

# F

## LA FUNDICIÓN, EVOLUCIÓN EN LA GLOBALIZACIÓN. X ENCUENTRO INTERNACIONAL SOBRE CUBILOTES MODERNOS

Por Jordi Tartera

10 Años de Encuentros Internacionales sobre Cubilotes Modernos nos dan ya una suficiente perspectiva para recapitar qué han sido y qué han representado para el sector de fundición y planteamos qué deben ser en el futuro. En estos 10 años se han presentado 108 ponencias, más de la mitad relacionadas con el cubilote, tanto su operación, nuevas técnicas, medioambiente, materiales de carga, coque o refractarios, pero también se han tratado con profusión temas como la calidad metalúrgica del hierro fundido, los problemas medioambientales de la fundición y otros temas no directamente relacionados con el cubilote. Los primeros espadas de la fundición nos han honrado con su participación y nos han ilustrado con sus conocimientos y hemos contado con una participación fiel.

Conscientes de que los Encuentros son el único foro anual que reúne a los que nos movemos en el campo de la fundición, Ángel Fernández Villanueva de Industrial Química del Nalón, principal organizador del evento, anunció en la presentación del 10º Encuentro que, por el apoyo recibido y las diferentes sugerencias recogidas, hemos creído oportuno ampliar el alcance de los Encuentros anuales para transmitir los últimos avances, no solo en tecnología sino también en conocimiento de la gestión de la dirección del diseño, del marketing, de los procesos, del medioambiente, la seguridad, la calidad y



Ángel Fernández Villanueva presentando el X Encuentro.

de todos aquellos aspectos de interés para el sector de la fundición.

En las próximas convocatorias tendremos la ocasión de hablar de las novedades en técnicas de fusión, al tiempo que de la actualización en materias primas, sanidad de piezas fundidas, management, automoción, acerías y todas aquellas técnicas, tecnologías o conocimiento que puedan prestar un servicio para la fundición. Se ampliará el interés de los Encuentros a los responsables de compras, a los ingenieros de proyectos, a los comerciales, a los gestores y responsables de las fundiciones. Para ello tendremos como interlocutores a expertos en mercados de materias primas, en energía, construcción, fabricantes de equipos y a consultores que nos avancen en el tiempo y en la forma la evolución de los temas que afectan a nuestro sector.

Este año bajo el lema de "La fundición, evolución en la globalización" nos acogió la siempre bella ciudad de Santander, ya que la visita prevista era el cubilote de Saint Go-

bain Canalización. El Palacio de Festivales de Cantabria fue un adecuado marco para las conferencias que contaron con una extraordinaria labor de traducción reconocida y aplaudida al final del Encuentro.

La clásica ponencia de otro de los organizadores, el Instituto Nacional del Carbón, corrió a cargo de María Antonia Díaz que pasó revista al efecto de la globalización en la **Situación del sector carbón**. La producción mundial de carbón subió un 5% entre 2002 y 2005, básicamente en China que ha pasado de ser un agresivo país exportador –aún recuerdo un informe que me encargaron para justificar medidas antidumping al coque chino– a ser un país importador de hulla coquizable. Con todo, su producción alcanza un tercio de la mundial.



María Antonia Díaz analiza la situación del carbón.

Las subidas de precio fueron imparables a partir de agosto de 2003. El carbón térmico australiano pasó de 25 a 50 dólares en nueve meses y el coquizable experimentó subidas importantes debido a la caída de la exportación de carbón de China y al aumento de importación de carbón coquizable. Por su parte, la India, el tercer mayor productor de carbón, ha incrementado la importación de carbón coquizable por su mayor capacidad de producción de coque. Como consecuencia del aumento de producción de hierro y acero, especialmente en China y en India, se prevé una estabilización de los precios máximos alcanzados en 2004 y un aumento de la demanda de coque siderúrgico con el correspondiente aumento de precio que puede llegar a 400 dólares/t.

María Antonia terminó su presentación hablándonos del Instituto Nacional del Carbón que, fundado en 1947, cuenta con una plantilla de 120 personas dedicadas a la evaluación de recursos naturales y seguimiento de los procesos de utilización del carbón, a los procesos de

combustión para la producción de energía eléctrica, coquización para la obtención de coque siderúrgico y de fundición, uso más eficaz del carbón para reducir el impacto medioambiental y valorización de residuos. Como es lógico, su relación con el sector industrial es una de las tareas importantes del Instituto.

Consciente de la difícil situación que ha originado la globalización, Paul Godinot del CTIF impartió la lección magistral bajo el título de **Evolución de los procesos de fusión en las fundiciones de hierro**, teniendo en cuenta el precio de las materias primas y la normativa medioambiental. Mi buen amigo Paul comenzó recordando la evolución de los medios de fusión en Francia. De 1999 a 2002 el número de fundiciones pasó de 145 a 129 y la fusión en cubilote del 63% al 55%, sustituyéndose cubilotes de viento frío por hornos de inducción. Las razones son las normas medioambientales, cada vez más estrictas, que hacen desaconsejable el cubilote para regímenes de fusión inferiores a 10 t/h. Además, si se trata de fundir diferentes tipos de fundición, especialmente dúctil y aleada, el horno de inducción es más versátil. No obstante, al elegir o renovar un equipo fusor deben tenerse en cuenta otros factores, el principal el coste de las materias primas. El cubilote de viento caliente acepta casi todo tipo de materiales excepto virutas, que deben ser briqueteadas y puede prescindir por completo del lingote.



Paul Godinot durante su lección magistral sobre los procesos de fusión en las fundiciones de pieza de hierro.

Precisamente, es la disponibilidad de materias primas las que pueden marcar las diferencias entre los métodos de fusión. Así, somos tributarios de la producción de acero que consume entre 5 y 7 veces más que la fundición y que ha pasado de 750 MT en 1994 a más de 1.000 en 2004. En países como España que más del 75% del acero se obtiene en horno de arco, hay penuria de chatarra. El problema no es tan grave en Francia en que la acería eléctrica representa el 35%. Con todo, de las 15 MT que se mueven en Francia, el 83% se consume para fabricar acero. Los países exportadores de chatarra son Rusia y Ucrania con más de 8 MT, EEUU y Canadá con cantida-

des similares, el Reino Unido con 7 y Japón, Alemania y Francia. Los importadores son, en orden decreciente, Turquía, China, España, Corea del Sur, el Benelux, Italia e India. Pese al fenomenal aumento de producción en China, no es la principal importadora ya que la acería eléctrica representa menos del 20% de su producción de acero. En cuanto al coque, Europa necesita importar el 15% de coque debido al cierre de algunas coquerías. Como resultado de esta globalización, los precios casi se han doblado en dos años. El kWh. coque en Francia ha subido alrededor del 70% mientras que electricidad y gas apenas se han movido.

