

LA INVESTIGACIÓN SIDERÚRGICA EN EL CENIM¹

F. A. López

Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CSIC)

Departamento de Metalurgia Primaria y Reciclado

1.- Introducción

La industria siderúrgica española en los años de la creación del Instituto del Hierro y el Acero, se caracterizaba por un importante atraso técnico, combustibles caros o de mala calidad y un mercado de dimensiones reducidas. Estas características hicieron que la siderurgia española no pudiera competir con productos ingleses, belgas o alemanes. Las investigaciones realizadas por el IHA y posteriormente por el CENIM, dentro aún del Patronato Juan de la Cierva, tuvieron un marcado carácter de aplicación industrial. La principal fuente de financiación hasta bien entrados los años 70 fueron las Tasas y Exacciones Parafiscales que aportadas por las empresas metalúrgicas del país, fijaban los temas de interés tecnológico. La desaparición de esta fuente de financiación y la escasa consideración que la investigación siderúrgica tuvo en los primeros Programas Nacionales de Investigación hicieron que durante años la investigación siderúrgica en el CENIM se orientara a la resolución de problemas concretos a través de financiación del sector productivo privado o de empresas públicas.

La incorporación de España al mercado común, en 1986, propició la obtención de financiación dentro del Tratado CECA. La importancia estratégica del acero en los años 50 motivó a los seis países fundadores de la CECA (Francia, Alemania, Italia, Holanda, Bélgica y Luxemburgo) a crear dicho programa como una necesidad prioritaria en el contexto industrial de la nueva Europa. Con la ayuda del sector siderúrgico, que intentaba obtener el “justo retorno” de las cuotas que abonaba al Tratado, se desarrollaron importantes proyectos de investigación que sirvieron además para que el CENIM modernizara sus instalaciones y equipamientos, favoreciera la incorporación de personal técnico y científico, aumentara su producción científica y mejorara su visibilidad internacional. La desaparición en 2002 del Tratado CECA supuso un hito negativo en la financiación de una parte importante de diversas líneas de investigación del CENIM que desde la incorporación de España a la Comunidad Europea, habían experimentado un gran desarrollo gracias a las mencionadas.

El Programa CECA de investigación ayudó y facilitó la reestructuración industrial de los países europeos en la década de los 80. Hoy la industria siderúrgica europea es reconocida como la más moderna y competitiva del mundo.

Posteriormente (2003-2007), el CENIM, dentro del VI Programa Marco, siguió realizando importantes proyectos de investigación con los fondos remanentes del tratado CECA, así como de otros programas nacionales y europeos, principalmente de los Planes Nacionales de I+D+i.

¹ Con motivo de los 60 Años de Investigación Metalúrgica en el CSIC

2.- La siderurgia en España desde su creación a la reconversión industrial

Los primeros altos hornos privados surgieron en Lugo (Galicia). Concretamente en 1794 y en Sargadelos. Con anterioridad, la Monarquía, para sus necesidades de armamento, había instalado algunos altos hornos. La primera fábrica de hornos altos de España con coque fue la instalada en Sabero en 1840 por la Sociedad Palentina-Leonesa. La fábrica contaba con cinco hornos (4 para fundir lingotes y 1 para bronce).

Más tarde, la siderurgia pasó a Andalucía. Siguiendo el modelo europeo de altos hornos al carbón vegetal y afinación y laminación a la hulla, se instalaron plantas en Marbella (Málaga) y en Cazalla de la Sierra (Sevilla). Pero la hegemonía de la siderurgia andaluza no pudo prolongarse más allá de 1863, cuando las fábricas asturianas de Mieres (desde 1852) y La Felguera (desde 1859) empezaron a trabajar a pleno rendimiento.

La primacía de Asturias se debió a la abundancia de hulla y de minerales de hierro en su territorio. Pero esta primacía, después de la irrupción del convertidor Bessemer, pasó a Vizcaya. Al terminar en 1876 la Segunda Guerra Carlista, algunos empresarios europeos, con el fin de conseguir mineral barato para sus altos hornos, comenzaron a instalarse en la ría del Nervión. La oferta aparecía así dividida entre los productores asturianos y vascos. Empezó una gradual sustitución de los convertidores Bessemer por otros sistemas de fabricación, difundidos en Europa y EEUU. Apareció así el "horno abierto" Martin-Siemens que mejoraba el método Bessemer.

La siderurgia española atravesó por etapas de diferente esplendor, llegando a alcanzarse en 1929 la producción de millón de toneladas de acero, que disminuyeron a la mitad en 1940 tras la guerra civil. En este período, se acentuó la hegemonía vizcaína al frente de la siderurgia española y se concentró toda la producción en el norte. Durante los años 1940-1950 la minería encuentra un entorno favorable. En la época de la II Guerra Mundial, el primer productor siderúrgico de España era Vizcaya, seguida de Asturias y después Santander, Álava, Guipúzcoa y Navarra.

Las fábricas andaluzas habían dejado de producir. Altos Hornos de Vizcaya, empresa creada en 1902, a partir de la fusión de otras dos sociedades, se convirtió en la dominante en la siderurgia española.

El 15 de junio de 1950 el Estado Español dictó un decreto encargando al Instituto Nacional de Industria (INI) la construcción de la Empresa Nacional Siderúrgica S.A.(ENSIDESA) de capital totalmente público, en Avilés (Asturias), que arrancó su primer horno en 1957, pasando a ser la siderurgia española líder del mercado, inicialmente basada en los recursos de minerales de hierro de Wagner y Vivaldi.

La década de los 60 del pasado siglo marca el inicio del proceso de reestructuración minera e industrial. En 1961 se crea la Unión de Siderúrgicas Asturianas (UNINSA), formada por Duro Felguera, Fábrica de Mieres y la Fábrica de la Sociedad Industrial Asturiana. Respecto del carbón, en 1967 muchas empresas mineras transfieren su patrimonio a la empresa pública Hulleras del Norte, S.A. (HUNOSA).

El florecimiento de nuevos sectores demandantes de acero en el mercado español propiciaron también el desarrollo de otras acerías en la zona mediterránea, con la

constitución a principios de los setenta de la tercera planta integral de capital netamente español, los Altos Hornos del Mediterráneo (AHM).

La red productora siderúrgica española, en los años 80, previamente a la reconversión del sector, estaba concentrada en cuatro polos: Vizcaya, con altos hornos (Sestao y Baracaldo), fábricas de acero y laminadores (Sestao, Baracaldo, Basauri, Lecalde, etc.); Asturias, con altos hornos (Mieres, La Felguera, Avilés, Gijón), fábricas de acero y laminadores; Santander, con altos hornos; Sagunto (reconvertido) y la siderurgia catalana dedicada principalmente a la producción de aceros especiales. Años más tarde surgiría, en la bahía de Cádiz, ACERINOX.

El ajuste-reconversión de la industria básica (construcción naval, subsectores siderúrgicos, bienes de equipo y minería), que tuvo lugar en Europa entre los años 70 a los años 90, fue un proceso gestionado políticamente en todos los países europeos, con una fuerte intervención de las diversas Administraciones. Las soluciones debían tener en cuenta la eficiencia económica, pero también el impacto social y territorial. La reducción de empleo realizado y el costo de renovación de las instalaciones originaron una sangría de fondos públicos sin parangón en la industria europea. El que la siderurgia integral estuviera muy imbricada en la económica de las comunidades circundantes supuso que la dimensión territorial tuviera que ser tenida en cuenta. En siderurgia integral el enfrentamiento entre empresas o plantas, reproducía los conflictos inter-regionales: Asturias vs. País Vasco.²

La gestión del carbón y el acero dio lugar a la primera institución supranacional europea de la posguerra, la CECA (1951). Pero fue a partir de los ochenta cuando Bruselas adoptó un papel crucial, de tal forma que el siderúrgico ha constituido el primer caso de ajuste coordinado a nivel de la Unión. La reconversión española siguió caracterizada por su politización, las prácticas gradualistas y el equilibrio entre los principios de rigor y de solidaridad social/territorial.

