

# **APLICACIÓN DE DIVERSOS METODOS DE REHABILITACION Y REFUERZO DE ESTRUCTURAS (II): REHABILITACIÓN DEL HORNO ALTO Nº2 EN SAGUNTO**

**Juan José Clemente Tirado**  
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Pantecnia Consulting, S.L.  
jjclemente@pantecnia.es

## **RESUMEN**

La intervención en construcciones existentes presenta numerosas fórmulas de actuación en función de la gran variedad de estructuras, de desordenes y de objetivos. En la presente comunicación se indican dos ejemplos de intervenciones recientes sobre el patrimonio, de concepción muy diferente. Por un lado, una intervención sobre una estructura de marcado carácter histórico, como es el puente medieval de Bocaleire, en la que se realiza una actuación mixta de consolidación estructural y de restauración. Por otro, la intervención singular sobre el abandonado patrimonio Industrial, la rehabilitación integral del Horno Alto nº2 de Sagunto, en la se une la actuación estrictamente estructural y una labor de recuperación y de puesta en valor de los elementos constitutivos, con fines patrimoniales y didácticos.

## **1. REHABILITACIÓN DEL HORNO ALTO Nº2 (PUERTO DE SAGUNTO).**

### **1.1. Reseña Histórica.**

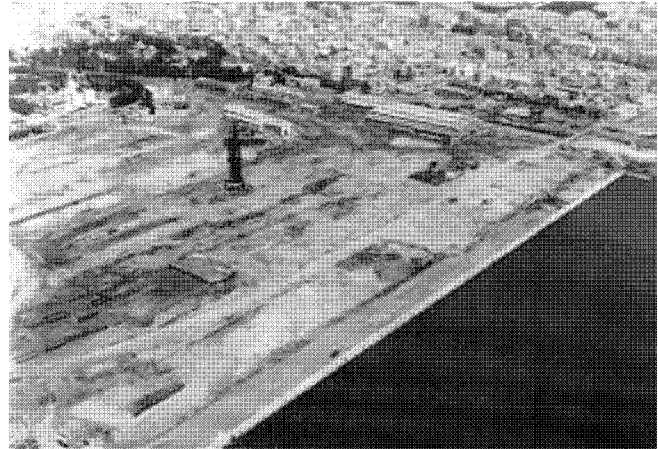
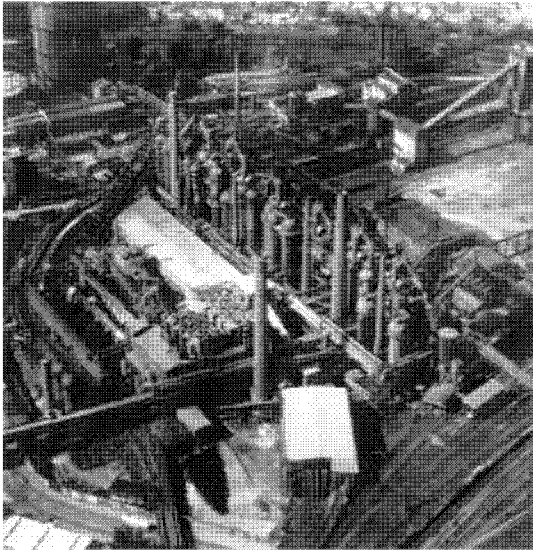
La historia de la Industria Siderúrgica en Sagunto comienza a finales del S XIX, cuando Ramón de la Sota y Eduardo Aznar, acaudalados empresarios vascos involucrados en el frenético negocio de la explotación de las minas de hierro del norte, ponen sus ojos en unas minas con grandes reservas de mineral de hierro de alta calidad: Sierra Menera, en Ojos Negros (Teruel). El gran inconveniente eran los mas de 200 km que las separaban del mar, medio de transporte inevitable, por lo que se hacia necesaria la construcción de un ferrocarril atravesando la sierra, con un elevado coste.

Nace así en 1900 la Compañía Minera Sierra Menera, CMSM, y tras numerosos estudios se decide optar por la solución de llevar la línea férrea hasta la costa de Sagunto en detrimento de Valencia, Castellón o Burriana. A principios del S XX, Sagunto era una población casi exclusivamente agrícola y la zona de costa estaba únicamente ocupados por marjales y tierras de cultivo.

