

## Calidad del coque de Horno Alto en la Unión Europea(\*)

R. Álvarez\*, J.L. García-Cimadevilla\*, M.A. Díez\*, J. Bermúdez\*\*, V. Alonso\*\* y  
E. Puente\*\*

**Resumen** En el presente trabajo se ha llevado a cabo una breve revisión de las tecnologías de coquización existentes al comienzo del nuevo milenio. Los criterios de calidad del coque de Horno Alto de la mayoría de los países de la Unión Europea, recogidos por el European Blast Furnace Committee, y que fueron presentados en el 4<sup>th</sup> European Coke and Ironmaking Congress en París durante el año 2000, se comparan con los utilizados por la industria siderúrgica española Aceralia. Como consecuencia del sensible aumento experimentado en el tamaño de los modernos Hornos Altos durante los últimos años, se ha podido comprobar que, en la UE, los valores de los diversos parámetros de control de calidad del coque son bastante similares y con unos requerimientos muy elevados. Asimismo, en la UE el parámetro CSR se ha convertido en el más importante para el control de la calidad del coque de Horno Alto.

**Palabras clave** Horno Alto. Carbonización. Coque. Tecnología de coquización. Siderurgia.

### Blast furnace coke quality in the European Union

**Abstract** After a brief review of the coking technology at the beginning of the new millennium, blast furnace coke quality criteria of most of EU countries, presented by the European Blast Furnace Committee in the 4<sup>th</sup> European Coke and Ironmaking Congress, are compared with those used by the Spanish Steel Industry at Aceralia. Blast furnace coke quality is very high in EU's countries in order to meet the requirements of bigger blast furnaces commissioned in the last years. CSR index is the most important parameter in the control of coke quality in Europe.

**Keywords** Blast furnace. Carbonization. Coke. Coking technology. Ironmaking.

## 1. INTRODUCCIÓN

El acero continuará siendo la base del desarrollo económico en el mundo, al tiempo que la producción del mismo por la ruta del Horno Alto (HA) seguirá predominando frente a la obtención en acerías eléctricas a lo largo de las próximas décadas<sup>[1]</sup>. Una de las materias primas requeridas para la producción de acero en el HA es el coque siderúrgico, siendo la calidad del mismo, en España y en varios países de la Unión Europea, el objeto de discusión del presente trabajo.

En los últimos años la capacidad de producción de coque en Europa<sup>[2]</sup> ha experimentado una reducción del 47 %, pasando de 76 Mt en 1980, a una producción de 40 Mt en 1998, período durante el cual el número de coquerías disminuyó de 99

a 43. Como consecuencia de esta situación, las estructuras de organización de las empresas, la capacidad de las ingenierías y la colaboración con instituciones de Investigación y Desarrollo se han reducido considerablemente. Asimismo, el hecho de no haber construido nuevas plantas ha propiciado un paulatino envejecimiento de la infraestructura existente para la producción de coque de HA<sup>[1]</sup>.

Modernizar estas viejas estructuras de producción de coque para el HA, durante los próximos 20 años, es el desafío al que se enfrenta la industria de la coquización. En este sentido, la posible solución a dicho problema puede encontrarse entre las tres alternativas que se muestran a continuación:

– Prolongar la vida de las viejas baterías de coque mediante trabajos de reparación adecuados para

(\*) Trabajo recibido el día 15 de febrero de 2002 y aceptado en su forma final el día 2 de agosto de 2002.

(\*) Instituto Nacional de Carbón (INCAR). CSIC. Apartado 73. 33080 Oviedo.

(\*\*) Corporación Siderúrgica ACERALIA.

poder llegar a los 40 años de vida útil, período que parecía inalcanzable en el pasado.

- Edificar nuevas coquerías convencionales, con los últimos adelantos disponibles.
- Desarrollar sistemas de coquización alternativos.

Entre los sistemas alternativos se pueden citar el SCS (single chamber system)<sup>[3 y 4]</sup> que, aunque finalizada la fase de demostración, aún no ha sido introducido a escala industrial. Otro sistema alternativo es el SCOPE 21 (Super Coke Oven for Productivity and Environment Enhancement towards the 21st Century)<sup>[5]</sup>, que se encuentra, en la actualidad, en su etapa de estudio en planta piloto. Finalmente, entre los sistemas alternativos, también, hay que destacar los *non-recovery* o *heat-recovery* que utilizan la combustión del gas de coquería para generar vapor/electricidad<sup>[6]</sup> y que ya han sido introducidos a escala industrial.

