



Julio MARTINEZ MONTERO es Ingeniero Industrial, especialidad Técnicas Energéticas, por la Universidad Politécnica de Madrid. Antes de finalizar sus estudios trabajó durante tres años en Tamecen, adquiriendo experiencia en oficina técnica, fabricación de equipos de calderería media y pesada, soldadura, etc. En 1975 ingresa en Sener, S. A., donde trabaja en distintos departamentos de diseño (transmisión de calor, calderería, sistemas, etc.), participando en numerosos proyectos, CN Lemóniz I y II, CN Sayago y CN Cofrentes, entre otros. En 1982 participa en la PeM de CN Cofrentes. Durante más de cuatro años trabajó en el Consejo de Seguridad Nuclear, en el licenciamiento de la CN Trillo I, dentro del área de sistemas nucleares PWR y como jefe de proyecto de la mencionada central. Desde febrero de 1990 trabaja en el departamento KWU-EV de Siemens, S. A., en tareas de servicio y apoyo técnico relacionados con CN Trillo I.

CENTRAL NUCLEAR DE RINGHALS UNIDAD 2

SUSTITUCION DE LOS GENERADORES DE VAPOR

J. MARTINEZ

Desde el día 22 de julio de 1989, la central nuclear de Ringhals cuenta con tres nuevos generadores de vapor (GGVV) de diseño Siemens-KWU (S/KWU). El trabajo se realizó de acuerdo con los plazos y, en parte, con antelación al programa.

S/KWU fue el contratista principal para la fabricación, suministro y sustitución llave en mano de los GGVV. Su fabricación duró 35 meses y la sustitución propiamente dicha se completó después de 72 días, plazo que no ha sido igualado todavía en el mundo. La dosis colectiva absorbida por el personal durante la sustitución ha sido muy baja, 2,95 Sv (290 rm), gracias al trabajo previo de descontaminación de las líneas del sistema de refrigeración del reactor. La central nuclear de Ringhals 2 es una planta PWR de tres lazos construida por un suministrador norteamericano y que fue entregada al operador Statens Vattenfall en mayo de 1975.

Los constantes problemas existentes con los tubos de los tres GGVV culminaron en 1981 con el inicio de fallos en los mismos en los años posteriores; siendo necesario taponar numerosa cantidad de ellos en 1988, la central sólo era capaz de producir el 80% de su potencia nominal bruta original, 840 MW.

Después de un extenso análisis coste/beneficio realizado a lo largo de 1984 y 1985, Statens Vattenfall decidió reemplazar los GGVV y cursó una invitación a nivel mundial para ofertar el suministro de los GGVV que sustituirían a los originales.

Tras la emisión de un carta de intención, en el mes de marzo de 1986, S/KWU fue encargado en el mes de mayo del mismo año para suministrar los nuevos

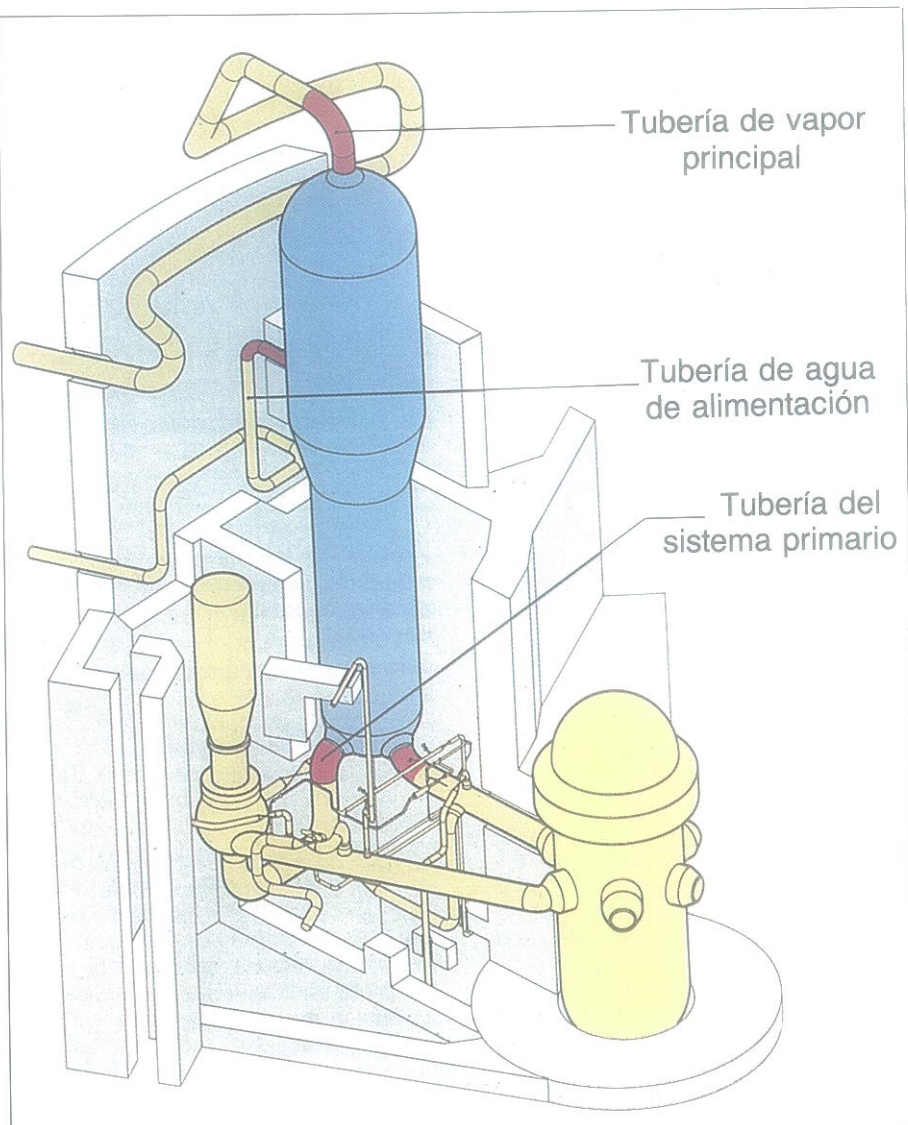
GGVV dentro de un período de tiempo de 35,5 meses.