La construcción del ferrocarril comienza en 1902 y finaliza en 1907 con grandes dificultades orográficas que obligaron a la construcción de grandes viaductos. Al mismo tiempo comienza la construcción del embarcadero (1905-1909) con 515 ml de escollera y 130 de muelle. Han pasado nueve años hasta el comienzo de la explotación y la empresa esta fuertemente endeudada.

Dadas las características del mineral (mucho fino de gran pureza) y las nuevas exigencias del mercado (demanda de productos aglomerados), obligan a la CSCM a la construcción de primero una planta de briquetado (1908) y posteriormente dos plantas de nódulos (1911).

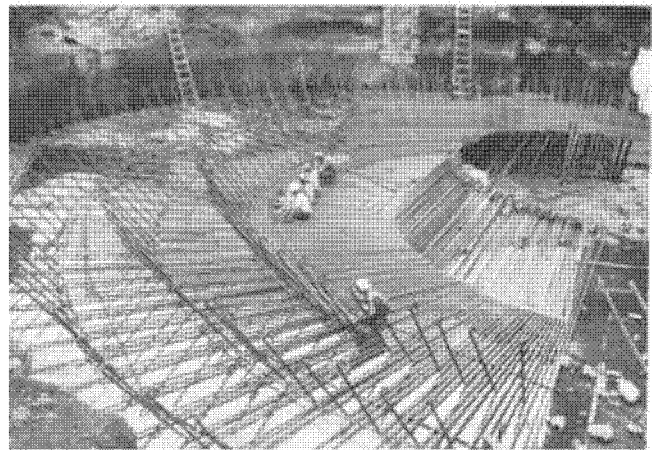
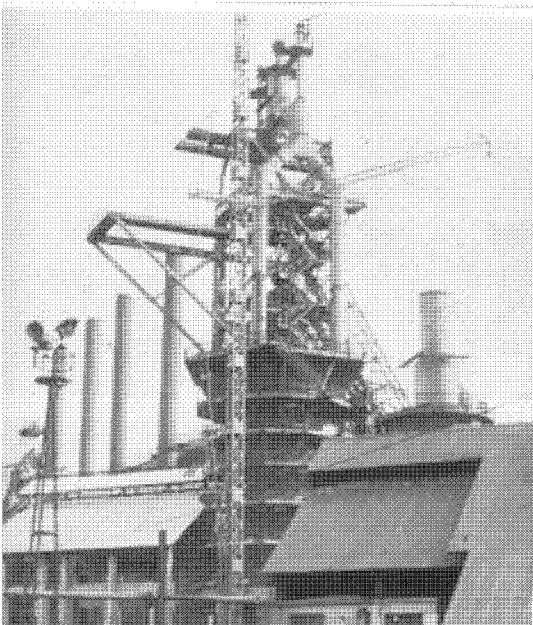




4. Horno Alto nº2. Años 70.

5. Construcción cimentación Horno Alto nº2. 1965.

En este periodo de posguerra, la empresa madre, la CSCM reconstruye la línea férrea (1941) y comienza el envío de mineral a Sagunto, una parte para la Siderurgia y otra para la exportación. Tras una serie de altibajos y planes de reconversión, en 1970 se obliga a la CSCM a abandonar su línea de ferrocarril y firmar un convenio con RENFE para transportar mineral, con grandes revueltas sociales. El ferrocarril que tantos esfuerzos había costado debe ser levantado. En 1980 se obtiene el récord de producción en las minas (2,3 millones de tons), aunque con escasa rentabilidad. El final de la CSCM llega cuando se produce el de la empresa que ella misma había creado. El cierre de AHM en 1984 supone la pérdida del mejor cliente y termina en 1986 con el cierre definitivo.



2. Panorámica Siderurgia. Zona Hornos Altos. Años 70

3. Panorámica Terrenos Siderurgia tras el desmantelamiento. Horno Alto nº2.

En 1965 la US Steel compra el 25% de AHV y se pone en marcha el Plan Sagunto y en 1971 se decide instalar en Sagunto la IV Planta Siderúrgica Integral, creándose Altos Hornos del Mediterráneo, AHM. La crisis mundial de 1974 paraliza todos los proyectos y AHM integra las instalaciones de AHV en Sagunto. De la IV Planta solo se construyó el Tren de Laminación en Frío (1976). La Siderúrgica Saguntina paró definitivamente el 5 de Octubre de 1984 en medio de violentas revueltas sociales y en 1985 se derriban todas las



El horno se apoya sobre una corona circular de chapa de 30 mm, sobre lo cual se soldó la primera virola del crisol, de 50 mm de espesor y una altura de 3,8 m, en la cual iban empotrados los marcos de las bocas de sangría y escoria. La segunda virola es de 40 mm, con una altura de 2,4 m en la cual están soldados los marcos de las 12 toberas. La tercera virola es de 35 mm de espesor con una altura de 2,56 m.

