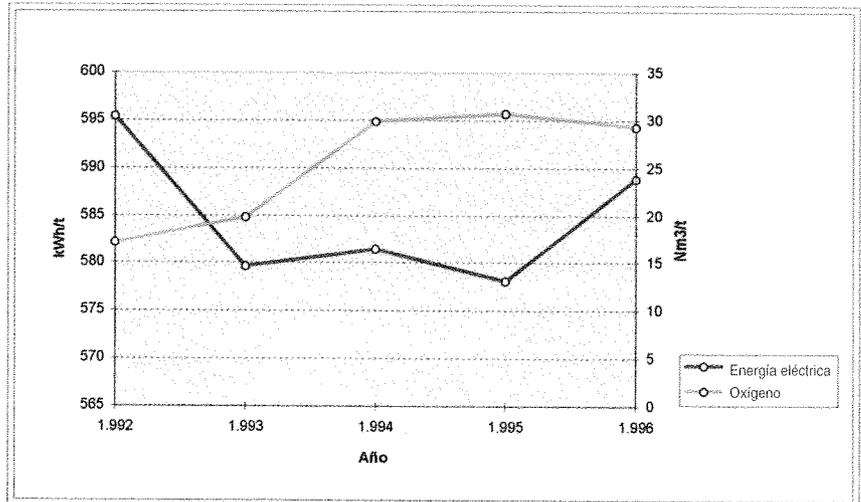


Figura 3: Evolución del consumo energético I (Acero común).
(Los consumos específicos están referidos a tonelada de semiproductos de colada continua y lingote)

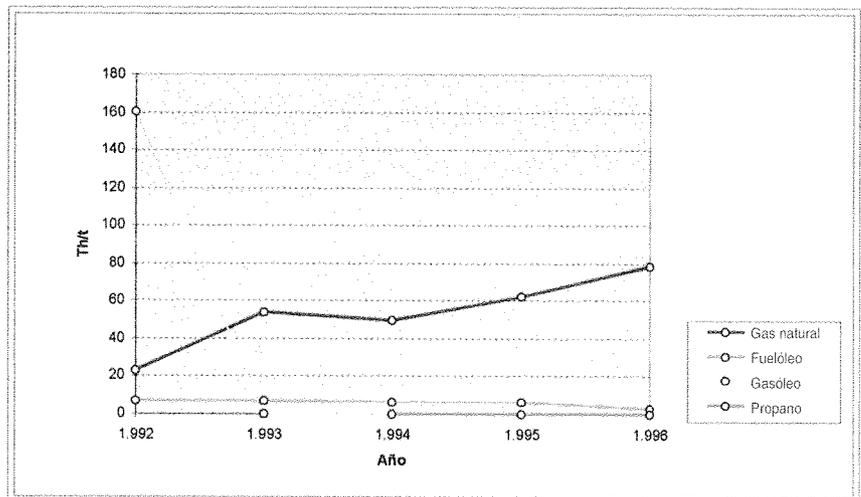


Figura 4: Evolución del consumo energético II (Acero común).
(Los consumos específicos están referidos a tonelada de semiproductos de colada continua y lingote)

encima del correspondiente al acero común. Ello es debido a que en los aceros especiales es necesario realizar un mayor número de adiciones y operaciones metalúrgicas, las cuales repercuten claramente en el consumo de energía.

Ambos consumos específicos, aún con una ligera tendencia al alza, se mantienen prácticamente constantes desde 1993.

· Consumo de energía eléctrica y oxígeno

Analizando ahora las Figuras 3 y 5 conjuntamente, se puede comprobar cómo la tendencia del consumo de energía eléctrica es a disminuir, mientras que es el empleo de oxígeno el

que evoluciona en sentido ascendente. Son varias las razones que justifican dichas evoluciones, alcanzando una posición preponderante la práctica de la escoria espumosa y la generación de calor en el interior del horno a través de las reacciones químicas.