## 2. SITUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE COQUIZACIÓN AL COMIENZO DEL NUEVO MILENIO

Mientras en Europa y Este de Asia los productores de coque prefieren las plantas “convencionales” con largas cámaras horizontales y recuperación de subproductos, en EE. UU., América del Sur, Australia y la India están interesados en las plantas no recuperadoras (*non-recovery*) o recuperadoras del calor (*heat-recovery*) procedente de la combustión de los gases emanados durante el proceso de carbonización. El empleo de este último tipo de plantas viene influido fundamentalmente por dos factores: el cumplimiento de la exigente normativa medioambiental estadounidense y/o la preferencia de algunas industrias por la producción de electricidad en lugar de gas o subproductos.

### 2.1. Plantas convencionales

Las coquerías conocidas como convencionales tienen hornos de cámara horizontal e instalaciones para el tratamiento y limpieza del gas bruto, así como para la recuperación de los subproductos. Estas plantas han constituido la tecnología más utilizada en los últimos 100 años. El estado del arte de dicha tecnología, a lo largo de la década de los años 70 y 80, ha sido revisada en el 1<sup>st</sup> International Coke-making Congress<sup>[7]</sup>, celebrado en Essen (Alemania) en 1987, donde se postuló que dicho proceso había alcanzado ya el techo de su capacidad de desarrollo y mejora.

En estos momentos, Thyssen Krupp Stahl está construyendo la planta de coquización convencional más grande del mundo en Schwelgern (Alemania), cuyas principales características se citan a continuación:

- 2 baterías con una capacidad individual de producción anual de 1.3 Mt de coque.
- N<sup>o</sup> de hornos:  $2 \times 70 = 140$ .
- Dimensiones de los hornos:  $20,8 \times 8,4 \times 0,6$  m.
- Volumen útil de horno:  $93 \text{ m}^3$ .
- Tiempo de coquización: 24,9 h.
- Carbón/horno (húmedo): 79 t.
- Coque/horno (seco): 54 t.
- Temperatura de calentamiento:  $< 1.325 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Producción diaria de coque: 7.250 t.
- Capacidad de tratamiento de gas:  $155.000 \text{ Nm}^3 \text{ h}^{-1}$ .

### 2.2. Tecnologías *heat recovery/non recovery*

En el interior de estos hornos, el carbón recibe el calor de la combustión directa del gas bruto. En este tipo de plantas se lleva a cabo la combustión de todo el gas producido, de forma que en el proceso se genera un importante excedente de energía, el cual es posteriormente explotado en una planta de cogeneración aprovechando que el gas abandona el horno a una temperatura bastante elevada (aproximadamente a  $1.100 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Los hornos modernos no-recuperativos, para la producción de grandes cantidades de coque de HA, tienen una longitud comprendida entre 14-15 m, una anchura de 3,5-4 m y una altura de 2,5 m. Bajo estas condiciones, estos hornos cargan alrededor de 40 t de carbón, situándose el tiempo de coquización entorno a 48 h. La planta de mayor capacidad, operativa actualmente, que emplea esta tecnología, es la que la compañía Indiana Harbor Coke tiene en Chicago, la cual consta de 4 baterías de 67 hornos cada una, con una producción anual de coque<sup>[8]</sup> de 1,2 Mt. Como se puede apreciar, los tiempos de coquización varían sensiblemente entre las plantas convencionales y las que operan con hornos no-recuperativos. Estas diferencias en el tiempo de coquización son atribuibles a las dimensiones de los hornos y a las distintas características de ambos procesos.

Recientemente, se ha llevado a cabo una comparación<sup>[9]</sup> entre estas dos tecnologías (la convencional y la no-recuperativa) en la que las principales conclusiones alcanzadas han sido las siguientes:

- Los beneficios para una planta con una producción anual de 1,3 Mt de coque son similares en ambos casos.
- Para una capacidad de producción mayor -alrededor de 2 Mt de coque anuales- la tecnología convencional parece resultar más ventajosa.
- Por el contrario, si la capacidad de producción anual se enmarca en el intervalo comprendido entre 500.000-700.000 t, la tecnología no-recuperativa parece más atractiva.

Sin embargo, a pesar de estas directrices generales, en muchas ocasiones no resulta tan sencillo llegar a una elección, ya que hay que tener en cuenta otros factores como pueden ser, por ejemplo, restricciones medioambientales o la disponibilidad de terreno.

