



Alfonso ALVAREZ-MIRANDA
Ingeniero de Minas por la Universidad Politécnica de Madrid.
Trabaja desde 1975 en EQUIPOS NUCLEARES, S.A. habiendo estado siempre ligado a la fabricación de componentes para Centrales Nucleares, inicialmente en el área de Fabricación y actualmente en Ingeniería.
Ha participado muy directamente en la fabricación de los componentes del circuito primario para las Centrales Nacionales de la tercera generación (Vandellós II, Trillo I, Valdecaballeros I y II), así como en los suministros a Centrales de exportación (Atucha II, Isar 2, GKN, India Döel 3, etc).
Ha realizado períodos de adiestramiento en Breda Termomecánica (Milán 1975/76), Westinghouse Tampa (1978), GHH (Alemania 1980/82) y Westinghouse Pensacola (1986/87).
Durante los años 88 y 89 formó parte del equipo de Estudio del Diseño del Reactor Avanzado APWR-1000.
Como responsable de la Oficina Técnica de Ingeniería está relacionado de una forma muy directa en los procesos de fabricación de los Generadores de sustitución para Centrales Españolas.

MEJORAS INTRODUCIDAS DURANTE LA FABRICACIÓN DE LOS GGVV ESPAÑOLES

A. ALVAREZ MIRANDA

El 24 de julio de 1992, se recibió en los Talleres de ENSA la forja de la primera placa tubo para los nuevos GGVV Nacionales, marcando el comienzo de una actividad de fabricación que verá el inicio de su culminación en la primavera del próximo año con la entrega de los tres primeros generadores para la Unidad 1 de la C.N. de Ascó. Posteriormente seguirán las entregas de las tres unidades para la Unidad 1 de Almaraz y en 1996 el suministro de los tres generadores de las unidades 2 de Ascó y Almaraz.

Las mejoras que se han introducido en la fabricación de éstos generadores, son fruto de la optimización de los procesos de fabricación realizada por el personal técnico de Equipos Nucleares,

junto con una experiencia acumulada a lo largo de los últimos años en éste tipo de actividad (generadores para Trillo 1, Vandellós 2, India, Döel 3, etc.).

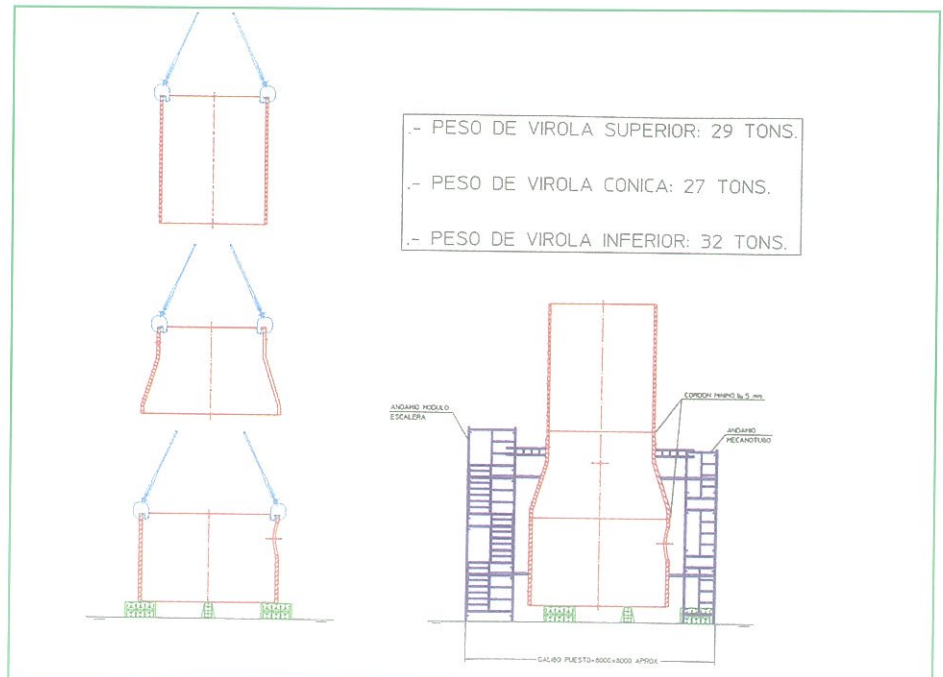
Para pasar revista a los aspectos más importantes y que han supuesto las optimizaciones mas sustanciales en los procesos de fabricación de los GGVV Españoles, cabe dividir las actividades de producción en tres grandes bloques:

- 1º-Procesos de mecanizado
- 2º-Procesos de soldadura
- 3º-Actividades de área limpia.