6. Sección Horno Alto nº2.

El etalaje propiamente dicho es de 30 mm de espesor, protegido por un fuerte aro de fundición, empotrado en la masa del revestimiento de refractario. Toda la coraza de la cuba es de 30 mm. Empotradas en la misma coraza lleva alojadas 21 filas de cajas de refrigeración abiertas con un total de 315. De la cúpula del horno salen cuatro tuberías de 1,22 m de diámetro exterior, que después se unen en dos de 1,72 m y por último se unen en una de 1,92 m de diámetro, bajando hasta los colectores de polvo.

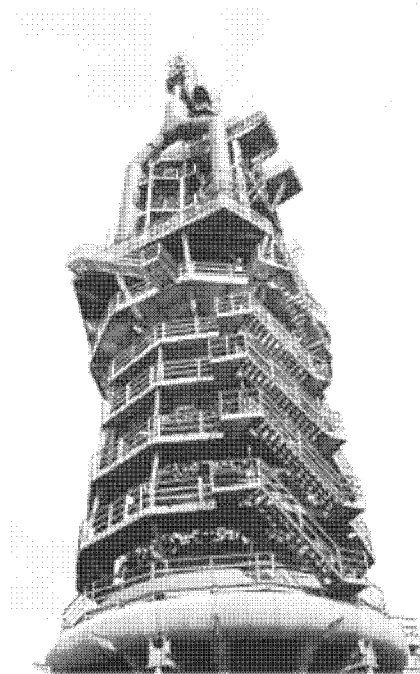
El revestimiento de ladrillo de carbono tiene 1 m de espesor en las paredes del crisol, el cual descansa en el fondo sobre una capa de refractario de 1,9 m de altura. La parte superior está revestida con ladrillo de 0,82 m de espesor y va protegido contra los choques de la carga por placas de fundición en la parte alta. El cierre del tragante se realizaba con dos campanas con el fin de evitar la salida de gas.

La refrigeración de los hornos se realizaba con agua procedente del mar. La superior de la cuba por una lámina de agua, el resto de la cuba por cajas abiertas de agua (cajas de refrigeración), el Etalaje, por lámina de agua y las piezas refrigeradas del crisol (toberas, templillos) con agua a presión.

### **2.3. Estado de Conservación.**

La estructura del Horno Alto presentaba un alto grado de deterioro tanto en sus elementos metálicos como de hormigón. Durante su funcionamiento estuvo sometida a altas temperaturas y grandes sollicitaciones mecánicas, aunque la labor sistemática de mantenimiento aliviaba en gran medida el avance del deterioro.

La demolición de las Instalaciones siderúrgicas (1985) afectó en gran medida al Horno Alto nº2 (único superviviente), ya que se derribaron sin control alguno elementos del propio conjunto del horno, y no solo aquellos que hubieran servido para la caracterización didáctica de conjunto (estufas, skip, silos de cok,...) sino otros elementos constituyentes de la propia estructura que incluso podrían llegar a afectar su estabilidad. Así se demolieron los dos puentes grúa, el tubo de gases, la rampa del skip, gran parte de la plataforma de trabajo, los canales de escorias y de arrabio, además de numerosas piezas absolutamente necesarias para la comprensión de su funcionamiento.