Si a esto añadimos las futuras exigencias sobre emisiones a la atmósfera, el panorama no parece alentador para el cubilote. Se ha pasado permitir emitir 260 mg/Nm<sup>3</sup> de polvo en 1972 a 80 en 1998 y se pretende que sean 20 en toda Europa. Habrá tasa de emisión de CO<sub>2</sub> y es posible que se limite la emisión de dioxinas a 0,1 mg/m<sup>3</sup>.

Teniendo en cuenta todas estas consideraciones, Paul comparó la evolución del coste del hierro líquido en cubilote de viento frío, de viento caliente y horno de inducción. Partiendo de las mismas condiciones en cuanto a régimen de fusión, horas de funcionamiento y calidad del hierro se cotejaron los costes de junio de 1997, junio de 2003, noviembre de 2004 y junio de 2005. Si en el 97 el cubilote de viento frío era el más económico, 236,34 euros/t, y la inducción el más caro, 264,96 euros/t. En 2003, lo más barato era la inducción, 252,42 euros/t, algo menos que el cubilote de viento caliente, 253,37 euros/t. Los costes se dispararon en 2004, 464,03 euros/t del viento frío y 411,47 euros/t del viento caliente. En 2005 ha habido moderación siendo más barato el viento caliente con 294,96 euros/t. En definitiva, la evolución de los procesos de fusión dependerá del régimen de fusión, de los tipos de fundición, de las condiciones locales y nacionales de suministro, de la cultura de la empresa y de la aceptación por los vecinos. De todas maneras, el cubilote, pese a los problemas de emisiones, sigue conservando una cierta ventaja, reforzada por su capacidad para fundir materiales de características muy distintas y por actuar como depurador y digestor de residuos.

A continuación, en ausencia de Andrew Turner del WFO, fue Xavier González Aizpiri quien nos presentó, en un excelente inglés que quizá no venía a cuento, **La industria de la fundición en el mundo ¿qué presencia tendrá en el futuro?** La globalización ha incidido notablemente en la industria de fundición con aumentos de producción notables en algunas áreas en detrimento de las más tradicionales, generando una nueva situación de los mercados, agravada por la crisis de materias primas y los aumentos de precio. De todas maneras, la fundición sigue creciendo, hemos pasado de 65 MT en el 2000 a 75 MT en 2003 y se prevén 83MT en 2007, es decir, un aumento del 10% cada cuatrienio. Las fuerzas impulsoras de este



Xavier González Aizpiri sustituyendo a Andrew Turner para hablar de la Industria de la fundición en el mundo.

desarrollo son la industria automovilística que consume el 40-50% de la producción mundial, con unas expectativas de crecimiento del 20% en 2010. En el caso de los aerogeneradores, que requieren unas 14 T de piezas fundidas por MW, se prevé pasar de los 8.000 MW instalados hasta 2004 a 18.000 en 2009 y a 30.000 en 2014. Las canalizaciones y la maquinaria siguen en importancia al automóvil.

El mayor productor es China con 18 MT/año y unas expectativas de crecimiento del 22% hasta 2007, le siguen los Estados Unidos con 12 MT/año, Japón con 6 y Alemania con 4,7. Inglaterra y España con 1.2 MT/año ocupan los puestos 12 y 13. Sin embargo, serán los países del Este de Europa los que crecerán un 30%, mientras que los del Oeste lo harán un 19%.

Si se analizan los porcentajes de aluminio, fundición gris, dúctil y acero moldeado la superioridad de los países industrializados sigue siendo manifiesta. Así, en Estados Unidos el aluminio representa el 16%, la fundición gris el 36%, la dúctil el 32% y el acero el 9%. En Japón estas cifras son 21%, 40%, 32% y 4% respectivamente y en Alemania 14%, 49%, 28% y 4%, mientras que en China el reparto es 7%, 60%, 20% y 10% y en India 8%, 70%, 9% y 11%. Aunque no citó las cifras de España el porcentaje de dúctil es muy próximo al de hierro gris. De estos datos se deduce que a mayor industrialización mayor producción de aluminio y fundición dúctil, por lo que es de esperar un incremento de producción de estos productos en China e India a medida que su desarrollo tecnológico aumente.

Existe una clara tendencia hacia el desarrollo de productos de alto valor añadido en la medida que la economía se dirige hacia la urbanización, motorización y cultura del ocio, lo cual tendrá un efecto profundo y continuado sobre la demanda de piezas fundidas y la geografía de la producción. Con respecto a la localización geográfica la fundición está en una encrucijada y debe enfrentarse a muchos desafíos. Los retos de una competencia local o global, el crecimiento o la contracción del mercado, las piezas de alto valor añadido o de batalla son, a menudo,

contradictorios. Lo importante será la reducción de costes, el aumento de resistencia de las piezas, la reducción de peso, el cumplimiento estricto de las normas medioambientales y el recorte de plazos de entrega.

Tas la pausa café, José María Arteaga de Fytasa comentó la **Situación actual y perspectivas de la fundición de hierro: análisis D.A.F.O.**, tema interesante por la revisión de las Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades de las fundiciones. Los problemas generales de la industria europea debido a la globalización de la economía y a la irrupción de países emergentes, han puesto de manifiesto cuáles son los puntos débiles de la fundición y qué debemos hacer para contrarrestarlos y sacar provecho de nuestros puntos fuertes.



José Mª Arteaga analiza la situación actual y perspectivas de la fundición de hierro.

Entre las debilidades citó la baja rentabilidad del negocio, la escasa dimensión de las fundiciones, el disparatado coste de las materias primas, la debilidad frente a los clientes, especialmente los del ramo del automóvil, las exigencias desmesuradas de calidad, la rigidez de las condiciones y costes laborales, la competencia entre fundiciones o el marketing inadecuado.

Muchas de estas debilidades son comunes a la industria en general. Junto a estas debilidades y, en parte, como consecuencia de las mismas existen una serie de amenazas que pueden complicar el futuro.

El exceso de capacidad de las plantas de fabricación de automóviles, con 16 nuevas plantas que funcionarán en 2010 y que muchas se instalarán lejos de la Europa Occidental, la mayor capacidad de producción libre en las fundiciones de la Europa del Este, cuyos costes laborales son muy inferiores y cuya mano de obra suele ser cualificada o tiene habilidades técnicas capaces de amplios desarrollos.