PROCESOS DE MECANIZADO

Desde un punto de vista general, la actividad de mecanizado siempre está en

Ensamblaje en vertical SA 12



continua evolución y optimización, ya que las herramientas de corte están sujetas de manera ininterrumpida a modificaciones y mejoras que van encaminadas a aumentar el rendimiento y la calidad de acabado.

En éste aspecto estamos aplicando en los procesos de mecanizado de los generadores Nacionales las últimas innovaciones tanto en herramental (plaquitas onduladas, fresas frontales positivas de 45°, recubrimientos de metal duro, etc.) como en sistemas de adaptación y fijación de herramientas, que nos han permitido ir a índices de mecanizado mas altos, mejorando el rendimiento global y aumentando los parámetros de calidad.

En el área de dotaciones, hemos implantado el sistema de roscado por torbellino con cabezal "Ingersol" como una aplicación directa y específica a los roscados de pasos de hombre (primario y secundario), ya que consideramos fundamental garantizar la integridad de las roscas, máxime cuando para los doce generadores el número de roscas a realizar se acerca al millar. Desde un punto de vista específico, hay dos procesos de mecanizado en donde las mejoras introducidas han aportado importantes ventajas:

- a)- Mecanizados de la Caja de Agua (SA10)
- b)- Taladrado de la Placa Tubo.

• *Mecanizados de la Caja de Agua (SA10)*

La mejora introducida es aplicable a los mecanizados intermedios y finales que se realizan sobre las toberas de entrada/salida y sobre los pasos de hombre, antes de unir la Caja de Agua a la Sección Intermedia, independientemente de la mandrinadora en que se realicen.

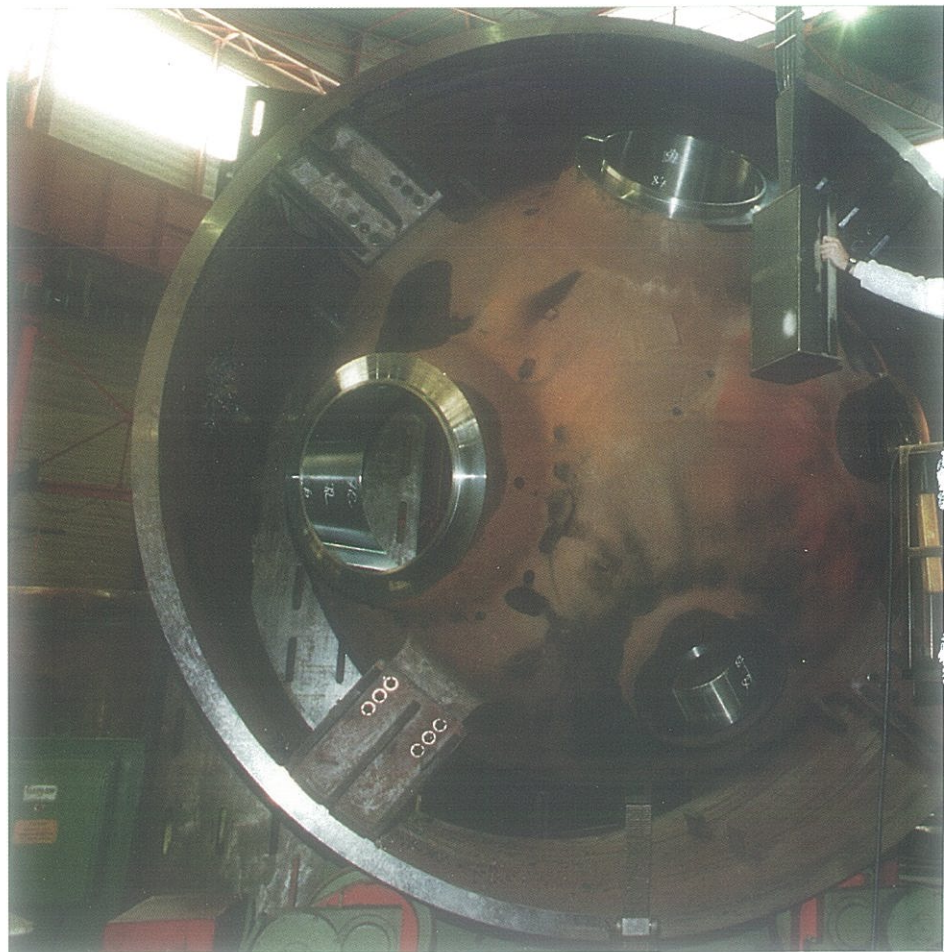
Su base es el diseño de un utillaje en forma de virola, dentro del cual se introduce y fija la Caja de Agua permitiendo el mecanizado de sus toberas (2) y pasos de hombre (2) (diámetros interiores y bordes) con el simple giro del conjunto sobre viradores (un solo posicionado).