En el mes de diciembre de 1987, S/KWU recibió la orden para la sustitución llave en mano de los GGVV, que comprendía el siguiente alcance:

- Completa preparación y planificación para la sustitución.
- Realización de una abertura temporal y su cierre en el edificio de contención.
- Desmontaje de los GGVV antiguos y montaje de los nuevos, incluyendo todas las operaciones de movimiento de los mismos.
- Construcción y montaje de todos los equipos temporales de elevación y volteo.
- Suministro de nuevas secciones de tubería para las líneas de refrigeración del reactor, vapor principal y agua de alimentación, que se muestran en la figura 1.
- Suministro y montaje de sistemas de tubería adicionales del secundario.
- Todos los trabajos de descontaminación.
- Todos los trabajos de tubería involucrados en las operaciones de sustitución.

FABRICACION Y SUMINISTRO DE LOS GGVV

Los tres nuevos GGVV, basados en el diseño de S/KWU y cumpliendo con los requisitos del código ASME, fueron fabricados por MAN GHH en su fábrica de Sterkrode, con la participación de compañías suecas para los suministros necesarios. La fabricación fue supervisada



F I Además de los tres GGVV, se sustituyeron secciones de tubería del primario, agua de alimentación y vapor principal (áreas coloreadas en rojo).

por una agencia de inspección independiente sueca y por la autoridad de licencia de ese país.

Después de 35 meses, dos semanas antes de la fecha contractual, los GGVV estaban listos para el embarque. Cada GV pesa del orden de 500 toneladas y está provisto de un haz tubular de 5.310 tubos en U con una superficie de transmisión de calor de 5.105 m².

El diseño de los nuevos GGVV es tal que después de la sustitución, la central de Ringhals 2 tendrá una potencia nominal bruta un 9,5% superior a la potencia original (920 MW frente a 840 MW).

S/KWU elaboró toda la documentación de licencia, incluyendo los análisis de seguridad, requerida por el incremento de potencia mencionado. Esta ha sido la primera vez que S/KWU ha realizado este tipo de trabajo para una central diseñada y construida por otro suministrador principal.

PLANIFICACION DE LA SUSTITUCION

La sustitución de los GGVV en una central que ha estado en operación durante muchos años requiere una muy detallada planificación y una extensa preparación en términos de técnica de sustitución, gestión y colocación de equipos, entrenamiento de personal y una preparación exacta de la parada de la central.

Un equipo de ingenieros procedente de los departamentos de ingeniería de S/KWU y de los subcontratistas involucrados en las operaciones de sustitución fue el responsable de la totalidad del trabajo de planificación. Este equipo contó con 20 miembros permanentes y, en ciertos momentos, hasta 30 ingenieros de planificación.

El concepto y las técnicas a emplear se establecieron al comienzo de la fase de planificación, que tuvo una duración de

15 meses. A esto siguió la programación y la planificación del despliegue de personal, equipo y maquinaria.