La crisis de mediados de los setenta, y la posterior incorporación española a la Comunidad Económica Europea en 1986 pusieron de manifiesto las deficiencias estructurales que el aislamiento de la industria siderúrgica española había provocado. Así, se produjo una situación crítica que hacía muy difícil el mantenimiento de la siderurgia como hasta entonces, produciéndose la necesidad de adaptar la siderurgia integral para competir en un entorno internacional y de relaciones y actividades transnacionales³. En un proceso de racionalización y reorganización corporativa e industrial intenso, aunque de corta duración, la siderurgia integral española reconvirtió sus tradicionales activos de las compañías públicas AHV y ENSIDESA, con la aplicación del plan de competitividad, en una nueva empresa por aquel entonces pública, llamada CSI (Corporación Siderúrgica), que libre de deudas, se puso en funcionamiento en 1995. Posteriormente en 1997 se inició su proceso de privatización que culminaría con el establecimiento de una alianza estratégica con un grupo siderúrgico luxemburgués, ARBED, y la posterior entrada de otros grupos siderúrgicos españoles más pequeños creándose el grupo ACERALIA. Con la alianza estratégica planteada entre ARBED y ACERALIA, la siderurgia integral española inició una nueva andadura ampliando su óptica productiva y comercial más allá del tradicional mercado nacional. Además, la adquisición de grupos siderúrgicos españoles de menor tamaño

² Gabriel Saro Jáuregui. Tesis Doctoral. Universidad de Deusto. 2000

³ Informe Mc Kynsey sobre la Siderurgia en España.

aportaron instalaciones productivas y comercializadoras que le han permitido ampliar sus redes empresariales a los países comunitarios vecinos. Esta internacionalización se convirtió en un objetivo básico con el acuerdo de integración con USINOR y ARBED⁴, que permitió a la siderurgia integral española, desahuciada hace apenas dos décadas por muchos, integrarse en la siderurgia líder del acero mundial, ARCELOR.^{5,6,7}

El Tratado CECA expiró el 23 de julio de 2002. En esta fecha dejó de aplicarse el trato especial a los sectores del carbón y del acero, que pasaron a integrarse plenamente en el Tratado Constitutivo de la Comunidad Europea.

3.- La Investigación siderúrgica en el Instituto del Hierro y el Acero (IHA) (1947-1963)

Las investigaciones sobre **beneficio y sinterización de minerales**⁸ para el horno alto, constituyeron las líneas de investigación siderúrgicas más importantes del IHA, líneas que continuaron en el CENIM a partir de 1963 y que se potenciaron entre 1986 a 2002 a través de proyectos de investigación dentro del Tratado CECA.

En los primeros años del IHA, al igual que sucedió con otros Institutos del Patronato Juan de la Cierva (PJC), su labor se basó, ante la falta de equipamiento científico propio, en la realización de estudios de interés industrial basados en experiencias existentes en países más desarrollados, es decir, en informar sobre el estado del arte en tecnologías que se necesitaba conocer para la instalación de nuevas empresas por parte del Instituto Nacional de Industria (INI). La política del INI en los años cincuenta, estaba basada, en lo que al Patronato Juan de la Cierva se refiere, en la “revalorización”⁹ de los recursos nacionales, principalmente carbón, residuos agrícolas, pizarras bituminosas, piritas y cenizas de pirita y minerales de hierro principalmente.

La investigación siderúrgica en el IHA se llevó a cabo en el Departamento de Investigación Industrial, a través de sus Secciones de Hierro y Acero.

En 1947, las Sociedades que formaban parte del Consejo de Administración del Instituto propusieron como de interés primordial “*montar instalaciones de preparación y sinterización para abordar la investigación sobre sinterización de diversos minerales españoles, a fin de concretar su mejor utilización en los hornos altos, procediendo, si es preciso, al montaje de una instalación piloto*”¹⁰. En 1948, el Consejo de Administración aprueba la construcción de una planta piloto de sinterización, siguiendo un modelo inglés. La construcción se realiza en los talleres de la sociedad ADASA (Pinto, Madrid) y se instala en 1949 en la sede del IHA en la madrileña calle de Tomás

⁴ ACUERDO DE INTEGRACIÓN – AMALGATION AGREEMENT -ACERALIA-ARBED-USINOR DE 7 DE JUNIO DE 2001.

⁵ BREVE HISTORIA DE LA SIDERURGIA INTEGRAL ESPAÑOLA. Ramón Laso. CEIS. 2002. 33 pp.

⁶ Reconversión e internacionalización de la siderurgia integral española. M. P. Sierra Fernández.

Economía Española, 333 (11). 2000. 101-114

⁷ Arcelor, el final de la reconversión siderúrgica en España. José Emilio Navas López, Luis Ángel Guerras Martín. Casos de dirección estratégica de la empresa 2003, ISBN 84-470-2072-X, págs. 143-156.

⁸ La sinterización es un proceso de aglomeración en caliente por la cual los finos de mineral de hierro, coque y fundente, se transforman, mediante un proceso de fusión, en un material poroso, resistente y de alta concentración en Fe.

⁹ El Patronato Juan de la Cierva (1939-1960). III Parte: La Investigación Científica y Tecnológica. S.

López García. Arbor CLXII, 637 (1999). 1-32.

¹⁰ Memoria del Patronato Juan de la Cierva. Instituto del Hierro y el Acero. 1947

Bretón, 51. Diez años más tarde, en 1959, se proyecta y construye una nueva planta de sinterización por aspiración.

En la “paila” comienzan ambiciosas campañas de ensayos de minerales de hierro y carbonatos cálcicos cuyos objetivos son determinar la capacidad de uso siderúrgico de los minerales procedentes de diversas cuencas españolas así como la utilización de carbonatos crudos (sideritas). Los ensayos comprenden la determinación de las curvas de temperatura y presión, tiempo de proceso, influencia del tamaño y proporción del combustible (coque). Los resultados se optimizan mediante análisis químico, granulométricos, mineralógicos, de permeabilidad, porosidad, reductibilidad y fusión.



Figura 1.- Planta piloto de sinterización (1965)

Las investigaciones sobre sinterización de minerales se extendieron hasta el año 1999 y los resultados obtenidos fueron comprobados en diversas instalaciones siderúrgicas en los hornos altos de Asturias y del País Vasco. En 1950, se realizan los primeros ensayos a escala industrial

en La Sociedad Duro-Felguera, que sirvieron para

comprobar los resultados obtenidos en las campañas de sinterización que se realizaron en el IHA entre 1949 y 1950. Los ensayos se extendieron posteriormente a Altos Hornos de Vizcaya. Durante los años posteriores a su puesta en funcionamiento, la “paila” se complementó con diverso equipamiento. En 1951 se instalan equipos para la determinación de la resistencia mecánica de los sinterizados (British Standard Shatter Test y Siembach).

A mediados de 1952, la planta de sinterización se traslada a la sede del IHA en la calle del Plomo (Legazpi, Madrid). En 1954, un informe de la Comisión de Sinterización del IHA concluye, después de ensayos de comprobación industrial, que es posible lograr sinterizados de excelente calidad partiendo de carbonatos crudos, que son calcinados durante el proceso de sinterización, en vez de utilizar carbonatos previamente calcinados. Este resultado supuso un avance importante y una reducción de los costes del proceso siderúrgico.

En 1953, se inicia el estudio de la aglomeración de minerales de hierro mediante **peletización**¹¹, estudiándose el comportamiento de los minerales de Sierra Menera.¹² Dos de los premios del IHA de 1954, fueron otorgados a trabajos publicados sobre caracterización y aglomeración de minerales.^{13,14} El estudio de procesos de

¹¹ La peletización es un proceso de aglomeración del mineral finamente molido o un concentrado por la adición de aglomerantes y agua para darle forma de partículas esféricas las cuales son posteriormente endurecidas por calentamiento.

¹² Ensayos de aglomeración de mineral de Sierra Menera. Ensayos de sinterización y peletización. VI Reunión de la Sección del Hierro. 1953.

¹³ “Estudio mineralógico de algunas menas de hierro españolas” J.M. Fúster Casas y J.A. Boned Sopena

aglomeración por peletización, se aplicó a partir de 1986 a residuos siderúrgicos, posibilitando así su reciclado.