• *Taladrado de Placas Tubo*

Uno de los puntos mas críticos en los programas de fabricación y sobre los que se puso mas énfasis por todas las partes fue nuestra capacidad para realizar el taladrado de las placas tubo de los doce generadores sin que ésta actividad supusiera un retraso para los programas.

Para garantizar los plazos de ejecución, pusimos en marcha un programa de actuaciones que abarcó los siguientes aspectos:

- Revisión y actualización de los taladros profundos SASS tanto en su aspecto mecánico como en su software de trabajo.
- Estudio de alternativas para la realización del taladrado en diferentes fases de fabricación.
- Revisión y optimización completa del



Mecanizado fondo (SA-10) en marinadora.

programa de C.N. de taladrado y de los parámetros de corte.

- Optimización de cabezales y de las brocas.
- Incorporación de un sistema detector de posibles impactos sobre la placa tubo.

En lo que respecta al primer punto, se procedió a una actualización y revisión completa de la parte mecánica y eléctrica, sustituyendo los elementos necesarios y ajustando holguras. Se realizó el cambio del aceite de corte y la inclusión en el circuito de un enfriador para homogenizar su temperatura durante el taladrado.

La actualización se completó con la revisión del sistema electrónico y el cambio del control numérico, pasando a uno más actual (ECS2301) y con notables ventajas en su estructura y funcionamiento.

En el aspecto de alternativas, estudiamos la posibilidad de realizar el taladrado en fases de fabricación posteriores a la habitual, esto es con un subconjunto de mayor longitud y peso. Esto nos permitiría avanzar en otras actividades, un mejor aprovechamiento de los recursos, una alimentación continua de las máquinas y eliminar los posibles tiempos de esperas.