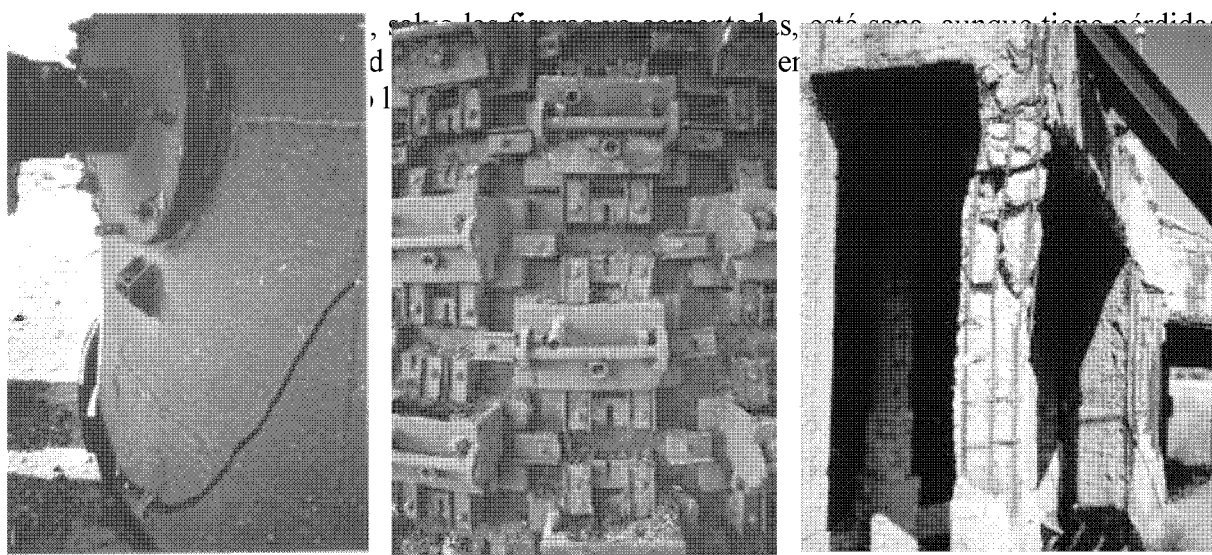
7. Vista General Horno Alto nº2. 1999.

En los 15 años transcurridos desde el cierre de la IV Planta, el Horno Alto nº2 ha estado a la acción de los elementos en el ambiente marino de Puerto de Sagunto. Aunque, evidentemente, desde entonces no ha sufrido las altas temperaturas y sollicitaciones mecánicas a que se le sometía durante su funcionamiento normal, la ausencia de mantenimiento durante este período, ha determinado que su estado físico actual requiera una intervención profunda que lo consolide y garantice su estabilidad de forma previa a su puesta en uso. Desde su inauguración, las calles del polígono industrial que rodean la rotonda en que hoy se levanta el horno han debido ser cerradas al tráfico por el riesgo que entraña su utilización ante la posibilidad de caída de piezas desde gran altura.

Los primeros informes sobre el estado de la estructura datan de 1991, cuando se realizó una 1ª campaña de inspección en la que se caracterizó la configuración de la misma, mediciones de espesores de chapas de acero por ultrasonidos y cálculo de la estabilidad. En ellos se pone de manifiesto el avanzado grado de deterioro de la estructura de acero, principalmente debido a la corrosión. Se observan dos fisuras en el crisol de gran tamaño (el espesor de chapa en el crisol es de 50 mm). No obstante se deduce que quedan espesores suficientes para asegurar la sustentación de la misma realizando una serie de actuaciones de refuerzo.

En 1993 aparece una nueva fisura de manera espontánea, por rotura instantánea de la chapa de 50 mm en una longitud aproximada de dos metros, cediendo así a la acción de un gran empuje interno, debido al aumento de volumen por corrosión del “lobo” (restos con alto contenido en hierro de las coladas) y de la última carga de 1984. Esta rotura produjo un estallido que fue percibido a centenares de metros de distancia.

En 1995 se realizó una segunda campaña de toma de espesores. Las dos fisuras apreciadas en 1991 se han abierto considerablemente y aparece un desplazamiento relativo de ambas chapas en el sentido de la generatriz. Durante la realización de las medidas la fisura de 1993 se abrió unos 1,5 mts hacia arriba llegando a la zona de etalajes. Los resultados comparativos se presentan a continuación, donde se aprecia una pérdida significativa de la sección de acero.



8. Fisura en Crisol. Vista desde Plataforma de Trabajo. 9. Estado de Cajas de Refrigeración. 10. Estado de Pilar de Plataforma de Trabajo.