### 3. CALIDAD DEL COQUE DE HA

#### 3.1. Índice CSR (Coke Strength after Reaction)

En el interior del HA el coque desempeña un triple papel<sup>[10]</sup>: térmico, físico y químico, destacando por su especial importancia sus funciones física y química. A lo largo de las últimas 5 décadas se ha producido en la UE una tendencia a sustituir numerosos HA de pequeño tamaño por unos pocos de dimensiones ostensiblemente superiores. La operación de estos hornos de gran tamaño, con una productividad alta, requiere coques de una excelente calidad, especialmente en lo que al CSR se refiere, el cual se ha convertido en el parámetro más importante para controlar la calidad de los coques de HA. El parámetro CSR fue introducido por la Nippon Steel Corporation, después de llevar a cabo un interesante estudio<sup>[11]</sup> en el cual se apagaron tres hornos altos mientras estaban en funcionamiento, lo que sirvió para clarificar el papel del coque en el HA e indujo a la puesta en marcha de un ensayo capaz de establecer una correlación entre la marcha del HA y la calidad del coque empleado. Así, surge el ensayo de reactividad del coque frente al CO<sub>2</sub> y de resistencia mecánica post-reacción, el cual dio lugar a un ensayo normalizado<sup>[12]</sup>. A partir de este ensayo se obtienen dos índices: el CRI (Coke Reactivity Index) o reactividad del coque frente al CO<sub>2</sub>, que es el porcentaje de pérdida de peso después de reaccionar con 5 L min<sup>-1</sup> de dióxido de carbono a 1.100 °C durante 2 h; y el CSR, o resistencia mecánica post-reacción, que se obtiene a partir de la muestra que ha reaccionado con el CO<sub>2</sub>, durante 2 h, y que

se define como el porcentaje de coque mayor de 10 mm después haber sido sometido a 600 revoluciones durante 30 min en un tambor normalizado.

Durante el 4<sup>th</sup> European Coke and Ironmaking Congress celebrado en París en Junio del 2000 se presentó un trabajo<sup>[13]</sup> sobre los criterios de calidad del coque de HA en los siguientes países de la UE: Alemania, Austria, Bélgica, Finlandia, Francia, Holanda y Reino Unido. Este trabajo había sido recopilado por el European Blast Furnace Committee. España no había participado en dicha recopilación, aunque en el presente artículo se mostrará cuál es la situación de nuestro país comparándola con la de nuestros homónimos europeos que participaron en el citado trabajo.

Aceralia -la principal empresa siderúrgica española- produce coque de HA en las baterías indicadas en la tabla I. En este sentido, es necesario puntualizar que la batería número 8 de la factoría de Avilés fue puesta de nuevo en operación en 1996 después de una reparación en frío<sup>[14]</sup>, tras haber permanecido apagada desde Junio de 1987. Asimismo, a causa del serio deterioro que habían sufrido, las baterías de Gijón requirieron una reparación muy importante<sup>[15]</sup>, entre 1996-1997.

En condiciones normales, las baterías 1-4 de Avilés operan con tiempos de coquización de 15 h, a una temperatura máxima de 1.250 °C. En las baterías 5-8 el tiempo de coquización se sitúa en 16 h y la máxima temperatura en 1.220 °C. Finalmente, en las baterías 1 y 2 de Gijón se emplean 16 h y 1.275 °C. El distinto tamaño de cada una de estas baterías ha demostrado influir en la calidad del coque obtenido ya que, usando la misma mezcla de

**Tabla I.** Baterías de producción de coque de HA de la empresa Aceralia

*Table I. Main characteristics of Aceralia's blast furnace coke battery ovens*

Baterías	Nº de hornos	Altura (m)	Longitud (m)	Anchura (m)
1-4 (Factoría de Avilés)	120	4,5	13,5	0,40
5-8 (Factoría de Avilés)	120	4,5	13,5	0,35
1 y 2 (Factoría de Gijón)	90	6,5	15,9	0,42
Producción anual de coque de HA en España		2,2 Mt		

carbones, tanto el CSR como la resistencia mecánica en frío del coque obtenido en Gijón son superiores a las del obtenido en Avilés debido a la mayor densidad de carga alcanzada en los hornos de las baterías de Gijón. Dicho incremento en la densidad de carga influye positivamente en el CSR y en la resistencia mecánica en frío de estos coques.

El procedimiento estándar de operación consiste en utilizar la misma mezcla de carbones en todas las baterías. Esta mezcla se prepara en el Parque de Carbones de Aboño situado en las proximidades de la factoría de Gijón y a unos 18 km de la de Avilés, estando ésta última conectada por ferrocarril con dicho parque. La compleja mezcla de carbones se prepara de acuerdo con un modelo matemático desarrollado por la antigua Ensidesa<sup>[16]</sup>, estando compuesta por entre 11 y 13 carbones de distinta calidad y procedencia. Originalmente este modelo fue diseñado para predecir la resistencia mecánica en frío (índices IRSID) de los coques producidos por la antigua Ensidesa. Sin embargo, a finales de los 80 y coincidiendo con los cambios de criterio de calidad del coque producidos en la siderurgia europea, se introdujo como parámetro fundamental de calidad el CSR, lo que dio lugar a una selección más cuidadosa de los carbones, teniendo en cuenta dicho parámetro.