También son amenazas la alta cotización del euro frente al dólar y la creciente presencia en nuestros mercados domésticos de productos de fundición provenientes de Asia y de los países emergentes.

Afortunadamente, contamos con una serie de fortalezas para contrarrestar las debilidades y amenazas. Así, el alto nivel tecnológico y de especialización productiva, la alta calidad en la producción, la existencia de un entorno de proveedores de alto nivel técnico y de centros de apoyo metalúrgico y tecnológico, la colaboración con los clientes, con un buen grado de atención y servicio al mismo, un estilo de gestión agresivo y eficaz, la capacidad financiera para inversiones complementarias tanto industriales como en desarrollo, el que los productos de fundición sean cada vez más productos High-Tech y un mercado en crecimiento, son las fortalezas. En este apartado también citó el alto porcentaje de innovación, desarrollo e investigación y la alta productividad que yo pongo en duda.

La globalización puede amenazar pero también traer oportunidades. Entre ellas cabe citar el diferencial tecnológico con fundiciones de Europa del Este, muchas de ellas con baja productividad y con instalaciones industriales obsoletas que necesitarán un tiempo de adaptación, un mercado potencial amplio y creciente en estos países, el cierre de fundiciones en Europa Occidental que refuerza, temporalmente, la posición de las restantes, la oferta de productos de mayor complejidad, los sistemas de gestión por procesos de mejora continua y de innovación y la gestión del conocimiento.

En definitiva, si somos capaces de aprovechar nuestras ventajas y oportunidades podremos compensar las amenazas y paliar nuestras debilidades. No deja de ser curioso que el diagnóstico de Arteaga coincida con el que hizo Ignacio Sáenz de Gorbea de FEAF con ocasión del X aniversario de AFUMSE en junio de 2004 en Sevilla.

Begoña Rodríguez Romero de Inasmet-Tecnalia me engañó como un chino, ya que antes de su conferencia en la mesa de moderadores parecía nerviosa y abrumada por cómo iba a salir su charla. La realidad es que bordó el tema **¿Se puede gestionar la innovación?, ¿qué aporta a mi cuenta de explotación?** Partió de un dato inque-



Begoña Rodríguez Romero explica cómo se puede gestionar la innovación.

tante. España ocupa el lugar 38º en la competitividad de las empresas, habiendo perdido 14 puestos desde 2001. Unos gastos de Investigación y desarrollos del 1,1% del PIB frente al 2% de media europea, con previsión del 3% en 2010, explican este retroceso. Aunque todos estamos convencidos que la innovación es absolutamente necesaria, una innovación insuficiente es una de las principales razones que explica que los resultados de crecimiento sean decepcionantes.

De los tres tipos de economía, la basada en costes de producción bajos, la basada en las inversiones o la basada en la innovación, la última es la única que vale para Europa ya que innovar es convertir ideas en productos, procesos o servicios nuevos o mejorados que el mercado valora. La necesidad de innovar viene justificada por los avances tecnológicos, los cambios en el sector, la intensificación de la competencia y los cambios en los clientes. Los caminos pueden ser la eficiencia operativa: asimilación, consecución y expansión de la mejor práctica, o un posicionamiento estratégico con la creación de una posición competitiva única y sostenible.

La innovación requiere formas distintas de gestionar los recursos de las organizaciones y sus procesos. La estrategia de la innovación comienza por la generación de ideas. Para ello deben crearse grupos multidisciplinares aplicando técnicas de creatividad en los que intervengan tanto personal de producción como de I+D, marketing o financieros además de clientes y proveedores. Es necesario obtener información relevante del entorno para innovar con el objetivo de estar alerta y detectar oportunidades de negocio. Las ideas deben evaluarse con criterios objetivos para que sólo las mejores se conviertan en proyectos.

Hay que implantar la gestión de proyectos para optimizar las actividades de desarrollo o mejora de productos y procesos a fin de reducir los tiempos de ejecución, responder de modo más eficiente a las necesidades del cliente y mejorar la eficiencia de los recursos. La innovación y la propiedad industrial que se deriva deben protegerse mediante prácticas de confidencialidad introduciendo cláusulas en contratos con clientes, suministradores y empleados. Como las personas son el principal activo de la innovación, es preciso fomentar la cultura de la participación y establecer una política de reconocimiento a la innovación.

En este campo, Inasmet puede ser de gran ayuda en la gestión del proceso participando en el grupo de asesores expertos en gestión, tecnología y conocimiento del sector ya que aporta un valor que trasciende el dominio de una mera herramienta de gestión gracias a su experiencia en la ejecución de sus propios proyectos de I+D+i. Los beneficios a obtener son un aumento de la eficiencia de la actividad innovadora de la empresa, la identificación de los proyectos innovadores de acuerdo con la es-



Julián Izaga hablando de la evolución de la fundición en un mercado globalizado.

trategia de la empresa, una mayor motivación del personal, la reducción del tiempo de lanzamiento y la optimización de la explotación de los resultados ligados a la innovación.

El colofón de la sesión corrió a cargo de Julián Izaga de Azterlan quien, de acuerdo con el lema del Encuentro, nos habló de **La evolución de la fundición en un mercado globalizado**. Cuando se trabaja en el mismo producto, es necesario hacer más y mejor que la competencia o hacer lo que no hace nadie. Por ello la innovación es una herramienta importante de mejora competitiva. Partiendo del axioma de Einstein, "si buscas resultados distintos, no hagas siempre lo mismo", Julián se centró en los criterios de selección de la carga metálica. Aparte de los retornos propios, que deben ser clasificados si se elaboran hierros de distintas características, los criterios de selección deben ser a la vez económicos y metalúrgicos. La carga metálica influye en las propiedades mecánicas, en la maquinabilidad, en la forma del grafito, en la tenencia a la contracción, en las segregaciones y en otros defectos. Entre la chatarra de acero, la de carrocería puede causar problemas. Meter en el mismo saco los aceros para embutición de carrocerías, es peligroso ya que contienen distintos porcentajes de Al, Nb, Ti, P, Cr, además de Zn, Sn y Pb de los recubrimientos.

La presencia de elementos deletéreos, al modificar la forma y cantidad de grafito, afecta la maquinabilidad, característica tecnológica de difícil evaluación pero que depende en gran parte de la cantidad de grafito y su morfología. Otro fenómeno tributario de la composición de la carga metálica es la contracción de solidificación. En estado líquido la contracción depende directamente de la temperatura de sobrecalentamiento, del carbono equivalente y de los elementos carburígenos. Durante la solidificación la contracción de la austenita debe ser contrarrestada por la expansión del grafito, con el riesgo de formación de microrrechupes debido a la dificultad de alimentar la zona pastosa.