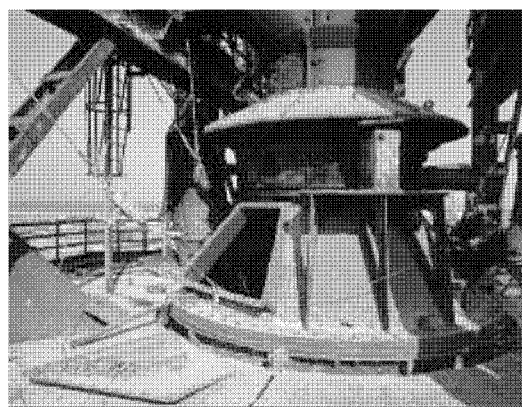
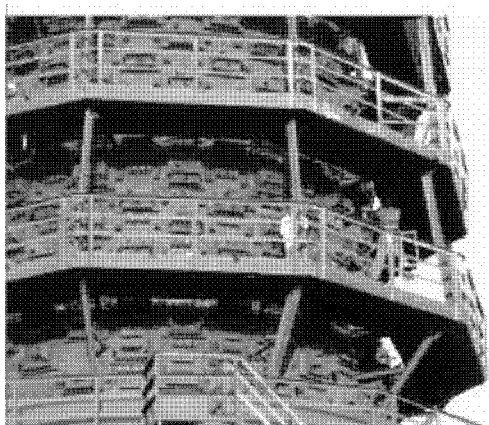
Plataforma de Trabajo. La estructura de hormigón de la plataforma de trabajo presenta un gran deterioro con zonas próximas al colapso. Aparece degradación profunda del hormigón, pérdida de sección en las armaduras, rotura de armaduras, roturas de pilares (probablemente algunas debido a la demolición poco cuidadosa). El tramo metálico del forjado presenta viguetas con avanzado estado de corrosión general, perforaciones y rotura de uniones.

Pilares de Sustentación. Los pilares estaban forrados por ladrillo refractario y mortero de relleno. Están formados por tres IPN-400 empresillados. Los espesores medidos del alma (zonas protegidas) son de 12,4 mm frente a los 14,4 mm de origen.

Cuba y Aro de Etalaje. Es la zona más castigada. La variación de espesor entre 1991 y 1995, varía entre un máximo de 2,5 mm y un mínimo de 0,2 mm, siendo la media de 1,37 mm. El aro de etalaje presenta perforaciones en varios puntos. Las cajas de refrigeración y sus pestañas presentan un estado de corrosión muy avanzado. Los canales de recogida de agua están colapsados en varios puntos.

Zona del Tragante. A medida que se asciende, y sobre todo por encima de la zona de las cajas de refrigeración, el aspecto de las superficies metálicas (a excepción de las chapas del piso de las plataformas), el deterioro es menor. La estructura que arranca de la parte superior de la cuba se encuentra en un posicionamiento vertical aceptable. La variación de espesor entre 1991 y 1995, es de 0,48 mm de media.

Conjunto de la Tubería de Gases. Todo este conjunto ha estado sometido a altas temperaturas durante el funcionamiento del horno. Se encuentran en su conjunto inclinadas hacia el lado de la piquera de la colada. Se propone una intervención urgente para llevarlas a la posición vertical a fin de evitar momentos de vuelco parásitos.



11. Estado de las Plataformas Superiores. Cuba. 12. Estado de la Plataforma del Tragante. Campanas.

Zona de válvulas de escape de gases. Esta zona se encuentra muy deteriorada. Se hace necesario una intervención de urgencia para evitar caídas de elementos como el monocarril para la manipulación de las válvulas y la reparación de algunas chapas de las tuberías de gases que se hallan perforadas en más de 1/3 de su diámetro.

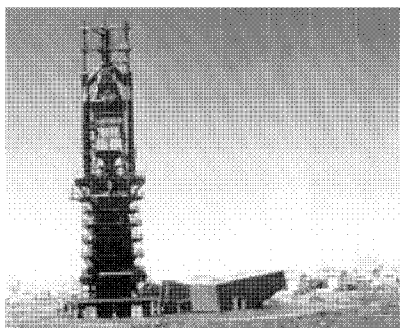
Las chapas que conforman el piso de cada una de las plataformas, las escaleras, las estructuras de sustentación de las plataformas, y las barandillas de protección presentan daños por corrosión, de diferentes grados de avance.