En 1952, el IHA inicia un importante proyecto sobre la utilización siderúrgica de **piritas** de hierro, que años más tarde, se centraría en el uso siderúrgico de **cenizas de pirita**. Los primeros resultados obtenidos en esta importante línea de investigación se presentaron en la V Reunión de la Sección de Hierro.¹⁵

La utilización siderúrgica de **cenizas de pirita**, fue un encargo que recibió el IHA de las denominadas Comisión Gestora de Piritas Españolas y Comisión Gestora de Pequeña Siderurgia, ambas integradas en el INI y que constituyó un importante proyecto de investigación que se extendió hasta 1960. En un informe preliminar hecho público en 1954, se concluyó que las cenizas de pirita eran capaces de ser sinterizadas en mezcla con otros minerales o solas y que en la sinterización se lograban índices de desulfuración magníficos. Sin embargo, el sinterizado no era apto para su uso siderúrgico a causa de la permanencia en él de elementos metálicos como el cobre, cinc y plomo. A partir de 1955, se realizan investigaciones encaminadas a la eliminación y recuperación de los elementos no féreos. Las primeras investigaciones se centran en la sinterización de las cenizas con o sin adición de elementos clorurantes, investigaciones que no proporcionan resultados satisfactorias. Posteriormente, se investiga la sinterización de las cenizas en mezclas con otros materiales, sobre todo, minerales siliciosos. En 1957 se comprueba que una mezcla de cenizas de pirita, minerales de silicio y NaCl o CaCl₂ permite obtener sinterizados aptos para su uso industrial, con bajos contenidos de S y elementos no féreos. La influencia de la sílice¹⁶ en el proceso de sinterización de las cenizas de pirita tostadas tuvo una gran relevancia ya que abría las posibilidades de utilización siderúrgicas de las mismas. En 1959, se proyecta y construye una nueva planta de sinterización por aspiración que permite avanzar en el estudio de la utilización de las cenizas de pirita. Los resultados de todos estos trabajos se publicaron en el XXXII Congreso Internacional de Química Industrial (1960)¹⁷.

A partir de 1960, se inician investigación para la obtención de sinterizados autofundentes, con índices de basicidad (CaO/SiO₂) de 1,2 a 1,4, esclareciendo la influencia de algunos factores fundamentales en la sinterización por aspiración. En 1961, la Fundación Juan March, otorgó una Beca¹⁸ para el estudio de la “influencia de la altura de la carga en los principales parámetros de la operación de sinterización por aspiración”. Los resultados de estas investigaciones consiguieron explicar que las diferencias entre la reductibilidad de los sinterizados autofundentes dependen de las diferentes proporciones y características de los óxidos de hierro y ferritos de cal formados en el proceso. Los resultados de estas investigaciones sobre sinterizados

¹⁴ “Ensayos de aglomeración del mineral de Sierra Menera. Ensayos de Sinterización y ensayos de peletización” E.Charro Sánchez y J.A.Boned Sopena.

¹⁵ Ensayos de sinterización de residuos de piritas, solas y en mezcla con carbonatos crudos y calcinados con minerales siliciosos”. V Reunión de la Sección de Hierro. 1952.

¹⁶ La adición de sílice, en proporciones entre un 5 a un 9% a la mezcla de piritas a sinterizar, aumenta la intensidad de la sinterización, mejora la resistencia mecánica y rendimiento de la sinterización con un menor consumo de combustible.

¹⁷ “Ensayos de reductibilidad de los sinterizados de cenizas de piritas solas y con adiciones. Influencia del encendido y de la proporción de finos de retorno de las cargas” J.A.Boned Sopena. XXXII Congreso Internacional de Química Industrial. 1960

¹⁸ Beca al Licenciado D. Antonio Fillol Cíoroga. 1961-1967

autofundentes, recibieron en 1964 el Premio “Francisco Franco”¹⁹. A partir de las cenizas de pirita, el CENIM desarrolló un derivado mineral denominado **“mineral púrpura”** que fue utilizado por la empresa METALQUÍMICA DEL NERVIÓN para la recuperación de los contenidos de Zn y Cu. El “mineral púrpura”, se utilizó también como “sinter feed”.

Las investigaciones en el **beneficio de minerales de interés siderúrgico**, comenzaron en 1947. El Departamento de Investigación Industrial del IHA inició ese año un estudio sobre “La investigación de la cuenca minera Vizcaya-Santander” de gran relevancia y que se extendería a lo largo de varios años, en colaboración con el Instituto Geológico y Minero de España. En 1954, se publica en la revista del Instituto el informe final con los resultados de los trabajos realizados en el estudio geológico-minero²⁰. A finales de 1958, se inician estudios sobre el aprovechamiento de minerales de hierro y titanio del Sahara español, investigaciones que se prolongarán hasta finales de 1963.

En 1948 el problema de la escasez de chatarra había hecho variar la opinión de los técnicos e industriales españoles a favor de experimentar con procedimientos que evitasen la dependencia de la importación de chatarra⁷. Por ese motivo, el IHA inicia investigaciones sobre los Procesos Renn-Krupp y Wasset y en la fabricación de esponja de hierro Höganäs y Wiber. El interés por el proceso Renn-Krupp era tal que en la II Asamblea General del IHA el Dr. F. Johannsen, del Institut für Metallhüttenwesen und ElektroMetallurgie de Alemania, impartió una conferencia magistral²¹.

Los primeros ensayos de obtención de **esponja de hierro** se realizaron en un horno de fabricación de ladrillos en la Sociedad CELSA de Madrid y en la Escuela Municipal de Cerámica, ensayándose finos de mineral de Sierra Menera y magnetitas de Marbella. Los primeros resultados no fueron satisfactorios debido a las restricciones eléctricas que soportaba la capital y en 1949 se decide contactar con el ONTARIO RESEARCH FOUNDATION de Toronto (Canadá) para la realización de ensayos en un horno túnel. Ese año, se embarcan hacia Canadá 1000 kg de mineral de Sierra Menera (Teruel). No se tienen datos documentados sobre el resultado de estos estudios ni tampoco que las investigaciones sobre la obtención de esponja de hierro prosiguieran una vez que el Instituto dispuso de instalaciones propias. No obstante, la producción de esponja de hierro era un tema de gran relevancia y muchos años después, SKF STEEL ENGINEERING AKTIEBOLAG patentó en 1981 un procedimiento para la fabricación de esponja de hierro en horno de cuba.

En 1955 se pone en marcha en Avilés la SOCIEDAD SIDERÚRGICA ASTURIANA (SIASA) dedicada a la fabricación de **nódulos de hierro por el proceso Renn-Krupp**, que se beneficia de los informes técnicos que el IHA había realizado años antes.

¹⁹ Estudio de la producción de sinterizados autofundentes, de sus balances térmicos y posibles medidas para mejorarlos”. J.A. Boned Sopena. Premio “Francisco Franco” 1964.

²⁰ Estudio y reconocimiento del criadero de mineral de hierro Vizcaya-Santander. Revista del IHA. Núm.4 (1954)

²¹ La preparación de minerales de hierro ricos en SiO₂, por el proceso Renn-Krupp, Prof. Dr. Ing. F. Johannsen, del Institut für Metallhüttenwesen und ElektroMetallurgie, Bergakademie, Clausthal (Alemania). II Asamblea General del IHA. Madrid, 10-15 de diciembre de 1951

SIASA centró su actividad en una producción de bajos costes y altos rendimientos inmediatos propiciados por la política de sustitución de importaciones: la chatarra sintética. Con este nombre se designa a los nódulos de hierro obtenidos a partir de minerales muy siliciosos de baja ley de hierro como eran los asturianos (inapropiados para el beneficio en alto horno), según el procedimiento alemán Renn-Krupp. Para la reducción del mineral se empleaban finos de antracita y hulla, materia de escasa aplicación en la siderurgia. El sistema aplicado permitía, de un lado, revalorizar un mineral carente de interés industrial por resultar antieconómico su beneficio; de otro lado, prescindir de combustible de calidad (minerales de baja ley), dando como resultando un producto final (nódulos Renn-Krupp) apto para el horno alto en sustitución de la chatarra o para el horno eléctrico para la fabricación de acero.

SIASA encarga entonces al IHA un amplio proyecto de investigación basado en la mejora de la calidad de los nódulos. El Instituto aborda el afino de los nódulos mediante soplado con oxígeno, después de su fusión en un horno eléctrico que había sido instalado unos años atrás. Los primeros estudios indican que la eliminación del azufre durante el proceso de fusión de los nódulos se efectúa con facilidad y bastan pequeñas adiciones de caliza y cok para obtener una escoria reductora. Se logran excelentes eliminaciones de C y se presentan problemas en la eliminación del P que no se consigue descender de 0,3-0,4%. No es hasta 1958 cuando los científicos del IHA consiguen la defosforación de los nódulos hasta límites de P comprendidos entre 0,02 y 0,06%. El método desarrollado por el IHA permitía afinar toda clase de hierro con independencia de sus contenidos en C, P, Si, S... y en muchos casos, el proceso desarrollado tenía ventajas sobre los procesos clásicos de conversión neumática y del horno Siemens.²² Este proceso supuso un avance importante, que años más tarde se aplicaría en los convertidores LD al oxígeno. Los resultados de estas investigaciones se dieron a conocer en el transcurso de la IV Asamblea General del IHA²³.