Se generó un conjunto de series de documentos detallados para la eliminación de los GGVV antiguos, para el montaje de los nuevos y para la eliminación y reinstalación de los tramos de tubería correspondientes a los sistemas primario y secundario. Esta documentación incluía los siguientes documentos:

- Programas para la fase de planificación.
- Programas para la fase de ejecución.
- Planes de secuencia de trabajos.
- Programas para el despliegue de personal.
- Programas de entrenamiento.
- Especificaciones de materiales y especificaciones de pruebas.
- Procedimientos de trabajo y de limpieza.
- Programas de despliegue de equipo y maquinaria.
- Cálculos de diseño y planes de construcción para los equipos temporales de elevación y transporte.
- Planes de construcción para la adaptación de los equipos de soldadura, corte y prueba.
- Planes de transporte de los GGVV, tubería y equipos de soldadura, corte y pruebas.
- Análisis de riesgos.
- Documentos de revisión de diseño para el licenciamiento.
- Documentos de Control y Garantía de Calidad.

Todos los obstáculos importantes para la sustitución de los GGVV fueron examinados durante la recarga de 1988 y se listaron en un catálogo que contuvo 200 páginas, preparado durante un extenso viaje de inspección.

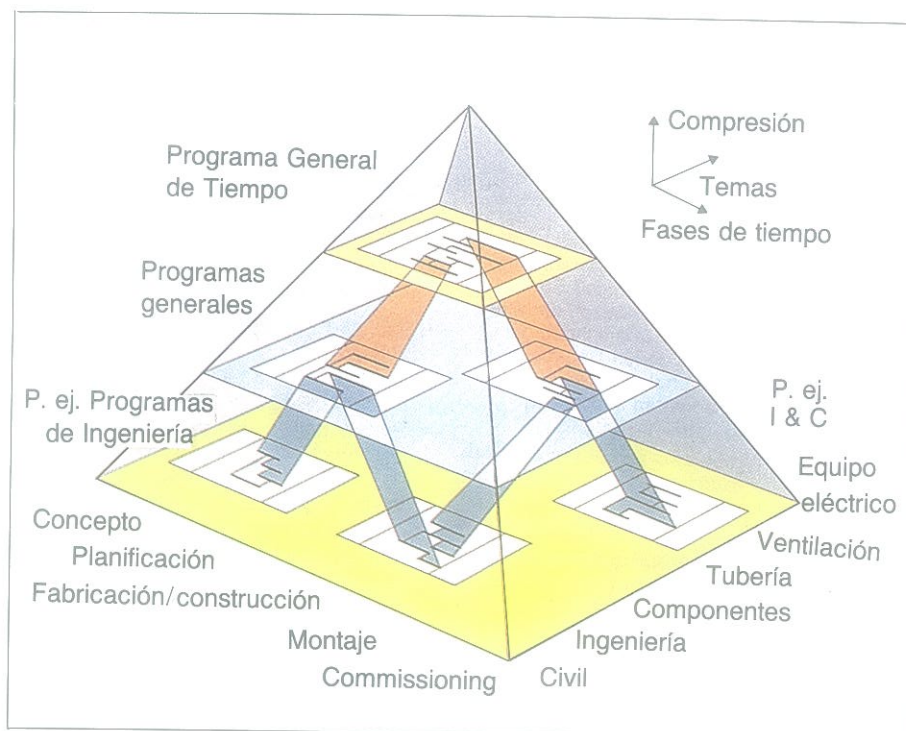
PROGRAMAS TEMPORALES

Los programas de tiempo para las dos fases del proyecto, planificación y ejecución en el emplazamiento resultaron ser tan importantes como los planes secuenciales de trabajo.

Además del programa total de tiempo (Programa General de Proyecto) situado en la parte alta de la "pirámide de programación" (figura II), se prepararon 11 programas que cubrían un total de aproximadamente 900 actividades solamente para la fase de planificación. También fue necesario preparar programas separados de fabricación para ciertas operaciones, tales como fabricación de equipo.

Los programas para suministros de material y prefabricación de tubería cubrieron, además, 400 actividades aproximadamente.

Para toda la programación se utilizó el



F II Los programas de tiempo están dispuestos de forma jerárquica. El Programa General de Tiempos, situado en la parte superior, está seguido de programas generales en la fase de planificación y en la fase de ingeniería (p. ej., para fabricación de equipo).

sistema RTP de planificación asistida por ordenador, desarrollado por S/KWU para planificación de proyectos y empleado con éxito en numerosas ocasiones.

Además de una unión selectiva de actividades específicas a fechas clave, este sistema es capaz de comparar las condiciones especificadas con las condiciones reales.

Sobre la base de los programas realizados con el sistema RTP, el estado de la planificación fue constatado en reuniones mensuales, discutido con los subcontratistas individuales y explicado a la propiedad de la central.