### 3.1.1. Evolución del índice CSR en España

Para ilustrar los cambios anteriormente señalados, en la figura 1 se muestra la evolución del CSR del coque producido por Ensidesa<sup>[17]</sup> durante los años 1989, 1990 y 1991. Como consecuencia de esta evolución en los valores requeridos para el CSR, la cantidad de carbón español empleada en las mezclas a coquizarse se limitó, inicialmente, a un 5 % y, posteriormente, se eliminó ya que la composición química de las cenizas de dichos carbones influía negativamente en el valor del CSR.

Actualmente, en Aceralia, el CSR de un coque procedente de una mezcla de carbones se estima (siguiendo un criterio de aditividad) en base a los valores de CSR obtenidos por carbonización de los carbones individuales en la Planta Experimental de Coquización que el Instituto Nacional del Carbón del CSIC posee en Oviedo y que está a unos 25 km de las baterías de coque de Aceralia.

### 3.1.2. Índice CSR en los países de la UE

En la figura 2 se representan los valores del CSR de los países de la UE que participaron en la reco-

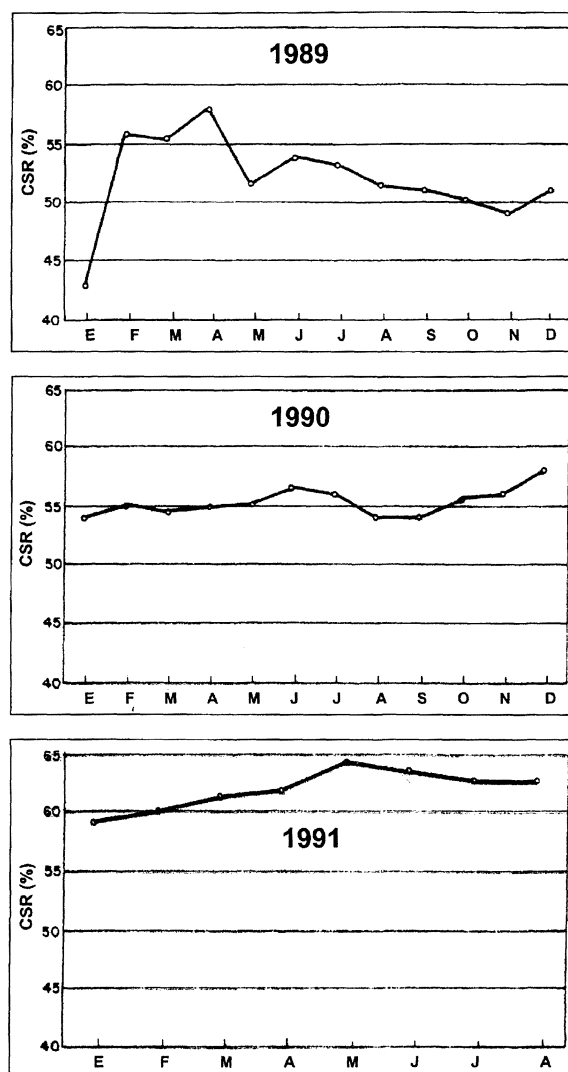


Figura 1. Evolución del CSR del coque producido por Ensidesa durante 1989, 1990 y 1991.

Figure 1. CSR evolution of Ensidesa's cokes along 1989, 1990 y 1991.

pilación presentada en el 4<sup>th</sup> European Coke and Ironmaking Congress. En dicha figura se han incluido los valores medios del CSR obtenidos en las factorías de Avilés (CSR = 63,7) y Gijón (CSR = 66,7) de Aceralia, en el año 2000. Tal y como se puede comprobar en esta figura, el CSR de la mayoría de los coques se sitúa en el intervalo comprendido entre el 60-65 % existiendo, como es bien conocido<sup>[18]</sup>, una buena correlación entre el CSR y el índice de reactividad frente al CO<sub>2</sub> (CRI). En la actualidad, los valores del índice de reactividad, CRI, de los distintos países oscilan entre el 19,4 y el 34 %, situándose los valores obtenidos por Aceralia alrededor del 25-26 %. En la tabla II se pueden ver los requerimientos de CRI y CSR de varias de las principales industrias siderúrgicas de