El IHA prosiguió sus investigaciones sobre los nódulos (carburización, utilización de mezclas de nódulos y cenizas de piritita) y sobre todo, la obtención de acero en horno eléctrico de arco. En 1962 los científicos del IHA logran obtener acero en horno eléctrico de arco empleando una carga 100% de nódulos Renn-Kruppp. Las investigaciones en este campo, prosiguieron hasta 1963, fecha en la cual, la crisis de SIASA hace inviable el mantenimiento de esta línea de investigación que proporcionó importantes avances tecnológicos. Si hasta 1961 la chatarra sintética salida de SIASA no tuvo dificultades para ser absorbida por el necesitado mercado siderúrgico nacional, a partir de ese año el INI decide orientar la política acerera nacional hacia el consumo de mineral de hierro, tanto español como extranjero. Tal determinación, sumada a la política de precios (caída progresiva del precio de la chatarra sintética y aumento paralelo del correspondiente a los factores de producción) y la apertura del mercado español, desencadenó la crisis irreversible de SIASA²⁴ (que en 1972 fue adquirida y achatarrada por ENSIDESA).

²² El proceso desarrollado por el IHA consistía en soplar con una lanza de oxígeno muy próxima al baño fundido de los nódulos, durante un tiempo determinado para lograr la formación de una escoria fluida, oxidante y básica. Finalmente, se soplaba por encima de la capa de escoria, oxidándola y esta capacidad de oxidación de la escoria era la que favorecía la eliminación del P.

²³ Algunos aspectos relativos a los ensayos para el afino de los nódulos obtenidos en las instalaciones Renn-Krupp de Avilés". IV Asamblea General del IHA. Madrid, 1959.

²⁴ El primer fracaso del INI en Asturias: SIASA (1942-1971). Paz Benito del Pozo. Revista de Historia Económica. 3 (1991), 533-540

En el año 1962, las empresas siderúrgicas, previendo el interés que en aquel momento había en el mundo sobre las técnicas de enriquecimiento de minerales de hierro, desde el punto de vista técnico y económico, y en la previsión de una posible escasez de coque metalúrgico y menores contenidos de Fe en los minerales nacionales, solicitaron al IHA la elaboración de un programa ambicioso sobre este tema.

4.- La Investigación siderúrgica en el CENIM (1964-2007)

Con la creación del CENIM se lleva a cabo una reestructuración de las actividades científicas, creándose, en 1964, dentro de Departamento de Investigación, la Unidad de Siderúrgica que a partir de entonces desarrollaría la labor que había venido realizando hasta entonces la Sección de Hierro del IHA. La labor investigadora realizada por el CENIM en los 60 *“fue orientada, en lo posible, de acuerdo con las conveniencias o requerimientos de la industria metalúrgica española”*, por lo que se constituyeron en el Centro diversas Comisiones de Programación integradas por Miembros del mismo y de la Industria²⁵

A partir de ese momento, se desarrollan con mayor intensidad proyectos de **enriquecimiento de minerales de hierro y de preparación de los mismos para su beneficio en el horno alto**, que contemplaban la utilización de nuevas técnicas basadas en la separación magnética de minerales (Tubo Davis, Separador Isodinámico Frantz) y aglomeración mediante peletización y equipos para determinar el contenido en magnetita equivalente (Forrer). También se inician en esa época estudios sobre concentración de minerales mediante flotación por espumas. El objetivo de todos estos estudios y técnicas era lograr un concentrado de mineral de hierro de la mayor pureza

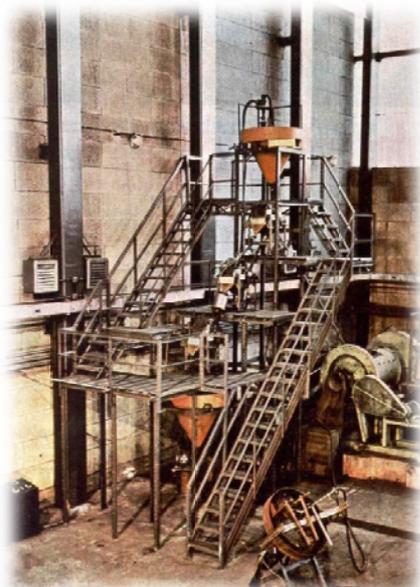


Figura 2.- Planta piloto de tratamiento de minerales de hierro (1967)

posible. Los concentrados eran transformados posteriormente mediante **sinterización y peletización**, estudiándose los consumos específicos de coque, propiedades físico-químicas de los sinterizados y balances energéticos del proceso. Al mismo tiempo, esta línea de sinterización se completaba con estudios de reductibilidad de minerales de hierro, de sus concentrados y aglomerados por los métodos de Krupp y Linder²⁶, desarrollo de sinterizados autofundentes de alta basicidad, estudio de la reductibilidad de lechos de fusión y aumento de los rendimientos del horno alto.

Se trabajó en la concentración por separación magnética a baja intensidad en húmedo (SMBIH) de los minerales del Noroeste español, obteniéndose concentrados con contenidos en Fe superiores al 62% en peso y posteriormente, con los

²⁵ Memoria General de las Actividades del CENIM. Madrid, Enero 1965

²⁶ Una prueba del carácter industrial de estas investigaciones, fue el abaratamiento del coste de producción del arrabio, logrado mediante los estudios de sinterización. En 1967, se hacen públicas las conclusiones de un informe en el que se da cuenta de una reducción de 128 pts/t en la producción del arrabio.

minerales del Suroeste, con los que se obtuvieron concentrados de Fe con más del 68%. Estos concentrados se aglomeraban posteriormente en forma de pellets. ENSIDESA, incorporó este tipo de concentrados a sus bandas de sinterización.

Estas líneas de investigación, de interés para el sector siderúrgico nacional, se continuaron hasta bien entrada la década de los 80. Los proyectos en esta línea fueron llevadas a cabo, en algunos casos, de manera coordinada con el Departamento de Metalurgia No Férrica.

Las investigaciones en el beneficio de minerales de hierro, se vieron impulsadas en los años 60 con la adquisición de una instalación piloto de concentración magnética, compuesta por un separador de alta intensidad en húmedo, un molino de bolas, un clasificador Wemco y una caja separadora Wemco-Remer. La planta, tenía una producción aproximada de 300 kg/h por lo que en muchos proyectos se llegaban a tratar 20 T o más de minerales. También en ese año, se instala en el CENIM el primer disco peletizador discontinuo de 1,25 m de diámetro. Este equipamiento permitió abordar a mucha mayor escala los proyectos de investigación que se realizaron a partir de entonces en el Departamento de Siderurgia. En años posteriores se adquirieron una mesa de sacudidas Wilfley y una criba de pistón Wedal. En estas instalaciones, se estudió el aprovechamiento de minerales de empresas como ANDALUZA DE MINAS S.A. y Agruminsa, obteniéndose “sinter feed” a partir de la concentración mediante técnicas de separación magnética de alta intensidad en húmedo (SMAIH).

En abril del año 1964, se constituye la Comisión Técnica de Ingenieros de Horno Alto, que más tarde se llamaría Comisión Técnica de Horno Alto, que se reunió por vez primera en Madrid y que tendría posteriormente un carácter itinerante en las diversas instalaciones siderúrgicas del país. Esta Comisión, germen de otras que vendrían después²⁷, supuso para el CENIM el conocimiento concreto de las necesidades del sector industrial, que de este modo planificaba y planteaba el desarrollo de sus investigaciones. En las reuniones de la Comisión, se discutían resultados de las marchas industriales de los Hornos Altos y se presentaban informes sobre reuniones habidas en otros países. La preocupación de la Comisión, en los primeros años de su existencia, era fundamentalmente la disminución del consumo de cok en el horno alto y el establecimiento de criterios unificados para su determinación.²⁸ Era importante en la época, poder disponer de una fórmula que permitiera predecir el consumo de cok para los distintos tipos de arrabio. A partir de 1967, el CENIM se encarga de la recogida mensual, estudio y propuesta de mejora, de “datos de marcha” y “censo de los hornos”. La Comisión Técnica de Acerías, se encargaría de la toma de datos de los hornos eléctricos de arco del país. Esta labor continuaría a nivel Europeo después de la entrada de España en la Comunidad.