La programación de la fase de ejecución fue realizada utilizando una versión del programa RTP con la que se puede programar intervalos de tiempo muy pequeños, incluso de dos horas.

En esta fase también existía un Programa General de Tiempos situado en la parte superior de la "pirámide de programación" con 2.000 actividades incluidas en 22 programas de detalle. En un tercer nivel, estos programas se suplementaron con programas de trabajos redactados con poco tiempo de anticipación en el emplazamiento.

PLANES SECUENCIALES DE TRABAJO

Los planes secuenciales de trabajo fueron unos documentos clave para todas las actividades realizadas en el emplaza-

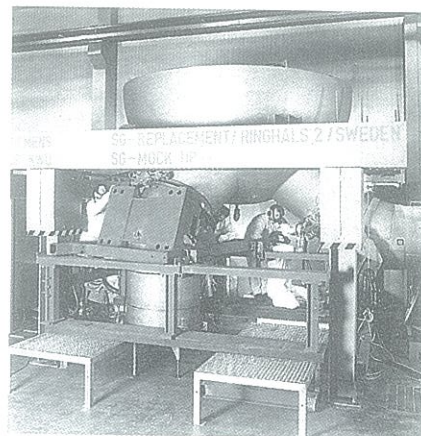
miento y listan, en una secuencia lógica, todos los trabajos a realizar en los tres GGVV. Estos planes cubrieron alrededor de 6.000 actividades y, junto con la documentación de referencia, como son planos, procedimientos de trabajo y descripciones de equipos, llenaron 25 archivadores.

El sistema de planificación RTP fue también utilizado para la planificación de recursos tales como despliegue de personal, maquinaria y equipos, así como para establecer una correlación entre la dosis absorbida y las actividades específicas a realizar.

Al igual que en la planificación y control de las actividades de ingeniería, en este caso se pudo hacer una comparación entre las condiciones especificadas y las condiciones reales.

ENTRENAMIENTO DEL PERSONAL

Se construyó una maqueta a escala natural en la parte inferior del GV con los obstáculos circundantes en el cubículo, con objeto de probar la operación de máquinas y equipos y para entrenar al personal de campo bajo condiciones reales (figura III). La maqueta proporcionó una simulación real en todas las situaciones en las que se encontrarían el hombre y la máquina "in situ". Un total de 20 torneros, 30 soldadores y 20 operadores de manipulador recibieron entrenamiento en la maqueta mencio-



F III Maqueta a escala natural de la parte inferior de un GV utilizada para la simulación real del trabajo a realizar en el emplazamiento.

nada, con una duración de hasta dos semanas en Erlangen, en las siguientes actividades:

- Fresadoras circunferenciales portátiles.
- Equipo de descontaminación.
- Máquinas de soldadura.
- Instalaciones para transporte de codos del sistema de refrigeración del reactor.

Esta fase de entrenamiento y cualificación tuvo una duración de cuatro meses.

También se utilizó otra maqueta a escala natural de la pared de hormigón de la contención, situada en Ringhals, y fue usada 12 meses antes de realizar la sustitución real, con objeto de entrenar al personal en la realización del corte de la abertura de acceso al interior del edificio de contención. Esta maqueta sirvió también para cualificar los equipos y los procedimientos de taladrado del hormigón, corte del revestimiento y realizar los agujeros para montar de nuevo la armadura.

GARANTIA DE CALIDAD Y CONTROL DE CALIDAD

La totalidad del Control y la Garantía de Calidad la realizó de una forma centralizada S/KWU. Esto se aplicó igualmente al suministro y fabricación de los GGVV y a las fases de planificación y ejecución en el emplazamiento.

Antes del comienzo de la planificación real se preparó un Programa de Garantía de Calidad específico del proyecto, que cubría todos los suministros y servicios. Se asignó personal de los departamentos de QA al equipo de planificación que trabajó especialmente en la generación de la documentación de revisión de diseño para el licenciamiento. Se realizaron auditorías internas y a los subcontratistas participantes, con el fin de ase-

gurar unas operaciones sin complicaciones entre todas las partes involucradas.

Dentro del alcance de la Garantía de Calidad en el emplazamiento, S/KWU realizó también los exámenes no destructivos, cumplimentando la documentación necesaria de todas las compañías participantes. Esta documentación directa durante el proceso demostró que es altamente eficaz. Por ejemplo, tan pronto como la soldadura final de un sistema había sido sometida a ensayos no destructivos, este sistema podría ser autorizado para realizar la prueba de presión o para su llenado con agua.