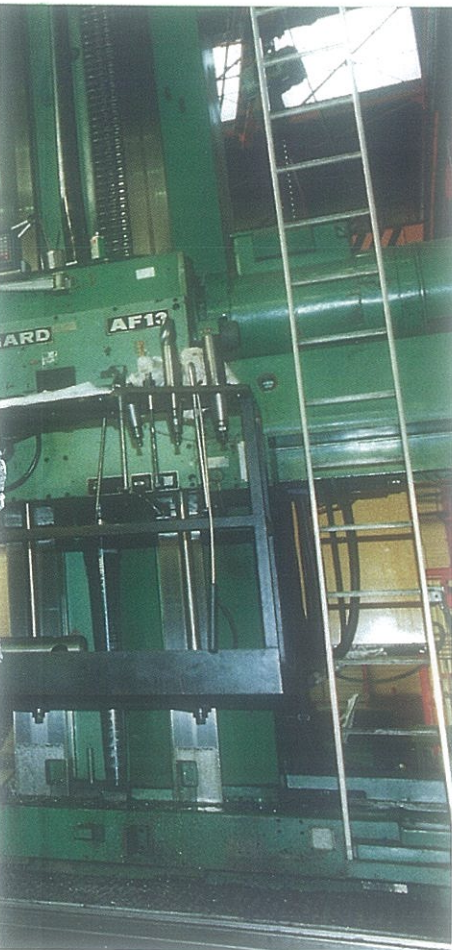
Como resultado del estudio realizado,

ha sido posible el taladrado de los doce generadores en dos subconjuntos diferenciados: cuatro como SA11 (6 m. longitud y 90 tn. de peso) y ocho como SA30 (15 m. longitud y 180 tn. de peso).

Una mejora importante ha consistido en la creación de un software de programación exclusivo que ha permitido la automatización del cálculo de coordenadas de los posicionados (en cada posicionado se puede taladrar simultáneamente 3, 2 ó 1 agujero) y de la escritura del programa de C.N. El citado software realiza también un chequeo geométrico y la simulación gráfica del taladrado. Con ello se ha conseguido rapidez y flexibilidad en la programación, optimización del taladrado (secuencia mas lógica con acortamiento de plazos) y ausencia total de errores.

Los parámetros de corte (velocidad de giro y avance de corte) se ajustaron permitiendo mejorar los rendimientos y calidad del proceso de forma considerable.

Los cabezales utilizados en el taladrado de los GGVV Españoles han sido diseñados y contruidos exclusivamente para éstas placas aportando una mejor guía y rigidez en la sujeción de la broca (mejor perpendicularidad, diámetro y



periores a cualquier taladrado precedente, y que se están poniendo de relieve en los datos obtenidos en las inspecciones por Eddy Current efectuadas en los tubos después de su expansión.

PROCESOS DE SOLDADURA

En general se han aplicado los procedimientos convencionales tanto para las soldaduras manuales (electrodo recubierto ó con protección de gas) como para las automáticas (arco sumergido en plaqueados y soldaduras circunferenciales), puesto que nos respalda una amplia experiencia y nos aportan una alta fiabilidad.

No obstante hemos introducido mejoras que afectan a la preparación de puestos de trabajo para el ensamblado de partes a soldar, eliminación de puentes de unión en soldaduras circunferenciales, incorporación de nuevos equipos para resanado de soldaduras, disminución de procesos manuales en beneficio de los automáticos y soldaduras automáticas mecanizadas y con visión remota por televisión.

• Preparación de puestos de trabajo.

Hemos rentabilizado la repetitividad de los trabajos en base a la preparación de puestos fijos para el ensamblaje de piezas a soldar.

• Eliminación de puentes de unión

La soldadura de puentes de unión entre virolas, como paso previo a su soldadura circunferencial, siempre ha supuesto un input importante en los plazos de ejecución, y ha dado lugar a actividades de inspección adicionales (END en zonas de soldaduras).

Para los GGVV Nacionales se ha tendido a suprimir la utilización de puentes (solamente se han utilizado en una soldadura) en base al estudio y optimización de cada unión circunferencial entre virolas. Hemos seguido dos caminos para conseguirlo:

- Uniones de virolas en vertical, aplicándolo a las soldaduras de virolas de Camisa (SA24), de la Sección Inferior (SA11: Anillo Esférico, Placa Tubo y Virola), Sección Intermedia (SA12: dos virolas cilíndricas y una cónica) y Sección Superior (SA13: Casquete y Virola).

- Preparación de "puestos especiales" para las uniones finales del generador (SA10 con SA32 y SA13 con SA32) que nos han permitido los acoplamientos sin la necesidad de puentes.

• Nuevos equipos de resanado.

La adquisición de una resanadora automática de discos (Farros Blatter) nos ha permitido mejorar la ejecución de las soldaduras por dos conceptos:

- Pasar de resanados manuales a automáticos, con las ventajas que supone la reducción en plazos de ejecución y una mayor garantía en la consecución de perfiles de resanado

correctos (profundidad y anchura).