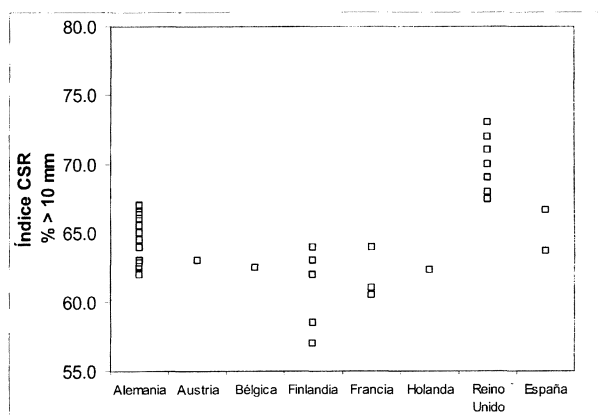


Figura 2. Valores del CSR de varios países de la UE.

Figure 2. CSR indexes in some countries of the EU.

Tabla II. Requerimientos exigidos para los índices CRI y CSR en diferentes países de la UE

Table II. Requirements on coke CSR and CRI indices in some countries of the EU

País	Factoría	Índice CSR (% > 10 mm)	Índice CRI (%)
Alemania	Promedio de 9 factorías	> 65	< 23
Austria	VA Linz	> 60	< 31
Bélgica	Sidmar	> 65	< 23
	Rautaruukki Raahe	> 60	< 30
Finlandia	Koverhar (Base coke)	65	25
	Koverhar (Centre coke)	70	22
Francia	Sollac Dunkerque	-	-
	Sollac Fos sur Mer	> 53	-
Holanda	Corus IJmuiden	> 60	24-30
	Corus Redcar	> 64	< 25
Reino Unido	Corus Scunthorpe	> 65	< 25
	Corus Port Talbot	45-70	20-25
	Corus Llanwern	> 57	< 30
España	Aceralia Gijón	> 60	< 30

la UE. En esta tabla se aprecia como, en la mayoría de los casos, no se admiten valores de CSR inferiores al 60 %, mientras que el CRI debe encontrarse dentro del intervalo comprendido entre el 20 y el 30 %.

Los valores del CSR obtenidos a lo largo de todo el año 2000 en las dos factorías de Aceralia se presentan en la figura 3. En dicha figura se observa que, utilizando la misma mezcla de carbones, el coque producido en las baterías de Gijón es de superior calidad al de las baterías de Avilés, tal y como se había señalado anteriormente.

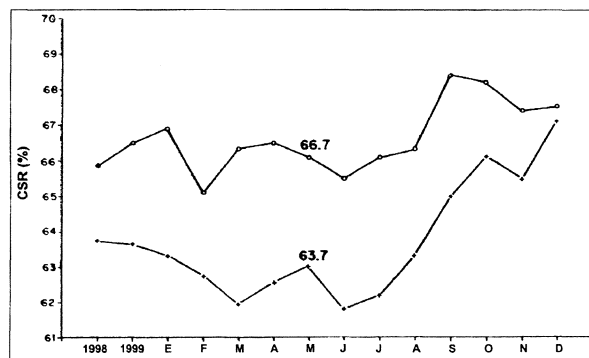


Figura 3. Evolución del CSR del coque producido por Aceralia en las factorías de Gijón (o) y Avilés (+) durante el año 2000.

Figure 3. CSR evolution of Aceralia's cokes produced in Gijón (o) and in Avilés (+) along year 2000.

### 3.2. Resistencia mecánica en frío

En la tabla III se muestran los valores de resistencia mecánica en frío del coque, exigidos en varios países de la UE. Esta tabla revela la coexistencia de dos ensayos de resistencia mecánica en frío (ensayos MICUM<sup>[19]</sup> e IRSID<sup>[19]</sup>) en los diferentes países analizados, los cuales dan lugar a varios índices: M<sub>40</sub>, M<sub>10</sub>, I<sub>40</sub>, I<sub>20</sub> e I<sub>10</sub>. Ambos ensayos son bastante similares y consisten en someter a la muestra de coque a un determinado número de revoluciones -100 en el ensayo MICUM y 500 en el IRSID- en un tambor rotatorio. Posteriormente el coque se criba, obteniéndose los distintos índices. Así, el MICUM 40 (M<sub>40</sub>) y los índices IRSID 40 (I<sub>40</sub>) e IRSID 20 (I<sub>20</sub>) representan el porcentaje de muestra superior a 40 y a 20 mm, mientras que los índices MICUM 10 (M<sub>10</sub>) e IRSID 10 (I<sub>10</sub>) se corresponden con la fracción de coque que pasa a través de un tamiz de 10 mm. Tal y como se puede apreciar en la tabla III, en aquellos países en los que se emplea el índice I<sub>40</sub>, generalmente, se exigen valores superiores al 50 %. En los lugares en los que se utiliza el índice M<sub>40</sub> se requieren valores superiores al 65 % y, finalmente, en el caso español, Aceralia utiliza coques metalúrgicos con valores del índice I<sub>20</sub> mayores del 80 %.