SUSTITUCION REAL

Todas las operaciones ejecutadas en el emplazamiento se realizaron de acuerdo con el programa. La parada de la planta tuvo lugar el día 11 de mayo, y a las 6 de la tarde del día 22 de julio de 1989, de acuerdo con el compromiso contractual, la planta se entregó a Statens Vattenfall para que procediera a la recarga del núcleo. Durante este período de tiempo se habían realizado pruebas de presión parciales de todos los sistemas de tuberías del lado secundario implicados, y el llenado del sistema primario había comenzado el día 20 de julio.

Las compañías siguientes fueron subcontratadas para las operaciones de sustitución:

- Man GHH (desmontaje de los GGVV antiguos y montaje de los nuevos).
- Deutsche Babcock Werke (desmontaje y montaje de los tramos de tubería de los lados primario y secundario y preparación de bordes de la tubería del lado primario).
- NCC (ejecución y cierre de la abertura temporal en el edificio de contención).
- Kaefer (aislamiento térmico).

DESPLIEGUE DE PERSONAL

Para las operaciones de sustitución fueron necesarias entre 250 y 290 personas.

En general, el trabajo se realizó en dos turnos, excepto para los trabajos intensivos tales como soldadura de tuberías de gran diámetro y ensayos no destructivos, que se realizaron en tres turnos.

El equipo de dirección de obra (director de obra, supervisores de turno, director de QA, etc.) comprendía una media de 60 personas, incluyendo ocho personas procedentes del equipo de planificación. Este equipo se encargaba de las actividades diarias de ingeniería y de resolver cualquier problema o de tomar acciones correctoras en el caso de que aparecieran pequeños cambios en el programa.

TRANSPORTE DE LOS GGVV

A continuación se enumeran las instalaciones que fueron esenciales para la realización del transporte en obra de los GGVV:

- Grúa de caballete.
- Carriles de transporte hasta el interior de la contención.
- Soporte central de volteo en el interior de la contención.
- Equipo de tracción (push-puller).
- Abertura temporal de transferencia en la contención (realizada debido a que la exclusiva de equipos tenía un tamaño insuficiente).
- Unidad de elevación auxiliar para la grúa polar (debido a que la altura del gancho del carro de la grúa existente era insuficiente).

La grúa de caballete y los carriles de transporte exteriores a la contención se montaron enfrente de la abertura proyectada en la pared del edificio de contención durante el mes de abril antes de la parada de la planta.

El trabajo de montaje de los equipos auxiliares restantes y de la abertura temporal en el muro de la contención comenzaron el día 11 de mayo, inmediatamente después de la parada de la planta.

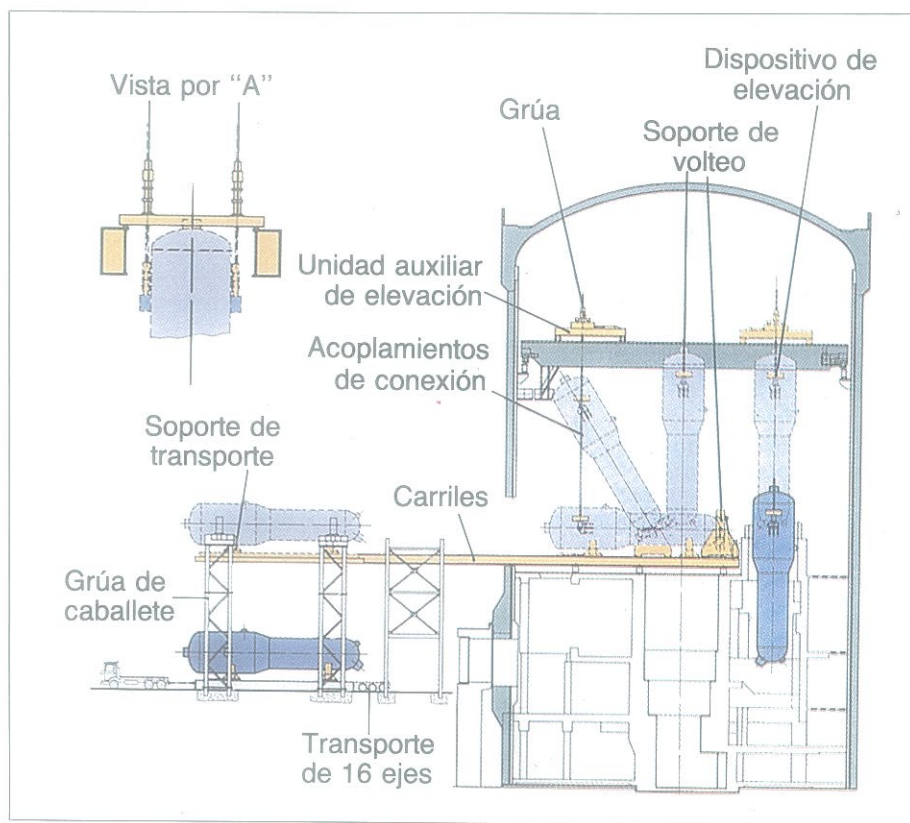
La central de Ringhals 2 tiene una contención de hormigón pretensado con un revestimiento de acero embebido, y, por tanto, fue necesario cortar inicialmente los cables de tensión horizontales y verticales en la zona de la abertura de transferencia.