- Poder cambiar el sentido del resanado. Esto tiene una importancia fundamental en las soldaduras de las uniones finales (SA13 con SA32 y SA10 con SA32), en donde se ha pasado de un resanado por el interior (recinto cerrado y dificultades de los operadores) mediante arco-aire más disco manual a trabajar desde el exterior de la unión, sin temperatura y en un proceso automático.

• Automatización de procesos.

Se han cualificado procedimientos automáticos para sustituir a manuales. Son los casos de soldadura de recargues de superficies de asiento en pasos de mano y pasos de hombre del secundario, tobera de salida de vapor, así como los de recargues de inconel y soldadura de safe-ends en toberas del primario. Estos últimos se mencionan con mas detalle en los apartados siguientes.

Siguiendo ésta tendencia, hemos desarrollado y construido un cabezal de plaqueado (no disponible en el mercado) capaz de introducirse en el interior de los pasos de hombre del primario (diámetro interior 406 mm.), pasando de plaqueado manual a automático, con las ventajas que conlleva en cuanto a fiabilidad del proceso (calidad).

• Soldadura de recargues de inconel en toberas del primario.

Con respecto a trabajos precedentes hemos incorporado dos variantes que lo mejoran considerablemente, aportando mayores índices de seguridad, buenos resultados en la calidad de los recargues (END satisfactorios por líquidos penetrantes, ultrasonidos y radiografía) y reduciendo los plazos de ejecución.

En primer lugar se ha ido a un proceso automático con TIG con el eje de la tobera en vertical, en lugar de manual con electrodo, y en segundo lugar se ha introducido la visión por TV y mecanización de la soldadura, de manera que el operario está controlando de forma continua en un monitor el desarrollo de la misma. El sistema también permite la grabación en video por si fuese necesario, su examen posterior. La visión se realiza en dos ángulos (parte delantera y trasera) pudiendo detectar y corregir al instante cualquier fenómeno anómalo que se presente.

Otro factor que se ha tenido en cuenta y que ha contribuido a mejorar el proceso, ha sido el diseño y construcción del utillaje soporte de la Caja de Agua para ésta soldadura (eje de tobera en vertical) así como la plataforma de trabajo donde se sitúa el soldador y los equipos de visión.

• Soldadura de safe-ends a las toberas de entrada y salida del primario.

Como en el caso anterior, las mejoras en este caso han consistido en pasar de un proceso manual a una soldadura automática TIG en 1G (eje de tobera

rugosidad) y han permitido, con respecto a trabajos similares anteriores, reducir el número total de posicionados en un 15% ya que se aumentaban en un 27% los posicionados de tres brocas (mayor aprovechamiento y productividad).

Se ha conseguido también una optimización y mejora muy importante en las brocas, utilizando las del tipo de cabeza integral de metal duro con recubrimiento de nitruro de titanio. Su comportamiento ha resultado fundamental para la mejora del proceso de taladrado y la obtención de agujeros de alta calidad de acabado.

Por último se ha incorporado un sistema de seguridad para detectar se está taladrando y que podría ocasionar desviaciones en los agujeros. El sistema implantado avisa de forma acústica y visual parando la máquina en el caso de que el cabezal del taladro entre en contacto con la placa tubo (maniobra errónea de los operadores) ó si por cualquier otro motivo hubiera un contacto externo con el conjunto que se está taladrando.

El conjunto de las mejoras introducidas han tenido como consecuencia un acortamiento de los períodos de taladrado, junto con unos resultados globales en la calidad de los agujeros su-



Taladrado placas tubo, como SA's 30. Al fondo, área limpia de generadores de vapor.

en horizontal) y realizarla con visión remota (TV) y mecanizada. Los resultados son un mejor control y vigilancia de la soldadura por el operador, mas garantías en la obtención de soldaduras sin defectos y mejores plazos de realización. Su ejecución ha requerido el diseño y construcción de un utillaje soporte muy complejo para mantener la tobera (integrada en la Caja de Agua) girando con su eje en posición horizontal. Hasta el momento las expectativas puestas en las mejoras introducidas han sido confirmadas por los resultados obtenidos.