La presencia de oligoelementos provoca irregularidades metalúrgicas, en especial la segregación de carburos intercelulares que disminuyen la maquinabilidad. Algunos defectos superficiales como los pinholes pueden ser atribuidos directamente a la presencia de algunos elementos. El determinar las causas y los efectos de muchas de estas irregularidades requiere, además de conocimientos sobre fundición, la utilización de herramientas analíticas que normalmente no se encuentran a disposición de los técnicos de fundición, como la microscopía electrónica de barrido o el análisis puntual por dispersión de energía. En definitiva, la conferencia de Julián fue una revisión de principios metalúrgicos que, por conocidos, no deben dejar de tenerse en cuenta.

Como es tradicional, el cóctel de recepción con que nos obsequia Industrial Química del Nalón permitió las charlas distendidas y el encuentro con los viejos amigos. Esta vez, contábamos entre los asistentes con Rafael Pérez Tezanos de Nissan quien, como diputado del parlamento Cantabro, convenció a Francisco Javier López Marcano, Consejero de Cultura, Turismo y Deportes del gobierno de Cantabria para darnos la bienvenida a Santander. Tras desearnos una labor fructífera en el Encuentro nos invitó a que el año próximo prolonguemos nuestra estancia para conocer las maravillas del país. Prometo hacerlo así. A la magnificencia de la recepción contribuyó, como es costumbre, un conjunto musical que amenizó la velada.



Francisco Javier López Marcano, Consejero de Cultura, Turismo y Deportes del gobierno de Cantabria, junto con Rafael Pérez Tezanos dando la bienvenida a Santander durante el cóctel-recepción.

El viernes abrió fuego Antonio Bardají con la **Presentación del cubilote de Saint-Gobain Canalización**. Antonio, un ingeniero de primera magnitud con quien he tenido la suerte de compartir penas y fatigas en su cubilote, nos hizo una detallada descripción del equipo. Un régimen de fusión de 30 t/h es una cifra muy respetable. Como las canalizaciones son de fundición dúctil, el hierro a la salida del cubilote pasa a las cucharas de desulfuración y de allí a un horno eléctrico a canal que sirve de almacén intermedio antes del tratamiento con Mg y la colada de los tubos. Tres equipos de 7 personas manejan con pericia toda la instalación, incluyendo el tratamiento



Antonio Bardají describe el cubilote de Saint-Gobain Canalización.

con magnesio. Los conozco a casi todos y puedo asegurar que son excelentes profesionales.

En un cubilote de larga campaña, 8-9 semanas de duración, la refrigeración es crítica, los 45 m<sup>3</sup>/h de las toberas y los 135 m<sup>3</sup>/h de la coraza deben enfriarse a menos de 35 °C. Los gases recogidos debajo del tragante pasan a la cámara de combustión de donde salen a 850 °C y de allí al intercambiador de calor de tres etapas que suministra viento caliente a 575 °C y agua caliente. Previa a la depuración, los gases pasan por la torre de refrigeración donde un intercambiador aire-gas reduce su temperatura a menos de 100 °C gracias a dos ventiladores, que son activados según sea la temperatura de entrada a los filtros. La limpieza de filtros se consigue mediante 80 electroválvulas que inyectan aire comprimido a contracorriente y se activan por la pérdida de carga en el filtro. Con este sistema se ha reducido la rotura de mangas, aumentado la capacidad de filtración al disminuir la temperatura de los gases y eliminado el problema de colmatación, y se han sustituido las mangas de Nomex por poliéster, más baratas y de mayor duración.

La carga metálica, de 2.400 Kg., la componen lingote, dos tipos de chatarra de acero, paquetes y briquetas. El porcentaje de coque es del 9% y se inyecta oxígeno en continuo. Sin ambages, Antonio nos habló de los problemas que ha sufrido. Unos exigían mantenimiento, como el desgaste de los intercambiadores aire-gas y aceite-gas que llegaban a perforarse. Una vigilancia del desgaste y la protección de los tubos permiten alargar la vida de los mismos. Los de carácter operacional han sido la formación de "lobos" dentro del cubilote que aparecen al final de campaña cuando la zona de fusión queda sin refracta-

rio, produciéndose cámaras dentro del cubilote y puentes que hay que eliminar para reconstruir el refractario. Las soluciones son aumentar el porcentaje de coque, la temperatura del viento y bajar la refrigeración de la coraza.

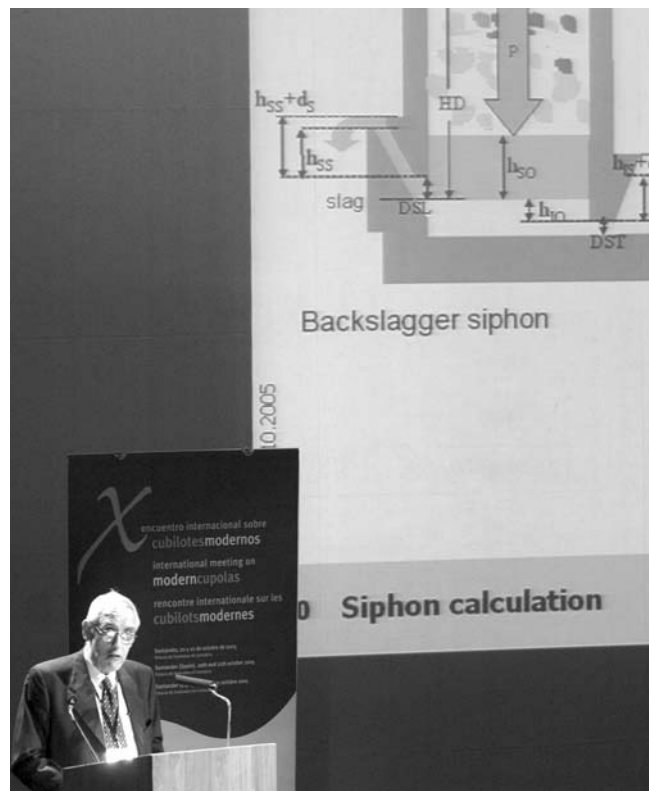
Otros problemas han sido los atascos en el sifón principal, especialmente al inicio de campaña, con riesgo de salida de hierro por el sifón de escoria. La solución no es fácil, aparte de aumentar la caliza debe vaciarse el crisol y extraer la escoria a través del sifón principal. La escoria siempre es un problema. Más de 11.000 t se produjeron en 2004, unos 74 kg/t de hierro líquido. La valorización de esta escoria es la única solución. Por el contrario, con ciertas combinaciones de producción, a veces falta hierro. Parar una máquina o utilizar las cucharas de desulfuración como almacén de hierro son las únicas soluciones. Las excelentes explicaciones de Antonio Bardají nos permitieron apreciar mejor la visita de la tarde.