²⁷ En 1965, existían ya creadas, entre otras, las Comisiones Técnicas de Enriquecimiento de minerales de hierro, de Nódulos Renn-Krupp y de Acerías.

²⁸ En aquella época, se utilizaban las fórmulas de Flint, Wiberg y Thibaut para calcular el consumo específico de cok en el lecho de fusión del horno alto. La Comisión, en su reunión del 20 de Noviembre de 1965 en Avilés (Asturias) decidió adoptar el criterio de Flint simplificado para el cálculo de los “consumos corregidos de cok específicos”.

En 1968, se lleva a cabo una reestructuración interna del Centro y el Departamento de Siderurgia se organiza en Secciones: Enriquecimiento de Minerales; Sinterización de Minerales; Hierro y Acero.²⁹



Figura 3.- Disco peletizador de 1968

En el inicio de los años 70, la labor investigadora del CENIM comenzó a concretarse en líneas de investigación que pudieran tener un impacto más o menos inmediato en aquellos campos de la tecnología metalúrgica que estaban más necesitados de desarrollos y para los cuales la investigación nacional era un factor decisivo. Para ello, el Instituto abandonó algunas líneas de investigación que había cultivado

anteriormente, potenció aquellas de mayor interés industrial y abrió nuevas líneas que respondían a esos sectores estratégicos. Esas líneas quedaron expuestas en el Informe que el Patronato Juan de la Cierva publicó en 1970 como Proyecto de Plan de Actuación quinquenal.

Uno de los ejes fundamentales de este Plan era la obtención de **prerreducidos**. La escasez de chatarras por el auge de la industria siderúrgica española hace necesaria la investigación en la obtención de materiales altamente metalizados obtenidos mediante reducción en estado sólido de minerales de hierro. El Plan incluía tres líneas fundamentales de actuación: materias primas, procesos de producción de prerreducidos y utilización en las acerías. Durante años, esta fue una de las investigaciones

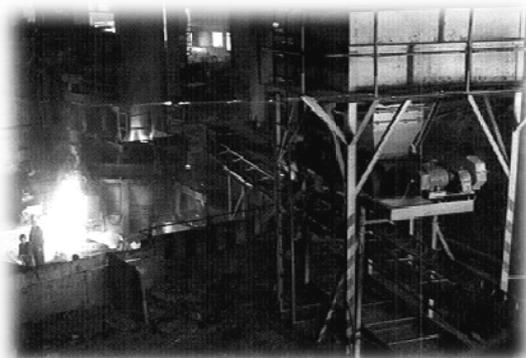


Figura 4.- Instalación para la utilización de prerreducidos en la factoría Naval de Reinosa (1974)

fundamentales del CENIM, que concluyeron años más tarde sin que los resultados se transfirieran a la industria, a pesar de que se consideró durante algún tiempo la construcción de las dos plantas de prerreducidos con gas natural. El proceso desarrollado en el CENIM consistía en la prerreducción de minerales hierro en hornos de cuba alimentados con gas natural.

La utilización de prerreducidos en hornos de arco sustituyendo parcialmente a la chatarra, permitía mejorar la productividad del horno con respecto a la marcha convencional así como disminuir elementos perniciosos para el acero procedentes de la chatarra.³⁰ El proceso desarrollado en el CENIM se llevó a la práctica industrial en las factorías de UNIÓN CERRAJERA (hoy ALTOS HORNOS DE VERGARA, S.A.) y en

²⁹ Jefe del Departamento: J.A. Boned Sopena; Sección de Enriquecimiento de Minerales: Jefe de Sección J.J. Niño de Oláiz, Colaboradores R. Martín Moyano y G. García Cardedo; Sección de Sinterización: A. Fillol Ciórraga; Hierro: Jefe de Sección: F. Juan Asensio González, Colaborador: A. Formoso Prego; Acero: L. de Donpablo y G. Albizuri Higuera (Colaboradores)

³⁰ Estudio de la marcha metalúrgica y de los parámetros que determinan el coste de fabricación de acero con prerreducidos en horno de arco. Tesis Doctoral. MIGUEL FERNANDEZ LOPEZ. 1982. Universidad Politécnica de Madrid

la NAVAL DE REINOSA. Estas investigaciones, se extendieron años más tarde a los procesos de fundición.³¹ El CENIM desarrolló un proyecto de planta industrial para el aprovechamiento del calor de los humos de los hornos eléctricos de arco para fabricación de acero, cuyo prototipo se patentó³² en 1979. El sistema permitía alcanzar un ahorro energético comprendido entre 40 y 50 kWh/t de acero con un aumento de la productividad comprendida entre un 4 y un 8%. Las investigaciones en esta línea, se extendieron hasta 1983.

En 1971, se firma un convenio de colaboración a través del Instituto Nacional de Industria (INI) entre ENSIDESA y el CENIM para la realización de trabajos de I+D en el sector siderúrgico. Fruto de esta colaboración, fue la instalación en Avilés de una planta de sinterización que estuvo en funcionamiento hasta finales del año 2001, año en el que se realizó el último de los trabajos en dicha planta.



Figura 5.- Planta de sinterización instalada en el CENIM (1979)

Con el tiempo, la colaboración con ENSIDESA se amplió a otras líneas de investigación, como el control de la marcha del horno alto, la desulfuración del arrabio, la disminución del contenido de álcalis en los minerales de hierro, la

determinación del grado de asimilación de la cal contenida en los sinterizados, entre otras. Este convenio de cooperación tuvo, durante los años de su vigencia, una gran productividad tecnológica, fruto de la cual fueron un gran número de patentes registradas conjuntamente, y dio lugar a una importante producción científica y tesis doctorales.

³¹. Fabricación de fundición a partir de prerreducidos. J.L.Enriquez, Colada, 1982, 15, 12-15

³² Procedimiento e instalación de depuración de humos para hornos de fabricación de acero con aprovechamiento del calor de aquéllos para calentar sus materias primas. M. Fernández López. Patente ES480010. 1979.

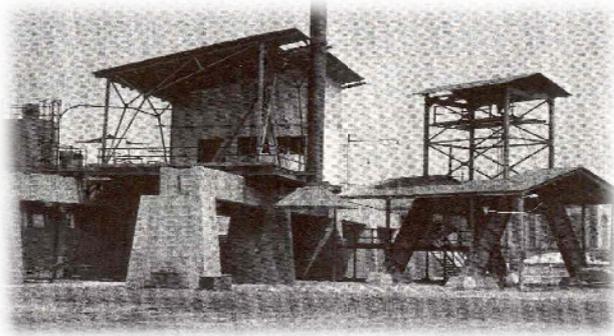


Figura 6.- Planta de desulfuración de arrabio desarrollada por el CENIM

Junto a estas productivas líneas de investigación, el CENIM avanzó en el estudio del **control de marcha del horno alto**, disminuyendo el consumo energético y aumentando la productividad; en el control del estado térmico del horno alto y acondicionamiento del viento, mediante la disminución del consumo específico de coque y utilizando otras fuentes de energía y en la **desulfuración del arrabio** fuera del horno alto. En este sentido,

en aquellos años, se registraba un importante consumo de minerales de alto contenido en álcalis, lo que obligaba a limitar la basicidad de la escoria del horno alto y consecuentemente su capacidad de eliminar azufre. El elevado coste de eliminación y las exigencias cada vez mayores de fabricar aceros con bajos contenidos en azufre, abrieron nuevas líneas de investigación basadas en el desarrollo de procesos de eliminación de este elemento fuera del horno alto. En esta línea, una de las más importantes aportaciones del CENIM fue la patente ES456547 “Lanza de inyección de sólidos granulados y pulverulentos en el hierro fundido” de D. Fermín Juan Asensio Gonzalo y D. Antonio Gutiérrez Gracia³³. La lanza de inyección, recubierta interiormente por un refractario especial, permitía la inyección e inmersión en la masa fundida de hierro de cualquier producto o productos utilizados en la desulfuración del arrabio, evitando pérdidas y contaminaciones. Este desarrollo se implantó a nivel industrial en la factoría de Altos Hornos del Mediterráneo en Sagunto.