#### **2.4. La Intervención.**

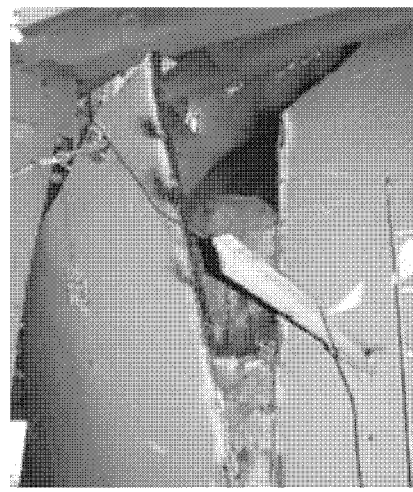
Se realiza una primera intervención de emergencia por la empresa Montajes Nervión, tras el informe de 1995. En ella se lleva a la vertical el conjunto de la tubería de gases, mediante la realización de una estructura auxiliar para la maniobra, soldada, corte de los elementos de soporte originales, tiro con gatos hidráulicos y nuevamente soldar los elementos de conexión. Además de esta compleja operación se procede al desmontaje de elementos como el monocarril para la manipulación de las válvulas y la reparación de algunas chapas de las tuberías de gases que se hallan perforadas en más de 1/3 de su diámetro a fin de evitar caídas.

Tras ello se redacta el proyecto de intervención integral. En un elemento como el Horno Alto nº2, cuya recuperación se plantea, sobre todo, por su interés testimonial y didáctico, es necesario, antes de abordar la propuesta de intervención, conocer el proceso que ha llevado a su estado actual para poder situarlo en un contexto cultural y valorar adecuadamente su interés. Su tratamiento y las obras que se realicen deberán servir al doble objetivo de garantizar la accesibilidad y seguridad de las zonas visitables y de poner de relieve su interés didáctico. Las obras proyectadas consisten en:  
Urbanización y Pabellón.

Se amplía la rotonda (+1533 m<sup>2</sup>) en la que está enclavado el horno a fin de disponer de espacio suficiente para la reconstrucción de la plataforma de trabajo y la zona de recepción de visitas. Se estructura en dos niveles: El nivel inferior se concibe como zona de visita del primer nivel de horno y como zona de disposición de piezas de interés didáctico recuperadas; el nivel superior (cota calles) como zona de aparcamiento, recepción y accesos a Pabellón. Para ello es necesario realizar una excavación en la que van apareciendo los cimientos de los elementos asociados al horno. Por el perímetro de la rotonda se coloca una vía férrea para el paso en de una locomotora de vapor recuperada, que conectará el horno con el futuro Museo de la Siderurgia.



13. Simulación estado final del Conjunto.  
14. Apertura puertas en el Crisol. Refractario.  
15. Reparación fisuras del Crisol.



Pabellón: Se construye un conjunto de edificaciones con objetivos museográfico: Pabellón de audiovisuales, bloque de acceso y servicios, almacén, túneles de interconexión y accesos al nivel de la Plataforma de trabajo. Su construcción se realiza a base de láminas de hormigón armado y estructura de chapas de acero.

#### Plataforma de Trabajo.

Se realiza una primera fase de regeneración de la estructura de hormigón, gravemente dañado por las altas temperaturas, el ambiente marino y la demolición no selectiva. Los trabajos han consistido en: Un picado y limpieza previa de todas las superficies con chorro de arena SA 2½, reposición de las armaduras con gran pérdida de sección, pasivación de las mismas, aplicación de puente de unión, regeneración de masas con grandes pérdidas con vertido de grout (previo encofrado) y regeneración superficial mediante la proyección de mortero armado con fibras por vía seca. Posteriormente se reconstruye la parte de la plataforma de trabajo derruida con estructura de HA nueva conectada con la anterior y se colocan nuevos canales de arrabio y de escorias (chapas de acero).

#### Zona del Crisol.

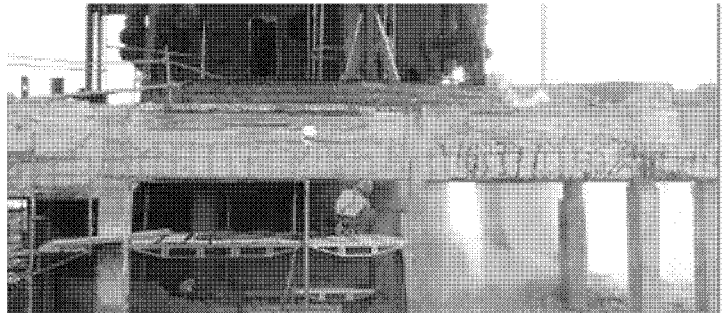
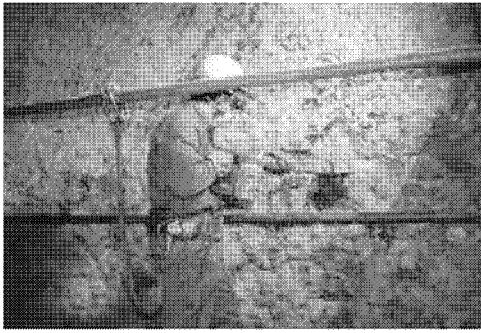
Se procede al refuerzo de los seis pilares de sustentación mediante la adición de chapas soldadas previo desmontaje del revestimiento refractario y reposición del empresillado. El aro de etalaje es reforzado mediante la adición de chapas soldadas. A fin de regenerar el crisol, se procede al desmontaje de los paños afectados por las fisuras, al picado del interior y la reposición de los mismos mediante soldadura. En el aro de atado de los pilares de realiza una regeneración del acero y de las uniones.