### 3.3. Composición química

Los requerimientos de composición química de los coques producidos en distintos países de la UE se presentan en la tabla IV. En relación con estos requisitos, en la figura 4 se muestra el análisis químico de los coques producidos en esos mismos países.

**Tabla III.** Requerimientos exigidos en distintos países de la UE para la resistencia mecánica en frío de coques metalúrgicos

*Table III. Requirements on coke cold strength in some countries of the EU*

País	Factoría	Índice I <sub>40</sub> (% >40 mm)	Índice M40 (% >40 mm)	Índice I <sub>10</sub> (% <10 mm)	Índice M <sub>10</sub> (% <10 mm)
Alemania	Promedio de 9 factorías	> 57	-	< 18	-
Austria	VA Linz	> 50	-	< 18	-
Bélgica	Sidmar	> 58	-	-	-
Finlandia	Rautaruukki Raahe	-	> 65	-	< 7
	Koverhar (Base coke)	-	> 87	-	< 5
	Koverhar (Centre coke)	-	> 87	-	< 5
Francia	Sollac Dunkerque	> 49	-	< 18,9	-
	Sollac Fos sur Mer	> 44	-	< 19	-
Holanda	Corus IJmuiden	> 58	-	< 18	-
	Corus Redcar	-	87,5	-	5,8
Reino Unido	Corus Scunthorpe	-	> 82,5	-	< 6,5
	Corus Port Talbot	-	> 85	-	< 7,0
	Corus Llanwern	-	> 80	-	< 8
España	Aceralia Gijón	> 80 (I <sub>20</sub> )	-	< 18	-

**Tabla IV.** Requerimientos exigidos en distintos países de la UE para la composición química de los coques metalúrgicos

*Table IV. Requirements on coke chemical analysis in some countries of the EU*

País	Factoría	Cenizas (% b.s.)	S (% b.s.)	Álcalis (% b.s.)	Mat. Vol. (% b.s.)	Humedad (%)
Alemania	Promedio de 9 factorías	< 9,0	< 0,70	< 0,20	< 0,75	< 5,0
Austria	VA Linz	< 9,0	< 0,60	< 0,30	< 0,40	< 3,6
Bélgica	Sidmar	< 10,0	< 0,75	< 0,30	< 1,00	< 5,0
Finlandia	Rautaruukki Raahe	< 9,5	< 0,65	< 0,30	< 1,00	< 1,0
	Koverhar (Base coke)	< 9,0	< 0,50	< 0,25	< 0,50	-
	Koverhar (Centre coke)	< 9,0	< 0,50	< 0,25	< 0,50	-
Francia	Sollac Dunkerque	< 10,0	< 0,60	-	-	< 3,0
	Sollac Fos sur Mer	< 11,0	-	-	-	< 5,0
Holanda	Corus IJmuiden	< 9,0	< 0,60	< 0,20	< 0,50	< 6,0
	Corus Redcar	< 11,0	< 0,65	-	< 0,50	< 3,2
Reino Unido	Corus Scunthorpe	10,0-11,0	< 0,70	< 0,30	-	4,0-6,0
	Corus Port Talbot	< 10,5	< 0,60	-	< 0,90	< 4,0
	Corus Llanwern	10,0-10,5	< 0,70	< 0,22	< 1,0	< 5,0
España	Aceralia Gijón	< 10,0	< 0,60	< 0,20	< 1,00	< 2,0

Como se puede apreciar, el contenido en cenizas oscila entre el 8,25 y el 11 %, siendo los coques alemanes los que poseen los valores más bajos en dicho parámetro. El contenido en azufre se sitúa entre el 0,52 y el 0,81 %, presentando los coques alemanes, en este caso, contenidos más elevados

que los producidos en otros países, debido a que la industria siderúrgica alemana se ve obligada a emplear carbones alemanes en la formulación de pastas industriales, siendo precisamente estos carbones alemanes los que aportan un elevado contenido en azufre al coque finalmente obtenido.