El diseño de los nuevos hornos está concebido para trabajar con arcos muy largos. De esta forma, al disminuir la intensidad de secundario se contribuye a una mejora en la eficacia energética, además de producirse una reducción en el consumo de electrodos. Para ello, el empleo de la escoria espumosa es esencial a la hora de reducir la radiación del arco plano sobre las paredes, consiguiendo que el rendimiento eléctrico pase de aproximadamente un 40 a un 70 %.

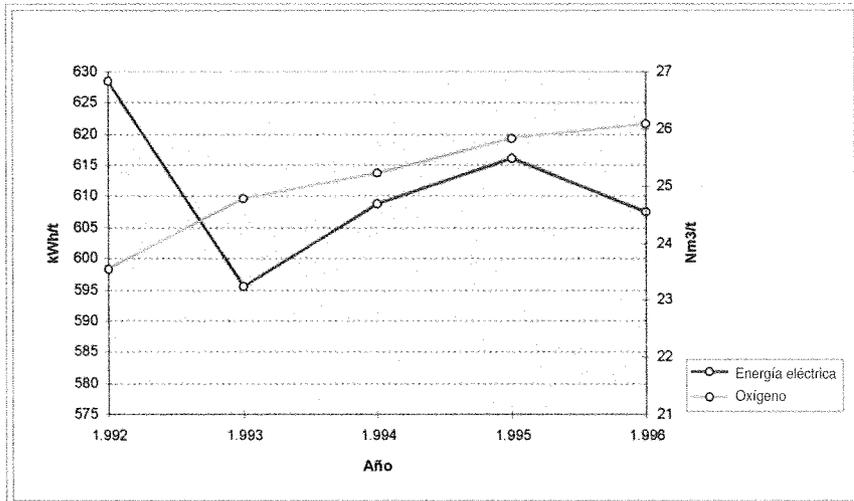


Figura 5: Evolución del consumo energético I (Acero especial).
(Los consumos específicos están referidos a tonelada de semiproductos de colada continua y lingote)

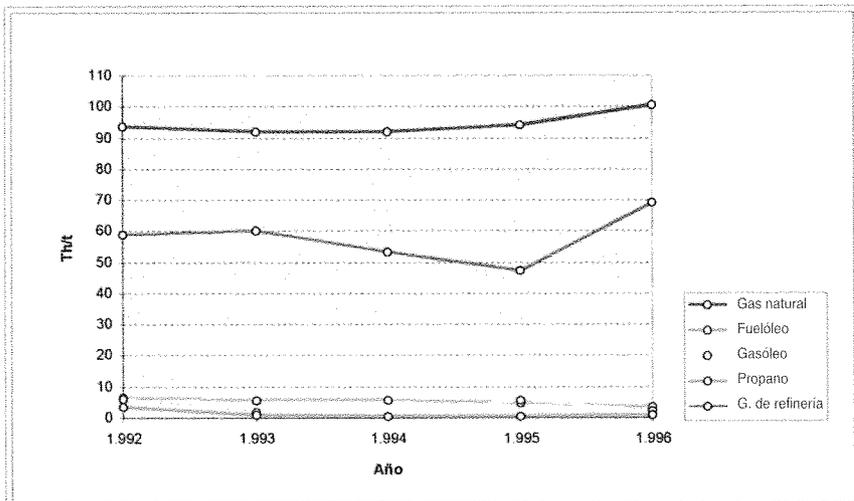


Figura 6: Evolución del consumo energético II (Acero especial).
(Los consumos específicos están referidos a tonelada de semiproductos de colada continua y lingote)

Esta práctica, junto a la posibilidad de que los elementos metálicos del baño reaccionen exotérmicamente con el oxígeno y la utilización de mecheros en el horno, requieren el empleo masivo de las lanzas de oxígeno.

• Otras fuentes de energía

En los hornos modernos es frecuente la instalación de quemadores, siendo los más comunes los de Gas natural (el resto consume fuelóleo o gasóleo). Esta inversión tiene por objeto el aumento de la productividad del horno y la fusión de la chatarra que queda retrasada en las zonas frías (el empleo de las lanzas de oxígeno también coadyuva a esta última tarea).