#### Plataformas superiores y zona de tubería de gases.

En la zona de la Cuba, aunque estaba previsto la extracción completa de las 315 cajas de refrigeración, finalmente se procede a la extracción parcial (solo las tapas) y realización de un sellado de las mismas con la cuba, la retirada de las piezas de sujeción existentes (no originales) en muy mal estado. Las tapas se regeneran, así como cierto número de uniones (con efecto didáctico). Se desmontan todas la chapas del piso de todas las plataformas y se sustituyen en un gran porcentaje. La estructura soporte de las plataformas y las barandillas de protección son repasadas, procediendo a la sustitución completa o a la adicción de elementos de acero y repaso de las uniones según los casos. En la zona de la plataforma del tragante se realiza un movimiento de las campanas con ayuda de los mecanismos originales movidos con trácteles, a fin de permitir la entrada de luz en el interior de la cuba. En la zona de las tuberías de gases se realizan actuaciones de repaso de uniones, sustitución de perfiles, refuerzos y regeneración de elementos.

#### Montaje de puentes grúa.

Los dos puentes grúa demolidos en 1985 son repuestos con las mismas dimensiones que los originales, con lo que el horno recupera la direccionalidad. Sobre los puentes grúa se montan plataformas dotadas de barandillas para su uso como mirador.



16. Consolidación Refractorio de Interior Horno. 17. Reparación estructura de Hormigón. Plataforma de Trabajo.

### Interior del Horno.

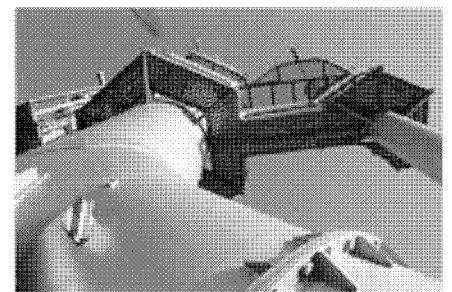
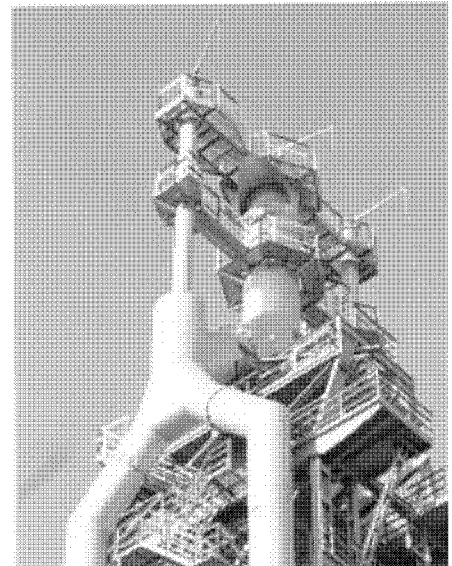
La parada repentina en 1984 dejó en el interior de la cuba toda la carga del Horno. Se procedió a la apertura de tres huecos de acceso en la cuba a la altura de la plataforma de trabajo. Tras demoler el refractorio de grafito aparece una amalgama semi-compacta formada por escorias, cok, arrabio, sinterizado, mineral,... Tras la retirada de estos elementos, aparece una gran costra irregular e inestable de dicha amalgama adherida al refractorio de la cuba hasta casi su coronación. Se procede a la demolición (excepto una rebanada inferior que queda por motivos didácticos) y al saneado del refractorio y su consolidación mediante un cosido con retícula de conectores galvanizados anclados con resinas.