Figura 7.- Planta de precalentamiento de chatarras (1982)

La crisis del petróleo, iniciada en 1973 cuadruplicó el precio del crudo y unido a la gran dependencia que tenía el mundo industrializado del petróleo de la OPEP, provocó un fuerte efecto inflacionista y una reducción de la actividad económica en los países afectados. La industria siderúrgica no fue ajena a este efecto reductor de la actividad y atravesó momentos difíciles, que en algunos casos, llevó consigo ajustes de plantillas y planes de reestructuración. La industria siderúrgica intenta conseguir un mayor ahorro energético. Este objetivo, en los años 80, alcanza al CENIM implantando nuevas líneas de investigación, como el aprovechamiento de la energía de los humos de los hornos de arco para el **precalentamiento de las chatarras**;

estudio sobre la utilización como combustibles de coque, antracita y carbón vegetal en

³³ Esta Patente, mereció, en 1977, el Premio “García Cabrerizo” a la Innovación. Puede consultarse en : https://digital.csic.es/bitstream/10261/6537/1/0456547_A1.pdf

procesos de sinterización, ahorro energético y optimización de los procesos siderúrgicos de fabricación de arrabio.

En 1982, ENSIDESA, PRESUR (ambas empresas estatales) y la sociedad alemana LURGI, constructora de HISPANOGRAS, llegaron a un acuerdo, según el cual, LURGI se comprometía a facilitar a ENSIDESA pellets de Fregenal de la Sierra de la misma calidad que los brasileños. La empresa siderúrgica asturiana compraría 800.000 toneladas de pellets a PRESUR al precio internacional y la propia LURGI vendería en el mercado exterior el resto de la producción de Fregenal de la Sierra, aproximadamente 325.000 toneladas.



Figura 8.- Planta de plasma de 150 kW (1984)

El inicio de actividades de PRESUR (Prerreducidos Integrados del Suroeste de España) permite al CENIM firmar un Plan Concertado con dicha empresa para el estudio de un “proceso de beneficio de minerales de hierro con carbón y **plasma térmico**”. Los minerales de hierro a estudiar, eran concentrados de magnetita de Fregenal de la Sierra (Huelva). El Plan, supuso una importante inversión en equipamiento para el Centro y permitió la adquisición e instalación de una planta piloto de plasma térmico de arco no transferido que sirvió para alcanzar los objetivos de dicho Plan. La instalación se ha venido utilizando a partir de entonces en diversos proyectos de investigación, entre los que cabe destacar los que se desarrollaron entre 1983 y 1994 en el marco de cooperación entre el CENIM y

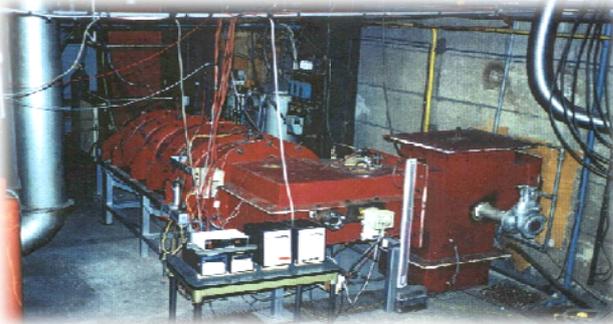


Figura 9.- Planta piloto de inyección de carbones (1994)

diversos centros de investigación de Cuba, financiados por diversos programas de ONUDI (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial). Los proyectos desarrollados en este fructífero período de cooperación bilateral, incluyeron el beneficio de **escombros lateríticos** y su aprovechamiento metalúrgico y la obtención de aceros y ferroaleaciones de alto valor añadido. Posteriormente (1988), la instalación de plasma sirvió para la realización de un proyecto de investigación financiado por la UE sobre recuperación de metales contenidos en catalizadores agotados³⁴.

A partir de 1986, fecha en la que España se incorpora a la Comunidad Económica Europea, se comienza a participar activamente en las actividades comunitarias de Investigación y Desarrollo, especialmente, las englobadas en el tratado de CECA (Comunidad Europea del Carbón y el Acero). En 1986, el CENIM consigue su **primer**

³⁴ Recovery of metals from residues using a pyrometallurgical plasma system (MAIR-001C) (1988-1989). Part a) Spent catalyst from oil refine industry.

proyecto de investigación europea titulado “Reutilización de subproductos minerometalúrgicos mediante tratamientos mineralúrgicos y posterior aglomeración”³⁵

Durante la vigencia del tratado, el CENIM participó en 48 proyectos de investigación, de los cuales 21 de ellos han tenido relación con la metalurgia primaria y el reciclado de materiales siderúrgicos. Dichos proyectos se realizaron en colaboración con empresas e instituciones europeas y han contribuido al incremento del prestigio del CENIM.

Si bien todos los proyectos realizados han tenido importante impacto industrial y científico, caben destacar, por sus aplicaciones industriales, las investigaciones realizadas en la



caracterización de carbones para la inyección en el horno alto y las mejoras tecnológicas en los procesos de inyección de carbones. El primero de estos proyectos desarrollados³⁶, se realizó en 1993 utilizándose la planta piloto de inyección de carbones que había sido construida en 1990 dentro de un Contrato de Investigación con ALTOS HORNOS DE VIZCAYA³⁷. Esta planta se utilizó posteriormente en el estudio del reciclado de aceites residuales siderúrgicos³⁸.

Figura 10.- Planta piloto de fabricación de fertilizantes NPK (1993)

En 1989, el CENIM consigue el primer proyecto sobre **utilización agrícola de escorias LD**³⁹, proyecto al que seguirían otros dos más en este campo y que permitieron el desarrollo de tecnología para la transformación de la escoria en fertilizantes NPK, llevándose cabo la construcción de una planta de demostración en la factoría de Avilés⁴⁰. Las investigaciones en esta área, permitieron además, obtener una patente sobre el uso de escorias siderúrgicas para combatir los efectos de la **lluvia ácida**⁴¹. El último de los proyectos sobre aplicaciones agrícolas de escorias siderúrgicas, finalizó en el año 2004 junto con otro de los proyectos realizados en el CENIM sobre aplicaciones de las escorias de la metalurgia secundaria⁴².

³⁵ Reutilización de subproductos minerometalúrgicos mediante tratamientos mineralúrgicos y posterior aglomeración. ECSC 7210-AB/931. Investigador Responsable: Dr. F. García Carcedo (1986-1989).

³⁶ Further developments in blast furnace injection technology. Investigadores Responsables A. Formoso y A. Isidro (1993-1996)

³⁷ Preselección de carbones para inyección en hornos altos. CT.1990. Investigador Responsable: M.Fernández

³⁸ A. Cores, A. Formoso, J.L. Verduras y S. Ferreira. Reciclado de aceites residuales siderúrgicos por inyección en toberas del horno alto. Rev. Metal. Madrid 34 (1998)

³⁹ Utilización agrícola de escorias LD. (ECSC 7210-XA/931) (1989-1992). Investigadores Responsables: A. Formoso y F.A.López.

⁴⁰ Production of NPK fertilizers from steel manufacturing by-products & improved fertilization through computerized techniques. (ECSC 7210-CB/935). Investigador Responsable: F.A.López (1993-1996).

⁴¹ Procedimiento para la fabricación de nuevos productos para su uso en la lucha contra la acidificación de suelos agrícolas y forestales. ES8903185. F.A.López, A. Formoso y J.Medina (1989)

⁴² Efficient utilisation of raw materials used in secondary metallurgy as flux in the electric arc furnace. ECSC (7210-PR-203) (2001-2004). Investigadores Responsables: A.Formoso y A.Cores.



Figura 11.- Instalación piloto para el estudio y modelización de la circulación de gases en el horno alto (Zona Cohesiva)(2003)

En los años 90, cuando la UEI de Siderurgia pasa a denominarse Departamento de Metalurgia Primaria y Reciclado, como consecuencia de la reestructuración habida en el Centro, el CENIM inicia proyectos de investigación que introducen tecnologías de **simulación y modelización y control en el horno alto** y en diversas operaciones siderúrgicas, proyectos que continúan en estos momentos. El primero de ellos⁴³, se inició en 1993 y en 1995, comienzan los primeros estudios sobre el **“raceway”**⁴⁴, que tuvieron una gran transcendencia para la industria siderúrgica.⁴⁵ El CENIM, diseñó una cámara de combustión que simuló las condiciones del “raceway” en la mayor extensión posible. La cámara se instaló en Avilés (Asturias) y sirvió para la realización de varios proyectos de investigación, como el iniciado en 2004, denominado MEMORACE⁴⁶, en el que se estudió la optimización de la inyección de tasas elevadas de carbón pulverizado en los hornos altos, en sustitución de coque y la modelización matemática de los intercambios de calor y de los fenómenos de combustión en el “raceway”.