De entre los combustibles utilizados en los mecheros instalados, se puede apreciar en las Figuras 4 y 6 como es el Gas natural el que aparece en un lugar predominante, tendiendo a aumentar su consumo en ambos tipos de acerías. El consumo de gasóleo ha sido abandonado en la producción de acero común, siendo mínimo su empleo en la producción de aceros especiales. En cuanto al consumo de fuelóleo, se puede observar que se trata también de un valor irrisorio con respecto al del Gas natural, con tendencia a disminuir en ambos tipos de acerías.

El empleo de propano se debe a su utilización en el calentamiento de las cucharas en las cuales se vierte el caldo. Como se puede observar

en ambas figuras, este valor es insignificante en el cómputo global.

Finalmente se debe hacer mención al consumo de Gas de refinera que aparece en la Figura 6. Se trata de un caso aislado en el total de Acerías No Integrales y su consumo es principalmente debido a la proximidad de la refinera a la planta.

7. Conclusiones

En 1997 la producción española de acero en HEA (semiproductos de colada continua y lingote) ha sido de 9,73 millones de toneladas, alcanzando el 70,6 % en el cómputo global del Sector Siderúrgico Español. Este último valor se sitúa notablemente por encima de la media mundial.

El nivel tecnológico de los HEA en el Estado Español es bastante elevado a la par que uniforme. No obstante, el consumo energético aún puede ser mejorado a través de actuaciones como el precalentamiento de chatarra.

El empleo masivo de las lanzas de O_2 y la espumación de la escoria, son prácticas habituales a la hora de operar con un HEA.

El futuro en el consumo energético del horno se dirige hacia la disminución de la energía eléctrica empleada y el aumento del consumo de O_2 . En 1996, los consumos de energía eléctrica total y oxígeno fueron respectivamente de 589 kWh y 29 Nm³ por tonelada de acero común y de 607 kWh y 26 Nm³ por tonelada de acero especial.

En cuanto al consumo de otras fuentes de energía como es el Gas natural, éste tiende a aumentar, mientras que el fuelóleo y el gasóleo progresan en sentido contrario. En 1996, estos consumos se situaron respectivamente en 78, 3 y 0 TWh por tonelada de acero común y 100, 3,4 y 2 TWh por tonelada de acero especial.

8. Bibliografía

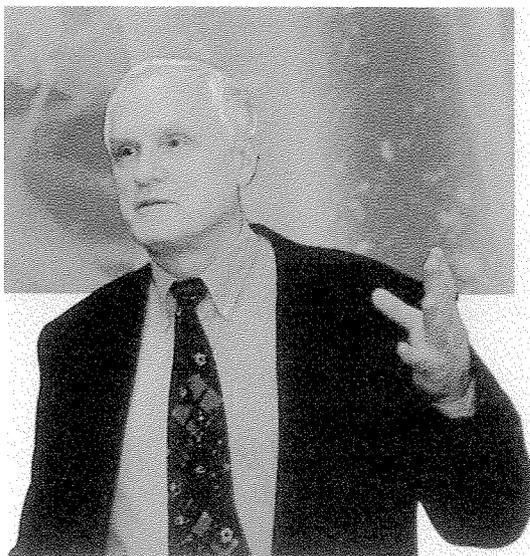
1. Optimización energética del HEA en la fusión de acero.

Ramos, L; Palacios, J.M^a y Arana, J.L. THERMIE, septiembre 94.

2. Consumo de energía en la Siderurgia española.
UNESID, Años 93, 94, 95 y 96.

3. Annual Statistical Review
Iron & SteelMaker, July 97 (Datos procedentes del IISI) ■

FILTRO DE AIRE 2000



Introducción

El presente año 1998 será apasionante y lleno de acontecimientos en lo que a filtros se refiere dado que se sentarán las bases para el "filtro de aire del próximo siglo".