El cierre del cubilote de Roca Calefacción me dio pie para hablar de **Mi cubilote (1966-2004)**. Aunque hace ya 13 años que lo dejé oficialmente, que no oficiosamente, la noticia de su desaparición me hizo evocar las penas y alegrías que me había dado durante 26 años y consideré que sería un buen homenaje al cubilote y a sus hombres contar algunas de las vicisitudes y anécdotas vividas.

La puesta en marcha fue un acontecimiento desgraciado: ninguno de los dos cubilotes sacó hierro el primer día. ¡Nadie se había preocupado de hacer una buena sinterización al revestimiento! Cuando el gran jefe, tras la preceptiva bronca, añadió que el primer día debíamos haber cargado "chocolate" para que fundiera fácilmente, le juré que si nunca volvía a poner en marcha un cubilote el primer hierro saldría fetén. Seis años más tarde pude cumplirlo al arrancar los cubilotes de Alcalá de Henares.

De las muchas vicisitudes pasadas destacué las malas experiencias con los paquetes de automóvil que llevaban –salvo el conductor– toda la porquería posible y la utilización de motores americanos llenos de grasa, que nos obligaban a cambiar la carga según soplaban el viento para no intoxicar a la fábrica vecina. Algunas averías fueron célebres. Las toberas convertidas en surtidores de escoria, cuya causa todavía desconocemos, o las roturas del cable del cestón de carga eran espectaculares. Sin embargo, la avería más sonada fue la formación de una masa de hierro frío de 1,2 m de diámetro frente a las toberas. Tuvimos que cortarla por aluminotermia pero como nadie se atrevía a usarla me tocó a mí, el menos diestro, comenzar la operación. Jocosamente comenté que desde entonces no se me ha resistido ninguna caja fuerte.

Como todo cubilote que se precie conseguimos sacarle casi el doble de su régimen de fusión inicial. Para ello, nos basamos en el diagrama de Jungbluth, que supimos adaptar al cubilote, se cambió la coraza de cilíndrica a cónica y se modificó de la zona de precalentamiento. El oxígeno



Jordi Tartera presentando la conferencia de Michael Lempeler.

sólo se utilizaba en la puesta en marcha y tras una avería debido a que el precio del m<sup>3</sup> era superior al del kg de coque. Sin embargo, lo más espectacular fue la introducción de las dos filas de toberas. Aunque, como marca la ley de Murphy, el coste de instalación fue el triple del previsto, a los 11 meses ya se había amortizado. Además al disminuir el caudal de viento en las toberas principales se recuperó la temperatura del viento caliente.

Caso aparte fue la invención del cubilote de media campaña. Como la instalación del sistema de refrigeración necesario para la larga campaña no salía a cuenta y se disponía de dos cubilotes, se buscó la manera de que el cubilote durara una semana. Tras varios fracasos se vio que a medida que se incrementaba la velocidad del viento la duración del revestimiento aumentaba y se llegó a 75 m/s, velocidad considerada peligrosa en los libros clásicos, permitiendo trabajar con el mismo cubilote una semana entera a más de dos turnos.

También llegó el momento de informatizar el control del cubilote. Como pedíamos a los informáticos la Biblia en verso no tuvimos más remedio que replantearnos muchas premisas del cubilote. Para mí, la principal ventaja de la informatización fue conocer mejor lo que ocurre desde que se introduce la carga hasta que sale el hierro líquido. Esto sirvió para conseguir elaboración dúctil directamente del cubilote. Sorprendentemente el hierro nodular obtenido en el cubilote fue de mejor calidad que en cualquier otro aparato fusor, tanto que nos atrevimos a presentar los resultados en un Encuentro y en otros foros internacionales.

Como todo en la vida, el cubilote dejó de funcionar el 6 de noviembre de 2004. Mi charla, llena de nostalgia, acabó con un ¡Mi cubilote ha muerto, viva el cubilote! y anunciando que posiblemente era la última vez que hablaba de cubilotes. Como se verá a continuación, no fue así.

La siguiente presentación correspondía a Michael Lemperle de Küttner, uno de los clásicos de nuestros Encuentros. Como estaba enfermo, con prohibición expresa de su médico para desplazarse a Santander, los organizadores consideramos que el tema era demasiado importante para no comentarlo, por lo que me atreví a presentar su ponencia **La escoria en el proceso de fusión en cubilote**. La escoria proviene de los óxidos que no se han reducido en el cubilote. Como su densidad es menor que la del hierro y no es miscible con él, puede separarse fácilmente del metal. Los componentes básicos son CaO, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> y los minoritarios FeO, MnO, TiO<sub>2</sub> y S. Las escorias pueden ser ácidas o básicas y se define un índice de basicidad: CaO+MgO/SiO<sub>2</sub> para las ácidas y [CaO + MgO]/[SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>] para las básicas.

Como los óxidos del cubilote suelen ser ácidos es necesario añadir fundentes, la caliza CaCO<sub>3</sub> o la dolomía (CaO-MgO)CO<sub>3</sub>. Su efecto consiste en romper los enlaces de alta viscosidad -Si-O-Si-, dando uniones O-Si + Ca<sub>2</sub>+ de baja viscosidad. A veces se utiliza espato flúor CaF<sub>2</sub>, sosa Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> o CaC<sub>2</sub> pero su uso se ve limitado por el precio o por el desgaste que produce en el refractario. La viscosidad de la escoria disminuye al aumentar el CaO y se incrementa con SiO<sub>2</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. La presencia de CaO permite desulfurar el hierro por la reacción  $S_2 + CaO \rightarrow CaS + O_2$ . En el diagrama ternario CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> puede determinarse la composición de la escoria más adecuada para que fluya bien y desulfure. Una escoria ácida contiene 40-50% de SiO<sub>2</sub>, 10-20% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 25-38% de CaO, 0-10% de MgO 1-8% de FeO, 1-5% de MnO y 0,05-0,4% de S, mientras que una escoria básica contiene 21-37% de SiO<sub>2</sub>, 5-22% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 25-54% de CaO, 9-32% de MgO 0,3-3,9% de FeO, 0,3-2% de MnO y 0,3-2,2% de S. La viscosidad de una escoria es mínima para un 40-50% de CaO, es decir para una escoria neutra o básica, sólo posible en un cubilote de viento caliente.