ACTIVIDADES DE ÁREA LIMPIA

Estas actividades abarcan un conjunto de trabajos de máxima trascendencia en la fabricación de los GGVV, ya que están directamente relacionados con el número, disponibilidad y calidad funcional de tubos útiles en operación.

La *mejora más importante* en éste conjunto de actividades ha consistido en la ampliación del área. El nuevo recinto, que mantiene unas condiciones ambientales y de limpieza específicas, ha aumentado su superficie hasta 1.200 m² y permite el trabajo en dos zonas diferenciadas:

- ALGV-1, donde se realiza:

- Montaje,alineación y fijación de rejillas
- Entubado

Tack-rolling (expansionado de fijación)
Fresado de junta tubo-placa tubo
Soldadura tubo-placa tubo
Líquidos penetrantes a la soldadura

- ALGV-2, donde se realiza:

- Prueba de helio a la soldadura de tubos
- Expansionado de tubos
- Limpieza del interior de los tubos
- Perfilometría de tubos expansionados

Ha sido necesario aumentar las dotaciones generales del área (plataformas, gruas, etc.) y los utillajes y herramientas para cada una de las actividades. Las mejoras específicas para cada uno de éstos procesos son:

• *Montaje y fijación de rejillas.* Utilización de un carro motorizado con guías laterales para evitar giros en el interior de la camisa. También se le ha incorporado un sistema independiente de desplazamiento horizontal-vertical y de giro de la rejilla, para facilitar su alineación.

• *Entubado.* Empaquetamiento de los tubos dentro de las cajas de forma que permite realizar el entubado solamente con dos personas. Se han modificado las guías de entubado, cambiando el material en contacto con el tubo, para evitar posibles marcas y arañazos.

A la plataforma de trabajo se la ha incorporado un balcón extensible(desmontable) que se introduce cuatro metros en el interior del generador,

accediendo con facilidad a la última rejilla, haz de tubos y barras antivibrantes.

• *Tack-rolling.* Se ha pasado a utilizar un expansor de cinco rodillos, consiguiendo una sujeción mas uniforme del tubo contra la placa y mejorando las condiciones de la soldadura tubo-placa. La incorporación de una guía de teflón en su extremo evita las marcas en el interior de los tubos.

• *Fresado Tubo-Placa Tubo.*

Utilización de fresadora neumática autocentrante con fijación en el interior del tubo.

• *Soldadura Tubo-Placa y END.* Como aplicación a éstos GGVV, se ha aumentado la dotación de equipos de soldadura (Hobart con cabezal orbital 214.01 y control automático del arco) para garantizar su disponibilidad.

También hemos optimizado y rediseñado el dispositivo de sujeción de las pistolas, mediante una ejecución más sencilla y fiable para el operario (más atención a la soldadura y menos pendiente de la sujeción).

• *Expansionado de tubos y Perfilometría.* Tanto para el proceso hidráulico como para el mecánico, se han acopiado nuevos equipos para cubrir los trabajos sobre varios GGVV simultáneamente.

En el expansionado mecánico hemos incorporado un nuevo sistema de sujeción de la pistola, que facilita su manejo, permite el acceso a todos los tubos y hace mas cómodo y sencillo el trabajo. Como elemento de inspección estamos utilizando un sistema de videoscopio que permite visualizar el interior del tubo expansionado con 35 aumentos, pudiendo grabar en video la información visualizada.

La inspección de perfilometría por Eddy Current ha sido subcontratada a Tecnomat, quien ha diseñado aplicaciones específicas para éstos GGVV.

• *Limpieza de tubos.* En fase de prueba se encuentra un sistema múltiple y automático para el lavado de seis tubos simultáneamente. Su aplicación permitirá una reducción importante del tiempo empleado en ésta tarea.

Como conclusión señalar que las optimizaciones que hemos realizado en los procesos de fabricación aplicados a los GGVV Españoles, están siendo un factor fundamental para la obtención de unos componentes de alta calidad y el cumplimiento de los plazos previstos.