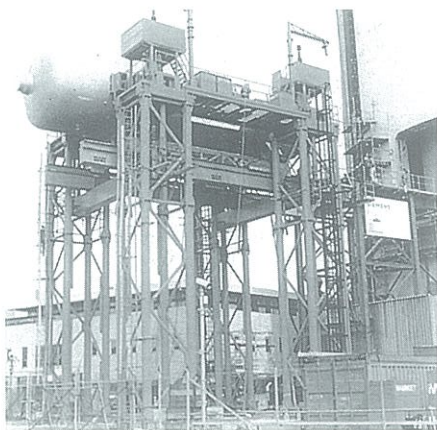
Posteriormente se taladró un bloque de $6,20 \times 7,6$ m de hormigón, con un peso de 130 toneladas, cortándose a continuación el revestimiento mediante soplete y procediéndose a la descarga del bloque de hormigón utilizando los carriles y la grúa de caballete para su descarga.

La secuencia de operaciones para el transporte de los GGVV, resumida en la figura IV para el caso de un GV nuevo, fue la siguiente:

- Transporte mediante trailer a la posición de la grúa de caballete.
- Elevación mediante grúa hasta la cota +15 m (figura V).
- Transferencia sobre carriles a través de la abertura temporal hasta el interior de la contención.
- Volteo con la ayuda de la unidad de elevación auxiliar instalada en la grúa polar del edificio y el soporte central del volteo (figura VI).
- Alineamiento sobre el alojamiento del GV usando la grúa polar.
- Descenso hasta la posición final.
- Desacoplado del mecanismo de elevación.

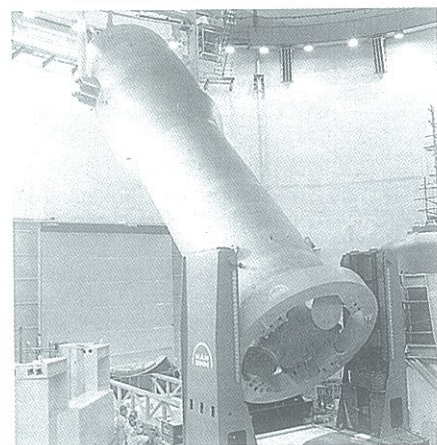
F IV Transporte de un GV nuevo hacia el interior del edificio del reactor.





F V Elevación de un GV nuevo mediante la grúa de caballete hasta la cota +15 m. Posteriormente se transporta hasta el interior del edificio del reactor sobre carriles.

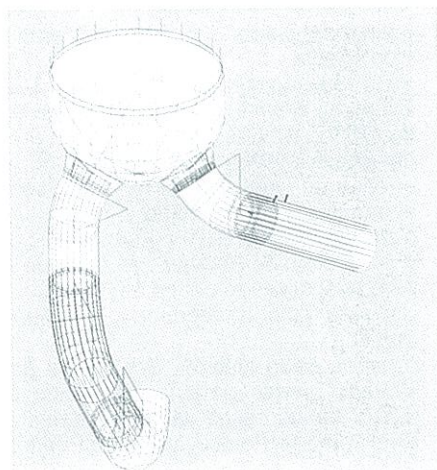
F VI Volteo de un GV utilizando la unidad auxiliar de elevación situada sobre la grúa polar y el soporte de volteo.



TECNICAS DE MEDIDA

Con objeto de obtener las medidas exactas del área de soportes de los GGUV y de la zona de conexión de los

F VII Después de un estudio fotogramétrico ejecutado durante una recarga anterior, se generaron modelos de CAD para asegurar un montaje óptimo de los codos de entrada y salida del GV.



GGVV con los lazos del sistema primario, se utilizaron dos técnicas de medida: fotogrametría y medida óptica.

Durante la inspección planificada, efectuada durante la recarga del año anterior, se midieron mediante fotogrametría las condiciones de montaje y sus resultados se utilizaron como base para la posterior planificación (figura VII). La medida óptica se utilizó para realizar las medidas preliminares de las partes nuevas (GGVV, codos de los lazos, etc.) y para realizar medidas durante las operaciones de sustitución. Se utilizó, por ejemplo, para establecer la posición de los bordes de soldadura ya preparados, de las toberas del GV y de las secciones restantes de las tuberías de los lazos. Estos resultados se usaron como base para el mecanizado de los extremos de los codos.