La cantidad de escoria generada depende del revestimiento del cubilote, de las cenizas del coque, de la limpieza de la carga metálica y de su estado de oxidación y de las pérdidas al fuego de Si y Mn. Según el origen de las mezclas de carbones, el coque tendrá distintos contenidos de cenizas y la composición de las mismas y su temperatura de reblandecimiento variará. El tamaño del cubilote también influye, cuanto mayor es, menor el desgaste y, por tanto, la generación de escoria. Un revestimiento de cuarcita dará mucha sílice a la escoria que deberá ser neutralizada. Lo mismo puede decirse de los retornos con arena adherida o las chatarras muy oxidadas. En total la cantidad de escoria generada representa

entre el 4,5 y el 5% del metal fundido. Partiendo de la composición de refractario, coque, y demás componentes es posible predecir con gran exactitud la composición de la escoria y adecuar el tipo y cantidad de fundente más adecuado.

Un método rápido de calibrar una escoria es por su color. Una escoria sólida, vítrea y de color verde indica una buena fusión. Si amarillea hay demasiado Mn, se forma lana de vidrio y se funde muy caliente, pero hay riesgos de oxidación. Un color marrón oscuro tendiendo a negro indica un exceso de FeO, mientras que si es espumoso y negruzco hay oxidación. También puede deducirse la desulfuración por el color. Así una escoria grisácea y fluida desulfurará bien, si es blancuzca y pulverulenta será desulfurante pero poco fluida, mientras que si es negra y vítrea no desulfurará.

La separación de la escoria y el metal líquido es posible por la diferencia de densidad entre el metal, 6,9 t/m<sup>3</sup>, y la escoria, 2,5 t/m<sup>3</sup>. En los cubilotes de larga campaña la salida de escoria y metal es a través de sifones distintos. Para no cometer errores, la presentación Michael acabó con el cálculo del sifón.

El cierre del cubilote de Gavà propició que Joan Francesc Pellicer, de Roca Calefacción, nos hablara de las **Experiencias del cambio de un horno de cubilote a un horno eléctrico**. Con un toque de humor nos dijo que no se atrevió a titular su charla como "Las tribulaciones de un cubilote metido a hornero eléctrico" que hubiera definido mejor las peripecias del cambio de equipo fusor. La reestructuración de la gama de productos de calefacción implicó la reducción de las necesidades de fusión a 4-5 t/h, para lo cual los cubilotes existentes eran excesivos. Esto, unido a unas exigencias medioambientales desmedidas, inclinó la balanza hacia la fusión eléctrica.



Joan Francesc Pellicer narra sus experiencias al pasar del cubilote al horno eléctrico.

El primer problema fue definir la capacidad de fusión real, función no sólo del tamaño y potencia eléctrica sino también del tipo de carga o del modo de desescoriado, temas sobre los que los fabricantes de hornos evitan definirse y que son completamente desconocidos

para un neófito. El sistema de carga y los componentes de la misma no presentaron dificultad, pero se temía por la adaptación del personal al nuevo tipo de fusión dada la cultura cubilotera de la empresa. Afortunadamente, se programó un curso de manejo de hornos eléctricos cuyos resultados fueron totalmente positivos.

La ejecución del proyecto, aparte de la obligada obra civil de los hornos y periféricos, exigió el cubrimiento del patio de carga. Se utilizó como soporte la estructura del puente grúa existente con la posterior necesidad de cubrir los laterales, dada la gran altura de la misma. La acometida eléctrica no fue traumática ya que la empresa poseía una línea de alta tensión hasta la estación transformadora de la compañía eléctrica. Lo mismo sucedió con el sistema de filtraje ya que se disponía de un filtro de capacidad suficiente. Con todo, el coste de estos aparatos y su montaje supera el de los hornos y sistema de carga.

Una vez puesta en marcha la instalación se vio la necesidad de incorporar una trituradora de bebederos. Para obtener buenos rendimientos y evitar la formación de puentes la carga debe ser lo más compacta posible. Este fue un gasto suplementario. Sin embargo, las mayores dificultades surgieron con la escoria. En un cubilote, la evacuación de escoria es automática y requiere poca atención y ningún esfuerzo. En el horno de inducción, por el contrario, debe ser extraída y es un trabajo que consume tiempo y puede resultar penoso. En las primeras fusiones, la escoria fue el problema principal, tanto que fue necesario modificar la carga, reduciendo el lingote y aumentando el acero. Se consiguió reducir la cantidad generada pero no el aspecto, seco y pulverulento que dificulta su recogida.

Tanto o más que en el cubilote, en el horno eléctrico el refractario es crítico. Aunque el mayor riesgo es el con-



Manuel González Cimas hace entrega de una reproducción de la catedral de Oviedo en reconocimiento a su contribución a los Encuentros.



Fernando Mota recibe de José M<sup>º</sup> Corbí el mismo obsequio como agradecimiento a su constante participación encabezando la delegación portuguesa.

tacto del metal con la bobina debido a la perforación del refractario, es inusual dadas las seguridades existentes. Sin embargo, la unión entre el crisol y la piquera es un punto débil y crítico. La penetración de hierro por este punto supuso un paro de varios días. El mantenimiento del refractario requiere una estricta vigilancia y no soporta la comparación con un cubilote de larga campaña.

En cuanto al metal, se temía que la menor generación de gérmenes de grafitización pudiera causar problemas, máxime cuando las piezas fabricadas son de pared delgada. En consecuencia, la vigilancia y control de la inoculación fue máxima y el resultado la total ausencia de problemas de tipo metalúrgico en la fundición de grafito laminar. Incluso se constató un aumento de resistencia. En fundición dúctil, tal como se había presentado en el 6º Encuentro, se confirmó la superioridad del hierro nodular producido en cubilote. Como conclusión, Joan Francesc consideró que no es posible establecer de un modo general la superioridad o inferioridad del cubilote frente al horno eléctrico de inducción. En cualquier caso, el cubilote conserva la ventaja de poder procesar una gran variedad de materiales de carga.

El que Pellicer haya dejado de ser cubilotero no fue óbice para que, justo antes de la pausa-café, Manuel González Cimas, Director General de Industrial Química del Nalón, entregara a Joan Francesc una reproducción de la catedral de Oviedo como reconocimiento a su contribución a los Encuentros. Para mí fue un motivo de alegría y un honor hacer su presentación, no en vano he trabajado 20 años con él y ha sido una de las personas de quien más he aprendido y compartido conocimientos en mi vida profesional. Por su parte, José M<sup>º</sup> Corbí, Director Comercial de Nalón ofreció el mismo obsequio a Fernando Mota de Importação e Comércio de Carvoes de Portugal. La continuada participación en nuestros Encuentros encabezando la siempre nutrida delegación portuguesa y su cooperación al hermanamiento entre los fundidores ibéricos merecía este reconocimiento.