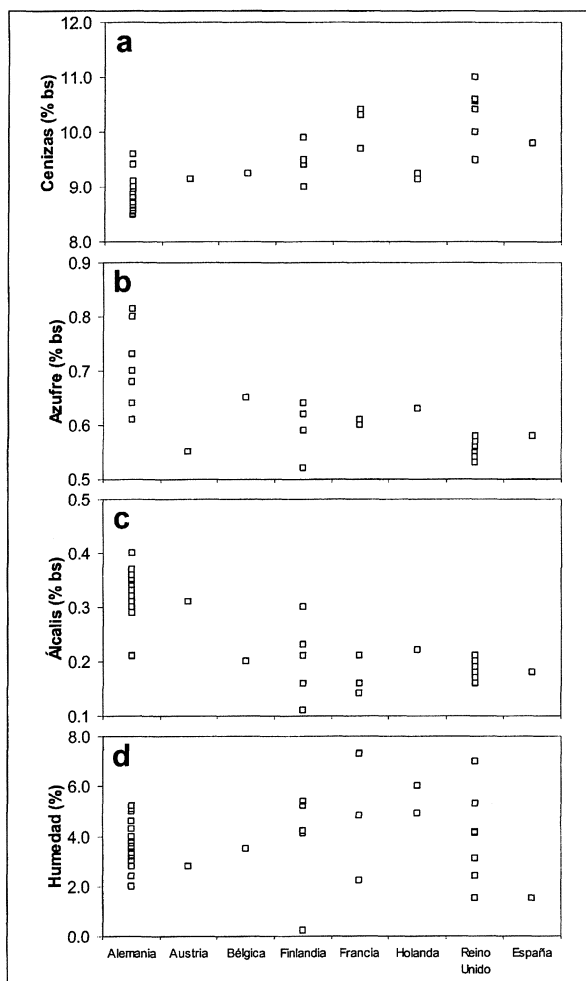


Figura 4. Análisis químico de coques producidos en varios países de la UE.

Figure 4. Chemical analysis of cokes produced in some countries of the EU.

En cuando al contenido en compuestos alcalinos, de nuevo, los coques alemanes tienen los valores más altos (alcanzando hasta el 0,40 %), seguidos por los coques austriacos con un 0,30 %. El resto de los coques presenta valores inferiores al 0,30 %, situándose en la mayor parte de los países en el entorno del 0,20 % o incluso por debajo, como en el caso de los coques españoles. La humedad de las muestras oscila entre el 2 y el 7 %, siendo excepcionalmente bajo el valor de la humedad de los coques producidos en España, que se sitúa en el entorno del 1,5 % y que se alcanza gracias a un riguroso control de la cantidad de agua empleada durante su apagado. En este último sentido, como puede apreciarse en la tabla IV, el valor más bajo de humedad corresponde a los coques producidos en Finlandia, aunque esto es debido a que el apagado de dichos coques se produce en seco, en com-

paración con los demás países estudiados en los que se emplea agua. Finalmente, en la figura 5 se muestran los valores de humedad, volátiles, cenizas y azufre de los coques obtenidos por Aceralia a lo largo del año 2000, valores que se encuentran en niveles muy similares a los de las siderurgias más importantes de la Unión Europea.

#### 4. CONCLUSIONES

El incremento de tamaño experimentado por los Hornos Altos europeos en los últimos años ha venido acompañado por un aumento en la calidad del coque siderúrgico a emplear. En relación con la calidad de esta materia prima, es de destacar la trascendencia que ha adquirido el CSR, que se ha convertido en el parámetro más importante de control de calidad del coque en la UE. La calidad del coque siderúrgico producido en España es similar a la del obtenido en el resto de los países de la UE y la tendencia actual es emplear coques con valores del CSR no inferiores al 65 %. Asimismo, en lo referente al análisis químico de los coques producidos en los diferentes países de la UE, destaca el alto contenido en azufre de los coques alemanes, que proviene de la utilización de carbones alemanes con un elevado contenido en dicho parámetro. En cuanto a las tecnologías de coquización existentes, tanto en España como en el resto de los países de la UE y en el Este de Asia se tien-

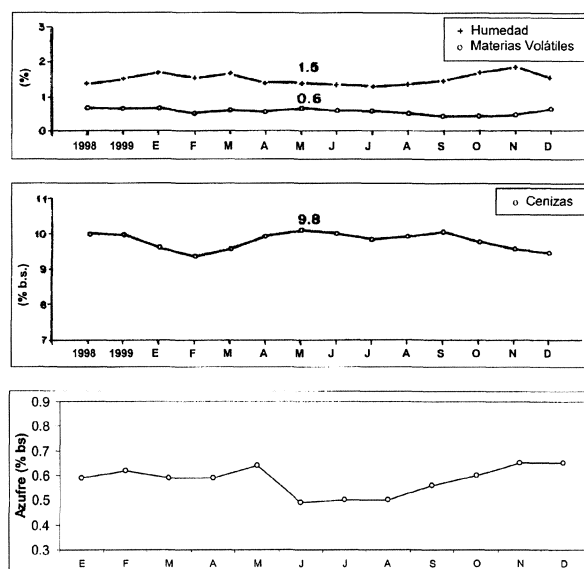


Figura 5. Análisis químico de los coques producidos en Aceralia a lo largo del año 2000.