### Tratamiento superficial.

Dadas las características de los materiales que componen la estructura y su proximidad al mar, se hace necesario la aplicación de un sistema de limpieza y protección adecuados. Todos los elementos metálicos han sido tratados con el siguiente procedimiento:

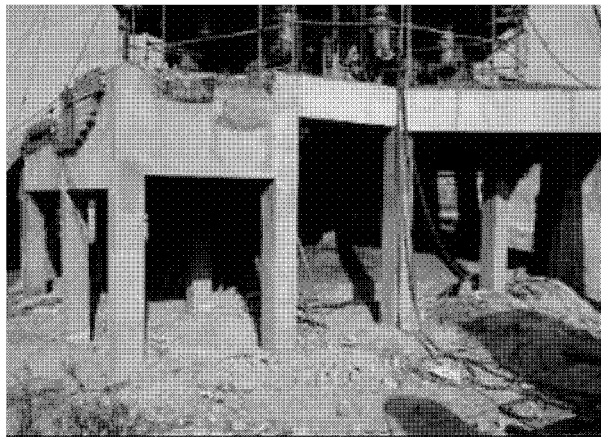
- Picado manual y mecánico de todas las superficies donde existen exfoliaciones, hasta su completa eliminación.
- Chorro de arena hasta alcanzar el grado SA 2 ½ SIS 055900/1967.
- Capa de Imprimación de epoxi rico en cinc, con espesor de película seca de 100 micras.
- Capa intermedia de epoxi con hierro micáceo con espesor de película seca de 100 micras.
- Sellado de todas las uniones e intersticios con masilla de poliuretano.
- Capa de acabado de poliuretano de dos componentes, con espesor de película seca de 80 micras.

Recuperación de Material.



18, 19. Estado final. Trabajos de Pintura. Tubos Pantalón.

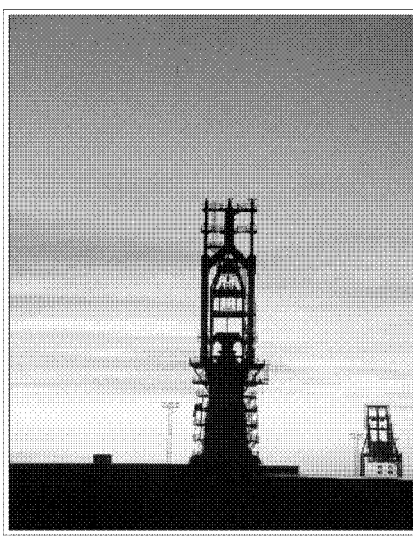
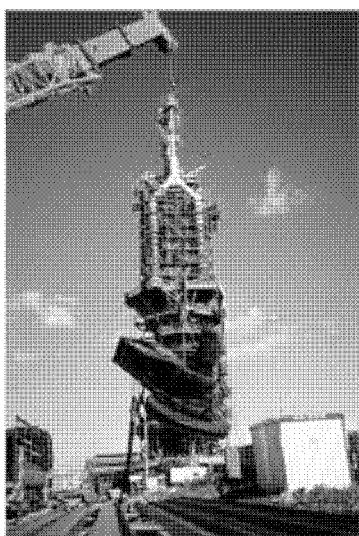
Gracias a la colaboración de la Fundación Para la Protección del Patrimonio Industrial de Sagunto, se han podido recuperar numerosas piezas desaparecidas del Horno Alto nº2 y obtener piezas faltantes de hornos similares de las instalaciones de AHV en Bilbao, que una vez recuperadas aportarán gran valor didáctico al conjunto.



19. Estado final. Trabajos de Pintura. Tubos Pantalón. 20. Pabellones. 21. Plataforma de trabajo tras la reparación.

### Ficha Técnica.

- Promotor: Ministerio de Fomento. Dirección General de Arquitectura y Vivienda.
- Coordinación: Miguel de Vicente, Ministerio de Fomento. Josep Sancho, Emilia Simón. C<sup>a</sup> Cultura. Generalitat Valenciana.
- Autores del Proyecto: Montajes Nervión S.A., Ingeniería 10, Carmel Gradolí, Luis Fco. Herrero y Arturo Sanz, Arquitectos.
- Dirección de las Obras: Manuel Rupérez, ICCP (Ingeniería 10), Carmel Gradolí, Luis Fco. Herrero, Arquitectos.
- Colaboración: José Vila. Fundación para la Protección del Patrimonio Industrial de Sagunto.
- Empresa Constructora: UTE Freyssinet, S.A.-Nesco Entrecanales y Cubiertas, S.A.



22. Aportación de piezas. Cañón tapapiqueras. 23. Montaje Puente Grúa grande. 24. ....