La globalización ha impuesto cambios notables en los mercados que, a veces, son difíciles de prever. Por ello, las **Tendencias en el mercado global de la chatarra** fue el tema elegido por Ronnie Cecil de CRU Group Consultants cuyos estudio de mercado son de gran interés. Un detalle del buen hacer del CRU, su presentación contenía datos más recientes que los del texto escrito. Ronnie comenzó definiendo los tres tipos de chatarras generadas: las siderúrgicas, propias de la industria del acero; los recortes de fabricación, caso de las carrocerías de automóvil; y las chatarras viejas procedentes de demolición. Estas, junto con el lingote procedente de horno alto o los pellets de reducción directa, constituyen todo el material férreo que se encuentra en el mercado.



Ronnie Cecil analiza las tendencias en el mercado global de la chatarra.

CRU publica un índice de precios de los materiales férreos que han pasado de 74 en 2002 a 225 en 2004, creciendo más que el mismo acero, que se quedó en 160. Las causas son un aumento de la demanda que, de ser inferior a 400 MT en 1999, pasó a más de 500 MT en 2004. Como la producción de hierro de primera fusión fue la misma, el aumento de demanda generó tensiones en el mercado de chatarras, con unas transacciones internacionales que superaron los 100 MT. China experimentó un crecimiento del consumo desde los 35 MT en 1999 hasta más de 70 MT en 2004, a pesar de que sus importaciones no crecieron excesivamente, lo que significa una mayor recuperación de sus chatarras que pasaron del 5% en 2000 al 45% en 2004, sin llegar al 80% de Japón o el 60% de USA. En definitiva, el brutal incremento del precio de las chatarras fue debido al aumento del precio del acero, a la gran expansión de la demanda, a la globalización del comercio, a la disminución de la chatarra puesta en el mercado, consecuencia de un mejor reciclaje y al escaso crecimiento de los pellets de reducción directa.

Las perspectivas para 2006 son mejores gracias a una reducción y estabilización de los precios. Por una parte, la disminución de las importaciones y el aumento de producción de la siderurgia china y por otra el exceso de

stocks hacen pensar en una disminución del precio del acero. También el crecimiento de la capacidad de producción de acero, 35 MT en 2005 y 50 MT en 2006, la moderación de la demanda en 2006 y la mayor oferta de chatarra por parte de USA y Japón, permiten prever una disminución del precio de la chatarra de los 300 dólares/t del 2004 a unos 200 dólares/t en 2006, todavía muy lejos de los 110 dólares/t del 2002. Los pellets, que durante muchos años se creyó serían la alternativa barata, contribuirán con un 8% de crecimiento anual a rebajar los precios. En definitiva, se espera una moderación de los precios de los materiales férreos para 2006. ¡Ojalá sea cierto!

Abundando en el tema, Diego Slendones de Copa/Esfemetal – Ferroatlántica habló de la **Influencia de la globalización en la producción de materias primas para la fundición**. Según la Real Academia Española, la globalización es la tendencia de los mercados y de las empresas a extenderse alcanzando una dimensión mundial que sobrepasa las fronteras nacionales. La necesidad de globalización emana de la demanda por uno o varios sectores industriales en aras de una mayor efectividad, necesidad del cliente, y de la generación de subproductos o coproducidos derivados de la fabricación, demanda del productor, a parte de razones políticas como el protocolo de Kyoto que nos obligará a reducir el 2012 un 5% las emisiones respecto a las de 1990.



Diego Slendones examina la influencia de la globalización en la producción de materias primas.

Puso como ejemplos de las consecuencias de la globalización la sustitución de la chapa de automóvil y las ferroaleaciones. Siendo el automóvil uno de los principales contaminantes, la reducción de peso y la consecuente reducción de consumo de petróleo significan una disminución de emisiones contaminantes. De aquí, la gran demanda de aluminio en sustitución de la chapa de acero. El Audi A2, con carrocería de aluminio permitió una reducción de peso del 43% pero el incremento de la demanda de aluminio ha modificado sensiblemente los precios, llegando casi a hacer inviable este tipo de carrocerías. La reacción del



Entre los asistentes, Casimiro da Costa interviniendo en las discusiones.



John Hughes indica cómo usar el análisis térmico para optimizar costes de producción.

mercado ha sido la creación de grandes grupos que permitan aumentar las producciones y optimizar los costes. Alcan lanzó una OPA sobre Pechiney y se convirtió en el segundo productor mundial con 2,8 MT, tras Alcoa con 3,5 MT. La reacción de los productores de chapa de acero no se hizo esperar. El proyecto ULSAB de Arcelor aligera un 25% la carrocería gracias al empleo de microaleantes como V, Ti y Nb para afinar el tamaño de grano y endurecer por precipitación de nitruros y carburos.

En el campo de las ferroaleaciones la competitividad ha impulsado la globalización. La presión de países con bajo costo de mano de obra ha hecho variar el mapa de productores. Unos han desaparecido, caso de Globe o American Alloys, mientras que otros, como Elkem, SKW y Ferroatlántica, se han reforzado. En la fabricación de ferroaleaciones se genera una fracción de finos que deben aprovecharse. El camino abierto por los inoculantes encapsulados en tubo de acero ya se está utilizando en las acerías y ha empezado a extenderse a las fundiciones de hierro. Otro subproducto es el llamado "silica fume" que se ha convertido en una importante aditivo para el cemento al conferirle unas mejores propiedades mecánicas. En 1998 se creó SFA para el desarrollo y promoción de la utilización del silica fume. Otro caso de reutilización de subproductos es el lingote para fundición dúctil de Sorelmetal. En la obtención de  $TiO_2$  se produce gran cantidad de hierro, que primero se empleó para fabricar lingote hematites y que gracias a la labor divulgadora de Stephen Karsay es un material de referencia para producir fundición dúctil. Una necesidad del productor ha dado lugar a la producción de casi 1 MT de lingote.

La importancia que tienen los controles inmediatos en la calidad del hierro fundido quedó reflejada en la conferencia de John Hughes de A&S Metallurgical Resources-Internacional Alonso, **Análisis térmico y materias primas: cómo usarlo para optimizar los costes de producción.** John tuvo el mérito de explicarnos de modo comprensible y muy claro unas nociones que, aunque

son bien conocidas, no siempre son bien aplicadas para vencer las dificultades que comporta la fusión de cargas heterogéneas, especialmente cuando contienen chatarras de aceros microaleados. Para los que llevamos años convencidos de la bondad del análisis térmico esta conferencia fue una gozada.