MECANIZADO

Se utilizaron fresadoras circunferenciales portátiles especialmente modificadas para realizar dos tareas diferentes: corte de los codos antiguos de entrada y salida pertenecientes a la rama caliente y a la rama intermedia, respectivamente, y para preparación de bordes de las restantes secciones de tubería.

El acabado de los nuevos codos de entrada y salida fue ejecutado mediante una máquina con control numérico y, como se ha mencionado anteriormente, después de la medida precisa de los bordes de las toberas de los nuevos GGUV y de los bordes de las tuberías de los lazos.

SOLDADURA

Los nuevos codos de entrada y salida situados entre las toberas del GV y las líneas del sistema primario se fabricaron de material austenítico 316 NG (diámetro exterior, 900 mm, y espesor hasta 93 mm). Se soldaron utilizando una técnica de soldadura desarrollada por S/KWU (Pulsed GTAW narrow gap).

El volumen de material depositado es considerablemente menor que el requerido con los métodos convencionales; los tiempos de soldadura y las tensiones residuales son mínimas (figura VIII).

El pequeño volumen de metal soldado también reduce el riesgo de defectos. No se encontraron defectos en ninguna de las 12 soldaduras de los codos del primario realizadas durante la sustitución en Ringhals 2.

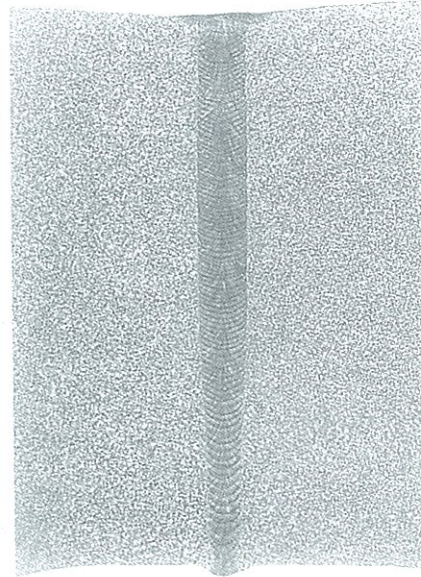
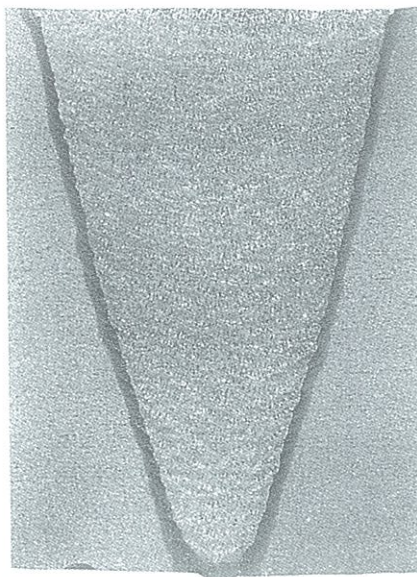
S/KWU había utilizado esta técnica de soldadura con éxito en el pasado. Fue utilizada por primera vez en 1985, durante la sustitución parcial de los lazos de recirculación en la central de Sta. M.^a de Garoña, en España, y durante la sustitución de los lazos de recirculación en la central de Mühleberg, en Suiza, así como para la soldadura de tuberías en las centrales de nueva construcción.

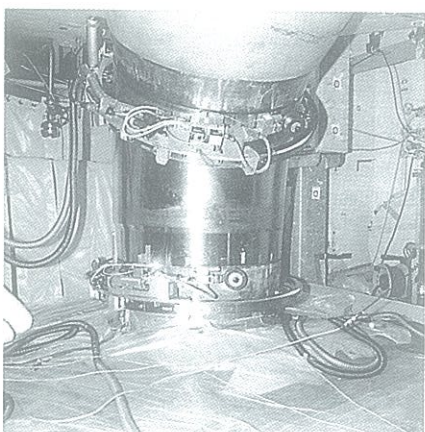
Los cabezales especiales de soldadura de ranura estrecha para tuberías de hasta 1.200 mm de diámetro permiten soldar bordes con una ranura de sólo 7 mm de anchura (figura IX).

La operación de soldadura puede controlarse y vigilarse a una distancia de hasta 65 m con la ayuda de dos videocámaras integradas en el cabezal de soldadura (figura X).