Figure 5. Chemical analysis of cokes produced at Aceralia during year 2000.

de a emplear plantas convencionales, mientras que EE. UU., América del Sur, Australia y la India están más interesados por las plantas no-recuperadoras o recuperadoras de calor.

## REFERENCIAS

- [1] G. NASHAN, *Cokemaking Int.* 2 (2001) 32-35.
- [2] R. FISHER y M. HEIN, *Cokemaking Int.* 1 (2001) 68-73.
- [3] G. NASHAN, W. ROHDE, K. WESSIEPE y G. WINZER, *4<sup>th</sup> European Coke and Ironmaking Congress*, vol. 2, París, France, 2000, Association Technique de la Sidérurgie Française (ATS), Editions de La Revue de Métallurgie, Nanterre, France, 2000, pp. 646-653.
- [4] H. BAER, *4<sup>th</sup> European Coke and Ironmaking Congress*, vol. 2, París, France, 2000, Association Technique de la Sidérurgie Française (ATS), Editions de La Revue de Métallurgie, Nanterre, France, 2000, pp. 659-663.
- [5] H. TAKETOMI, K. NISHIOKA, Y. NAKASHIMA, S. SUYAMA y M. MATSUURA, *4<sup>th</sup> European Coke and Ironmaking Congress*, vol. 2, París, France, 2000, Association Technique de la Sidérurgie Française (ATS), Editions de La Revue de Métallurgie, Nanterre, France, 2000, pp. 640-645.
- [6] G. NASHAN, K. WESSIEPE y G. WINZER, *Cokemaking Int.* 2 (1998) 30-42.
- [7] G. NASHAN, *The 1<sup>st</sup> International Cokemaking Congress*, Preprints vol. 1, Essen, Germany, 1987, Brinck & Co KG, Essen, Germany, 1987, A 2, pp. 1-51.
- [8] R.W. WESTBROOK y K. SCHUETT, *4<sup>th</sup> European Coke and Ironmaking Congress*, vol. 2, París, France, 2000, Association Technique de la Sidérurgie Française (ATS), Editions de La Revue de Métallurgie, Nanterre, France, 2000, pp. 654-658.
- [9] H. TOLL y P.E. DIEMER, *IISI-Seminar on Coke*, Session 4, Brussels, Belgium, September 2001, 67-80.
- [10] A. POOS, *Cokemaking Int.* 2 (1992) 29-36.
- [11] N. NAKAMURA, Y. TOGINO y K. TATEOKA, *Conference on "Coal, Coke and Blast Furnace"*, Middlesborough, United Kindong, June 1997, The Metals Society, London, United Kindong, 1997, 1-18.
- [12] ASTM D 5341-93, *Standard Test Method for Measuring Coke Reactivity Index (CRI) and Coke Strength After Reaction (CSR)*.
- [13] K.H. GROBPIETSCH y H.B. LÜNGEN, *Cokemaking Int.* 1 (2001) 54-60.
- [14] A. GARCÍA, M. NOVO y R. ÁLVAREZ, *Proc. of the 47<sup>th</sup> Meeting of the European Coke Committee (ECC)*, Oulu, Finland, 1996, Annex 5.3, pp. 1-13.
- [15] J.P. MARINO, O. GONZÁLEZ, J. BERMÚDEZ y R. ÁLVAREZ, *Proc. of the 50<sup>th</sup> Meeting of the European Coke Committee (ECC)*, Oviedo, Spain, 1998, Annex 4.1, pp. 1-16.
- [16] M. SIRGADO y J.L. VERDURAS, *Ironmaking Conf. Proc.*, The Iron and Steel Society, Chicago, EE. UU., 1978, pp.404-420.
- [17] R. ÁLVAREZ, M.A. DÍEZ, J.A. MENÉNDEZ, J. BERMÚDEZ, A. GARCÍA, J.M. SUÁREZ y M. SIRGADO, *Proc. of the 36<sup>th</sup> Meeting of the European Coke Committee (ECC)*, Saarbruecken, Germany, 1997, Annex 7, pp. 165-173.
- [18] J.A. MENÉNDEZ, R. ÁLVAREZ y J.J. PIS, *Rev. Metal. Madrid* 4 (1993) 214-222.
- [19] UNE 32018. *Coque. Determinación de la resistencia mecánica. Índices MICUM e IRSID* (1982).