El análisis espectrográfico es insuficiente para dilucidar las condiciones metalúrgicas del hierro líquido ya que no nos indica cómo están combinados los elementos. Así, el Mg, imprescindible para obtener fundición dúctil, puede estar como elemento libre, o como MgO, MgS o  $MgSiO_4$ . Por el contrario, el análisis térmico nos permite interpretar el estado metalúrgico del metal. Las curvas de enfriamiento y sus derivadas nos sirven para prever y corregir defectos tales como un bajo número de células eutécticas, la presencia de grafito D, carburos o temple, rechupes y microrrechupes.

Los puntos importantes de la curva de enfriamiento son  $TE_{low}$ , temperatura del eutéctico de grafito y  $TE_{white}$ , temperatura del eutéctico blanco. La diferencia entre ambas temperaturas nos indica el grado de nucleación. Para piezas de paredes gruesas la diferencia debe ser de 20 °C mientras que para piezas delgadas ha de alcanzar los 30 °C. La recalescencia R es el incremento de temperatura debido a la solidificación. Su valor debe estar comprendido entre 2 y 6 °C. Una recalescencia mayor indica que ha habido una precipitación de grafito al principio de la solidificación, que puede dar lugar a un hinchamiento del molde y a la formación de microrrechupes, en tanto que una R baja está asociada a un bajo potencial de grafitización.

La temperatura del solidus TS expresa la pureza de la carga. Si TS es menor que  $TE_{white}$  hay un exceso de impurezas en el baño que pueden dar lugar a puntos duros durante el mecanizado y a la formación de temple inverso. Las derivadas de la curva de enfriamiento permiten determinar el factor grafito 1, GRF1, que está relacionado con la precipitación de grafito al final de la

solidificación. Esta precipitación de grafito es vital para evitar la presencia de microrrechupes. Por su parte, el factor grafito 2, GRF2 es el ángulo observado en la curva derivada. Un ángulo agudo y profundo indica un gran número de células eutécticas.

La inoculación aumenta TE<sub>low</sub>, TS y GRF1, hace más agudo el ángulo de GRF2 y reduce R. Como ejemplo de aplicación explicó la comparación entre tres inoculantes a base de Sr, Ba-Ca y Zr-Mn. Aunque no estoy de acuerdo con sus bases sobre la inoculación, John considera que los gérmenes son óxidos, cuando yo pertenezco a la escuela que defiende que son los sulfuros de elementos alcalino-térreos, el estudio sobre los inoculantes es definitivo. El inoculante de Sr es el que proporciona una mayor diferencia entre TE<sub>low</sub> y TE<sub>white</sub>, disminuyendo el temple. El Ba-Ca da buenos resultados en cuanto a nucleación y número de células eutécticas y el Zr-Mn produce el mayor afino de grano con los menores valores de GRF2 y DTS. También el análisis térmico permite seleccionar las materias primas más adecuadas, lingote, recarburantes, preacondicionadores, inoculantes y nodulizantes.

La última conferencia corrió a cargo de Ernesto Sagaseta de Saint-Gobain Canalización con la **Presentación de la planta de Saint-Gobain Canalización** que íbamos a visitar por la tarde. El grupo Saint-Gobain fue creado en 1675 bajo el reinado de Luis XIV y agrupa a más de 1.200 sociedades en 49 países, con 180.000 empleados, una cifra de negocio de 32.000 millones de euros, una inversión en I+D de 345 millones de euros y 300 patentes anuales que lo hacen líder del sector. En España cuenta con 8.000 empleados de los cuales 272 forman la plantilla de Saint Gobain Canalización con una cifra de negocio de 165 millones de euros.



Ernesto Sagaseta presenta la planta de Saint-Gobain Canalización.

La historia de la planta de Santander arranca de 1910 cuando Nueva Montaña Quijano comienza a producir tubos de fundición gris en moldes verticales. En 1945 se pasa a la centrifugación y a partir de 1975 todos los tubos son de fundición dúctil. Las instalaciones se renuevan en 1991 con una producción de 66.000 t hasta alcanzar las 170.000 en la actualidad.

El proceso de fabricación comienza en el cubilote, descrito ya por Antonio Bardají, desde donde el hierro pasa a la desulfuración con CaC<sub>2</sub>, a un horno de canal y al tratamiento de nodulización con Mg. El metal tratado alimenta tres máquinas centrifugadoras para fabricar tubos de 300-600, 250-300 y 100-300 mm de diámetro, respectivamente. A continuación, tras un control visual los tubos son cincados, se someten a una prueba hidráulica y se revisten interiormente con cemento. Tras un barnizado exterior pasan al almacén de expedición. Según las aplicaciones los tubos llevan diferentes revestimientos. La calidad estándar para agua potable tiene el exterior cincado y el interior con cemento de horno alto. La natural, también para agua potable lleva Zn y Al en el exterior y un revestimiento reforzado. Para irrigación se usa cemento Pórtland, mientras que para la calidad Standard Pur se usa mortero de cemento. Las tuberías de saneamiento llevan hormigón, lo mismo que la nueva calidad para aguas reutilizadas.

Dada la premura de tiempo y teniendo en cuenta que la hora de comer es sagrada, el **resumen y clausura del Encuentro** fue breve destacando los que, a mi juicio, habían sido los puntos más interesantes de las conferencias y animando a los asistentes a asistir al próximo Encuentro, que se celebrará de nuevo en Santander el 19 y 20 de octubre de 2006, con la visita al cubilote de Nissan Motor Ibérica de Los Corrales de Buelna.



Los participantes observan cómo se fabrican los tubos centrifugados.

La excelente comida en un marco asimismo excelente, el hotel Palacio Real, no pudo extenderse para fumar los puros con tranquilidad ya que el cubilote de Saint Gobain Canalización nos esperaba. Tal como nos habían contado Antonio Bardají y Ernesto Sagaseta, se trata del cubilote de mayor capacidad de España. Es un clásico cubilote Küttner de 30 t/h de capacidad, de viento caliente e inyección supersónica de oxígeno, destinado a producir 170.000 t/año de tubos de fundición dúctil. Yo, que he tenido la suerte de hacer ensayos y rejuvenecerme en la plataforma del cubilote, puedo atestiguar que es uno de los mejor manejados gracias a un excelente personal de fusión.