La mejora de la producción de la banda de sinter y de la regularidad del sinter producido controlando la producción y la propagación del **frente de llama**⁴⁷ o el estudio de la influencia de los materiales de la mezcla de sinterización de minerales de hierro de alta productividad sobre el impacto ambiental y el estudio de las **emisiones gaseosas** (principalmente CO₂) en los procesos de sinterización, fueron otros de los importantes proyectos de investigación que el CENIM realizó en el ámbito de la investigación siderúrgica CECA.

En el año 2001 se encontraban en curso de realización 23 proyectos de investigación subvencionados por la Unión Europea, de los cuales 17 (74 %) correspondían al Programa CECA.⁴⁸

El 26 de junio de 2002 tuvo lugar en Luxemburgo el acto oficial de clausura del Programa de investigación científica y técnica de la Comunidad Europea del Carbón y

⁴³ Advanced modellization for blast furnace control. Investigadores Responsable: J.Mochón y A.Formoso (1993-1996).

⁴⁴ Cavidad formada enfrente de cada tobera del horno alto. La temperatura en esa zona está comprendida entre 1400-1900°C. Rodeando al raceway, hay coque incandescente.

⁴⁵ Modelling of gas and char flows at high PCI thorough experimental and theoretical studies of the raceway and the dead man. A. Formoso y A. Isidro (1995-1998)

⁴⁶ Improvement of the raceway monitoring under modern blast furnace operating conditions. RFS-CR-04001. (MEMORACE). Investigador Responsable: A. Isidro.

⁴⁷ Improvement of the yield of strand and the regularity of sinter by control of charging conditions and monitoring of flame from propagation. RFSR- 7210/PR003. (1997-2000). Investigador Responsable: J.Mochón.

⁴⁸ La investigación siderúrgica en el CENIM. Medina, S.F.; López, F y Morcillo, M. Revista de Metalurgia. 2003, (3), 193-204. (En este trabajo, puede encontrarse una descripción de todos los proyectos CECA en vigor en el año 2001). (Disponible en: <https://intranet.cenim.csic.es/revista/may-jun-2003.pdf>)

del Acero (CECA). Después de 50 años de incentivar y potenciar la investigación siderúrgica en Europa, CECA desaparecía habiendo cumplido satisfactoriamente, en opinión de todos los países europeos, con la misión y objetivos que se habían trazado: aumentar la competitividad de la industria siderúrgica europea a través de la fabricación de mejores aceros, de la reducción de costes y de la reducción del impacto medioambiental.

Como ejemplo de lo que ha representado CECA, cabe citar que el primer proyecto



Figura 12.- Cámara de combustión instalada en Avilés para el estudio del "raceway" (2002).

financiado por este programa fue sobre el horno alto y el objetivo era el empleo de carbón pulverizado como agente reductor. Su aplicación industrial ha ahorrado más dinero que toda la inversión hecha en el programa de investigación durante los 50 años de su existencia. Otro logro importante ha sido el aumento de la colada continua sin perder calidad. Se han producido avances en la galvanización, en la degradación del medio ambiente (destrucción de dioxinas, depuración de humos.....). Se han obtenido muchas mejoras en la fabricación de productos largos y planos, en el desarrollo de nuevos aceros (alta resistencia) para la industria de la automoción, para la fabricación de tubos, etc. El desarrollo del sinter fue muy importante para reducir la emisión de los gases de combustión. Las emisiones de CO₂ pasaron de 2.996 Kg/t en 1950 a 1.553 Kg/t en el año 2000. La utilización de coque pasó de 927 Kg/t a 366 Kg/t en el mismo período.

Aunque la CECA dejó de existir en de Julio de 2002, los fondos que aún mantenía, estimados en 1.600.000 €, siguieron apoyando proyectos específicos dentro VI-Programa Marco.

En el período 2002-2007, el CENIM mantenía, en el área de investigación relacionados con la siderurgia cinco proyectos activos, algunos de ellos, aún en fase de realización en estos momentos^{49,50,51} y en los que se está estudiando la mejora en la **vida de operación y servicio del horno alto** mediante el perfeccionamiento de la **monitorización** y control del crisol a través de modelos basados en programación lineal difusa, la introducción de nuevas tecnologías aplicadas a la fabricación del acero, el desarrollo de modelos basados en **redes neuronales** de los datos de sondas superiores

⁴⁹ Hearth Efficiency. RFSR-CT-2007-00001. Investigador Responsable: J.Mochón.

⁵⁰ Consistent blast furnace operation whilst using low cost raw materials. RFSR- 00002/0803. (2003-2007). Investigador Responsable: J.Mochón.

⁵¹ Enhanced B.F. operation life and service life by improved monitoring and control of the hearth. RFS-CR-03013 (2003-2007). Investigador Responsable: J.Mochón

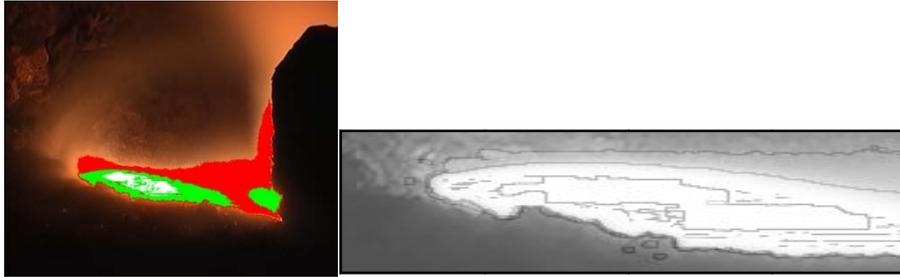


Figura 13.- Imagen "tapping" de una colada y simulación de perfiles de temperatura

internas del horno alto para mejorar el control del mismo, el desarrollo de sistemas neuronales difusos para mejorar el control del horno eléctrico de arco o el diseño y desarrollo de un horno, mediante sistemas **neuro-fuzzy**, de gran capacidad para altas temperaturas homólogas.

Finalmente, son de destacar las investigaciones realizadas para evaluar la utilización de **biomasa** en el horno alto en sustitución del carbón de origen mineral. Estas investigaciones, que forman parte del proyecto ULCOS⁵² del VI Programa Marco de la UE, han permitido diseñar e instalar una planta piloto de **pirolisis** en la que se estudian,

entre otros temas, la obtención de finos de carbón vegetal para su uso siderúrgico.



Figura 14.- Planta piloto de pirolisis (2008)

Es necesario hacer referencia a una serie de importantes proyectos de investigación que se desarrollaron dentro del marco de CECA y que incidieron en diversos aspectos del impacto ambiental producido por la industria siderúrgica.

En 1993, el CENIM lidera un proyecto sobre utilización de técnicas de biotecnología para el tratamiento de las **aguas de decapado sulfúricas**⁵³. Se basó en la utilización de diversas bacterias oxidantes que permitieron la obtención de ferritas de hierro, estudiándose diversas aplicaciones de las mismas y llevándose a cabo la construcción de una planta piloto. Las investigaciones sobre el tratamiento de aguas de decapado, se ampliaron en el año 1997 a las procedentes de la fabricación de **aceros inoxidables**, participando el CENIM en el Proyecto BRITE-EURAM – PIBARE sobre el tratamiento de las aguas de decapado nítrico-fluorhídricas⁵⁴. La relevancia de este proyecto, que permitió la construcción de una planta de demostración en las instalaciones de TÉCNICAS REUNIDAS S.A. en Madrid, alcanzó un alto grado de excelencia científica dentro de un proyecto de investigación⁵⁵ realizado con financiación del Plan Nacional en el año 1999. Esta

⁵² Ultra Low CO₂ Steelmaking: Charcoal injection into the blast furnace via the tuyeres under conventional and new (NFBF) operating conditions. RFSR-CT-2005-00001 (2005-2008). Investigador Responsable: M. Fernández López

⁵³ Recovery and Recycling of heavy metals and hydrocarbons by use of biotechnological techniques. ECSC 7261/02/512) (1993-1996). Investigador Responsable: F.A.López

⁵⁴ Novel process to recover by-Products from the pickling baths of stainless steel. BRITE-EURAM (BRPR-CT97-0407) (1997-2000). Investigadores Responsables: A. Formoso y F.A. López

⁵⁵ Reutilización de óxidos metálicos procedentes del proceso PIBARE de tratamiento de aguas de decapado del acero inoxidable. MAT99-1152-CE . Investigador Responsable: A.López-Delgado

productiva línea de trabajo, cuyos resultados fueron publicados en revistas científicas de gran impacto, finalizó en el año 2004 cuando concluyó el último de los proyectos realizados sobre este tema⁵⁶ en el que se utilizaron de manera novedosa, técnicas de filtración con membranas. Posteriormente, dentro de una acción bilateral con Brasil, se estudió, de manera complementaria a las investigaciones anteriores, la recuperación de



Figura 15.- Planta piloto de obtención de ferritas a partir de aguas de decapado tratadas con bacterias (1999)

metales contenidos en las **aguas de lavado del decapado** de aceros inoxidable mediante polímeros funcionalizados⁵⁷.