Entrarán en vigor varios métodos de prueba diferentes, requisitos y normas para filtros de aire influyendo en el diseño de los productos. Se están concluyendo diversos proyectos de investigación importantes en el sector ambiental, ambos respecto al funcionamiento del filtro a fin de alcanzar un mejor ambiente y un mejor impacto del filtro sobre el ambiente, no sólo durante el funcionamiento, sino también durante la fabricación y una vez usado. El centro de atención estará en los criterios de higiene y en los análisis del ciclo de vida útil, que marcarán su huella en el diseño y elección de filtros.

Requisitos de higiene

En 1997, se consideraba en Alemania una nueva norma para equipos de ventilación titulada "Requisitos higiénicos para la planificación, diseño, funcionamiento y mantenimiento de los sistemas de ventilación" VDI 6022., que afecta al sistema completo y generalmente requiere del sis-

tema o del aparato y sus componentes que no emitan sustancias perjudiciales para la salud tales como gases, olores, partículas y microorganismos. Se permite el aire recirculado a condición de que tales sustancias queden excluidas.

En cuanto a la toma de aire, se recomienda que el filtrado tenga lugar en dos etapas. El primer filtro debe ser al menos de calidad F5, pero preferentemente F7. La segunda etapa debería ser al menos de calidad F7, pero preferentemente será F9. Si solamente se hace una etapa de filtrado, se requiere como mínimo la calidad F7.

En cuanto al aire recirculado, se deberá usar por lo menos un filtro G4 para tratar la contaminación de componentes del sistema, pero se requiere como mínimo un F7 si el ambiente en la sala ha de ser afectado por la mejora.

Además, se recomendaron otros aspectos importantes del filtro como:

- Que el grado de separación no debe empeorar durante el funcionamiento.
- Que la sustitución tiene que realizarse conforme a los requisitos de caída de presión y de higiene.
- Sustitución desde el lado sucio.
- Etiquetado de filtros, etc.

El intervalo de sustitución para los filtros en relación a los requisitos de higiene tuvo que ser establecido más tarde, en 1997.

No se hicieron objeciones de consideración a la propuesta solventándose la cuestión de cuándo habría que proceder a la sustitución de los filtros. Durante 1997, las autoridades alemanas, junto con la industria, participaron en un importante estudio realizado por la **Universidad de Berlín** respecto al momento

de sustituir el filtro para cumplir los requisitos de higiene.

Se ensayaron filtros de diferentes calidades y diseños, de distintas procedencias y con diferentes periodos de funcionamiento desde seis meses hasta cinco años en lo referente a bacterias, endotoxinas, olores, caída de presión, grado de separación de partículas, etc., disponiéndose actualmente de un increíble número de medidas y resultados. La evaluación final está a punto de ser concluida.

Dado que **Camfil** es uno de los principales promotores del proyecto, esta firma ha podido proseguir los trabajos de manera continuada obteniendo la conclusión preliminar de que los filtros de calidades F5 y menores (filtros básicos) dejan pasar partículas y endotoxinas durante el funcionamiento. Ciertos filtros de mejor clase pueden también emitir endotoxinas después de un año de uso continuado. La norma VDI 6022 recomendará, por lo tanto, que el filtro de la primera etapa debería ser sustituido después de un máximo de 8.700 horas de funcionamiento si la caída de presión no ha limitado el período de funcionamiento con anterioridad. El filtro de la segunda etapa no debería estar en continuo funcionamiento más de dos años. Es probable que la norma alemana VDI 6022 entre en vigor en la primera mitad de 1998 y, forzosamente, supondrá un importante impacto no sólo en Alemania sino también en el resto de Europa.

Tratamiento antimicrobiano del material filtrante

Está en curso un debate acerca de si es significativo y útil añadir al filtro preparados que impidan el crecimiento de microorganismos. **ASHRAE** en los EE.UU. está promoviendo un proyecto para evaluar el beneficio del tratamiento antimicrobiano del material

Jan Gustavsson

Camfil ab

Presidente del "Eurovent filter Group"

Presidente del "CEN/TC 195 Group for a new European standard"