Los métodos de soldadura convencional

F VIII Comparación de soldaduras en una tubería con un espesor de 90 mm; la soldadura de ranura estrecha (derecha) tiene solamente 1/5 del volumen de la soldadura convencional (izquierda), siendo el tiempo de soldadura considerablemente inferior.





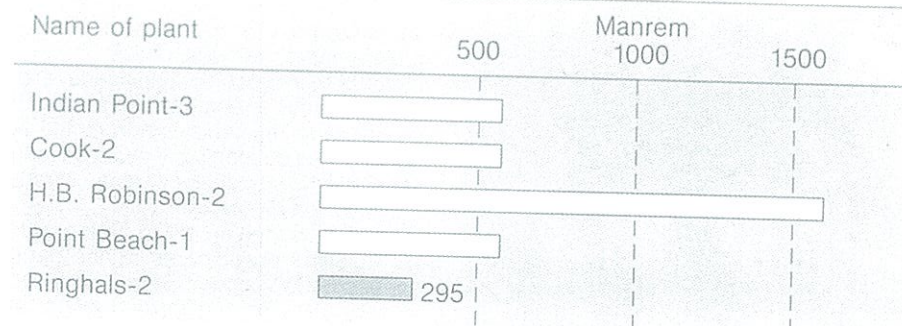
FIX Dos cabezales orbitales de soldadura manejados por control remoto en operación en Ringhals 2. La soldadura de ranura estrecha reduce drásticamente el tiempo de soldadura y la automatización del proceso asegura un alto grado de calidad.

se utilizaron para soldar tubería del primario de pequeño diámetro y para toda la tubería del secundario.

DESCONTAMINACION

Inmediatamente después de desmontar y sacar de la contención los GGVV antiguos se procedió a descontaminar el interior de la tubería del sistema primario mediante un proceso de electropulido hasta una profundidad de 600 mm, medidos desde los cortes efectuados para el desmontaje.

El método aplicado y los manipuladores empleados habían sido ya utilizados con



F XI Dosis colectiva absorbida durante la sustitución de los GGVV de Ringhals comparada con otros casos. El resultado ha sido una mínima exposición a la radiación.

éxito en la sustitución de los GGVV de la central de Obrigheim y durante la sustitución parcial de los lazos de recirculación de la central de Sta. M.^a de Garoña. En Ringhals 2, los manipuladores de descontaminación fueron ligeramente modificados. Mediante este procedimiento se redujo drásticamente el nivel de radiación. Después de la descontaminación y de la instalación de tapas especiales, la dosis local en la zona del eje de la tubería del primario había descendido de un valor original de hasta 100 mSv/h a sólo 0,5 mSv/h.

EXPOSICION A LA RADIACION

La exposición a la radiación del personal de campo fue considerablemente menor que la calculada, y fue el resultado del trabajo de descontaminación.

La dosis colectiva medida fue de 2,95 Sv, de los cuales 2,75 Sv fueron absorbidos por el personal de montaje de S/KWU, incluyéndose en este valor las operaciones de exámenes y mediciones (figura XI).

RESUMEN

La sustitución de GGVV en la central de Ringhals 2 ha demostrado que los GGVV de S/KWU pueden instalarse fácilmente en cualquier tipo de central, aunque no sean propias, debido fundamentalmente a la versatilidad de su diseño. La sustitución también mejora el rendimiento de la central, ya que durante los últimos 17 años (con una experiencia acumulada de 460 años de operación), los GGVV de S/KWU han logrado una operación con un alto rendimiento gracias a la baja humedad residual del vapor principal, alta capacidad de transferencia de calor y su alta fiabilidad, lo que contribuye a una apreciable mejora de la disponibilidad de la planta.

El corto período de tiempo necesario para la sustitución (solamente 72 días desde la parada de la planta hasta el inicio de la recarga del reactor) es el resultado de un profundo trabajo de planificación, un exhaustivo entrenamiento del personal y de una programación exacta.

En 1993, las centrales de Doel 3, en Bélgica, y Beznau 1, en Suiza, sustituirán los GGVV. Ambos contratos fueron adjudicados a S/KWU a lo largo de 1990. En el caso de Doel 3, S/KWU actúa como contratista llave en mano para el suministro de los tres GGVV y su sustitución, y, en el caso de Beznau 1, el contrato es para la sustitución de los GGVV, que se realizará bajo un consorcio Siemens/Sulzer.

Además de lo anterior, S/KWU ha presentado ofertas para la sustitución de GGVV en los casos de las centrales de Doel 2, Indian Point 3, Millstone Point 2 y Beznau 2.

F X Equipo de operación en la sala de control de las máquinas automáticas de soldadura durante la soldadura de ranura estrecha de la tubería del sistema primario de Ringhals 2.