La incursión en técnicas biotecnológicas y su combinación con otras de carácter hidrometalúrgico se aplicaron también con éxito en la **eliminación de grasas** en los procesos de laminación, desarrollándose en 1997 un proyecto CECA que permitió desarrollar un proceso de purificación de dichas aguas residuales⁵⁸.

Finalmente, una larga y productiva línea de investigación en la que han participado diversos grupos de investigación del CENIM a lo largo de los últimos 20 años, ha sido el tratamiento de los **polvos generados en la fabricación de aceros** en las acerías eléctricas. El primer proyecto, se inició en 1989 con el desarrollo de pelets autoreductores, lo que permitía obtener óxido de cinc de elevada pureza⁵⁹. Este primer proyecto se desarrolló con la ayuda de las Tasas y Exacciones Parafiscales. Entre 1991 y 1992, el CENIM consigue el interés de las empresas siderúrgicas españolas y logra dos importantes actuaciones para evaluar las mejores tecnologías disponibles para el tratamiento de los polvos de acería⁶⁰.

En 1995 y como consecuencia de los trabajos de investigación que el CENIM desarrolla con la empresa ASER (ejecutora en España del proceso Waelz), se desarrolla la patente “Procedimiento para la obtención de un óxido de cinc de alta pureza mediante lixiviación de óxidos Waelz con disoluciones de carbonato amónico”⁶¹ que llega a implantarse a nivel industrial en la factoría de ASER en Erandio (Vizcaya).

⁵⁶ Ecoefficient technology for recovering acids and metals from rinse water in stainless steel pickling. ECSC (7210-PR-301) (2001-2004). Investigadores Responsables: A. López Delgado y F.A.López

⁵⁷ Proyecto de Investigación Internacional. Proyecto Multilateral. 2004BR0012. (2004-2005). Investigador Responsable: A.López Delgado.

⁵⁸ Biological degradation of organic pollutants in water circuits of degreasing systems. 7210-PR/042 (1997-2000). Investigador Responsable: F.J.Alguacil.

⁵⁹ Aprovechamiento del contenido metálico de polvos de acería eléctrica mediante técnicas físicas, químicas y pirometalurgia de altas temperaturas. (1989-1991). Investigador Responsable: F.Medina

⁶⁰ Realización de evaluación técnica y económica de los procedimientos de reducción carbotérmica y lixiviación con cloruro amónico para el tratamiento de polvos de acería eléctrica de arco. Ministerio de Industria y Comercio. Dirección General de Electrónica y Nuevas Tecnologías (1312/91 (Plan de Infraestructura Tecnológica) y CICYT (PTR92-004) (1992-1993). Investigador Responsable: A. Formoso.

⁶¹ Procedimiento para la obtención de un óxido de cinc de alta pureza mediante lixiviación de óxidos Waelz con disoluciones de carbonato amónico. F.J.Alguacil, N.de Goicoechea, I.Dañobeitia, A.Cobo, C.Caravaca, F.García. ES9500605. 1995.

En 1999, y recuperando la idea desarrollada en 1989, el CENIM estudia, junto con un consorcio de empresas del País Vasco, el proceso RECUMET⁶² que patenta la empresa



Figura 16.- Briquetas autoreductoras RECUMET.

Oñeder S.A⁶³. El proceso se basa en la fabricación de briquetas autoreductoras de polvo de acería cuya introducción en el horno eléctrico de arco enriquece el polvo hasta valores admisibles por el proceso Waelz. Las investigaciones en esta línea, prosiguieron en el año 2002 con el desarrollo de un Proyecto PROFIT⁶⁴ y finalizaron en el año 2005 con la realización de un proceso de **inertización** mediante aglomeración con cemento y fusión posterior⁶⁵.

A través de Proyectos Nacionales, se han estudiado otros residuos siderúrgicos, entre ellos los polvos y lodo del horno alto⁶⁶ y la cascarilla de laminación⁶⁷. Los resultados no han sido transferibles al sector industrial, pero han generado una importante producción científica.

Finalmente, y aunque no se trata de un proyecto específico de investigación siderúrgica, el CENIM, junto con un consorcio integrado por centros de investigación de más de doce países, participó en la Red Alfa-II⁶⁸, dentro del V Programa Marco de investigación de la UE y cuyo objetivo fue desarrollar una red de educación tecnológica en el área de las distintas vías de producción de acero inoxidable en América Latina, estudiando también la denominada “vía vertical”: desde el mineral al acero inoxidable.

5.- Conclusiones

A lo largo de sus 60 años de vida del CENIM, la investigación siderúrgica ha sido uno de las líneas fundamentales científicas y tecnológicas del Centro desde la creación del Instituto del Hierro y el Acero. Siempre cercana a la industria nacional y posteriormente europea, ha sabido estudiar y aplicar nuevos procesos que han influido en el desarrollo de la industria siderúrgica, implementar soluciones innovadoras que han contribuido a mejorar el sinter, el arrabio y el acero, el funcionamiento de los hornos altos y hornos

⁶² Valorización de residuos procedentes de procesos de descontaminación de gases de fusión de hornos de arco eléctrico y afino. Ministerio de Industria y Energía (Programa ÁTHICA. E326) (1999-2001). Investigador Responsable: F.A.López. Una descripción del proceso y sus resultados, puede verse en el trabajo: Enhancement of electric arc furnace dust by recycling to electric arc furnace. Journal of Environmental Engineering . 2002, 128(12), 1169-1174.

⁶³ Recycling process for electric arc furnace dust and product obtained therefrom . A. Ugarte. EP20030380210 (2003).

⁶⁴ Desarrollo de un proceso de cogasificación para el tratamiento de humos. Ministerio de Ciencia y Tecnología. PROFIT (MAT99-1152-CE) (2000-2002). Investigador Responsable: F.A.López

⁶⁵ Inertización de residuos de acería eléctrica mediante aglomeración con cemento y fusión posterior. CAM 200261046. (2002-2004). Investigador Responsable: F.J.Alguacil.

⁶⁶ The influence of carbon content of blast furnace sludges and coke on the adsorption of lead ions from aqueous solution. A. López-Delgado; C. Pérez and F.A. López. Carbon, 1996, 34(3),423-431.

⁶⁷ Removal of copper ions from aqueous solutions by a steelmaking by-product. F.A. López, M.I. Martín, C. Pérez, A. López-Delgado and F.J. Alguacil . Water Research. 2003, 37, 3883-3890.

⁶⁸ Extension and optimisation of pyrometallurgical process and routes for stainless steel production in Latin America. ALFA-II. Investigadores Responsables del CENIM: A.Cores y F.J.Alguacil (2002-2005).

eléctricos de arco, aplicar procedimientos eco-eficientes y a mejorar el medio ambiente siderúrgico. Es difícil, en la sociedad de la información en la que vivimos, realizar una búsqueda de artículos científicos y de patentes y no encontrar, en este ámbito del conocimiento científico, referencias a las investigaciones y desarrollos llevados a cabo en el CENIM. Estas investigaciones, contribuyeron en gran medida al reconocimiento otorgado por la Unión Europea como **Centro de Excelencia en la Red Europea de la Investigación Siderúrgica elaborada por EUROFER.**

En homenaje a los que están, a los que estuvieron y como documento de lectura para los que vendrán⁶⁹.

6.- Agradecimientos

El autor, desea hacer constar su agradecimiento a Fernando García Carcedo, Miguel Fernández López, Javier Mochón, Alejandro Cores, Alberto Isidro, Aurora López Delgado y Francisco José Alguacil por su ayuda y colaboración en la realización de este trabajo.

⁶⁹ Se recomienda la lectura de la Conferencia: De los procesos hidro y pirometalúrgicos a la investigación medioambiental en el CENIM. Sesiones Científicas de los 60 Años de Investigación Metalúrgica en el CSIC. A.López Delgado. CENIM. Septiembre 2008.