



H. WILLE es Ingeniero Químico por la Universidad Técnica de Isny, RFA. En la actualidad es supervisor de descontaminación, limpieza química y tecnología de superficie.

DESCONTAMINACION DE SISTEMAS Y DE PIEZAS

H. WILLE - H. O. BERTHOLDT - C. RUA

INTRODUCCION

En el marco de las inspecciones y reparaciones está creciendo la importancia de la descontaminación, debido a que por una parte está aumentando la edad de las centrales nucleares, y por otra aparecen requisitos de inspección adicionales. Las dosis de exposición, cada vez más elevadas, para el personal de operación y de reparación, exigen acciones intensificadas para lograr la reducción de las mismas. Un posible enfoque es descontaminar los componentes de la planta, o aún mejor, sistemas y lazos completos. Por otra parte, la descontaminación de un sistema o de un lazo del primario completo es en parte más fácil que la limpieza de un componente aislado. Dado que SIEMENS está en condiciones de aplicar diversos procesos de descontaminación, según puede verse en la tabla I, existe siempre un proceso individual o una combinación de procesos que per-

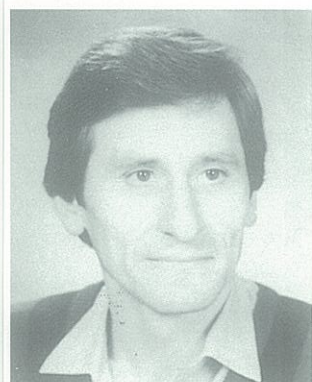
mite satisfacer los requisitos específicos de cada trabajo de descontaminación.

A título de ejemplo vamos a explicar dos trabajos realizados en 1986.

DESCONTAMINACION DE SISTEMAS

SELECCION DEL PROCESO DE DESCONTAMINACION

Para descontaminar un sistema completo, es obvio que el proceso que hay que aplicar debe ser un proceso del tipo "blando", de baja concentración. La utilización de un proceso de elevada concentración de productos químicos, como sería el MOPAC, que se emplea para la descontaminación de piezas desmontadas (factor de descontaminación superior a 100 para bombas del primario), daría lugar a una cantidad de residuos demasiado elevada.



H. O. BERTHOLDT es Ingeniero Químico por la Universidad Técnica de Karlsruhe y doctor en Química del Agua por la misma Universidad. En la actualidad ocupa el cargo de jefe del Departamento de descontaminación, limpieza química y tecnología de superficie.



Carlos RUA MESTRES es Ingeniero Industrial (especialidad mecánica) por la ETSI de Barcelona. Ingresó en Siemens, S. A., en noviembre de 1970, participando en los proyectos de las centrales convencionales de Serchs y San Adrián I, II y III. A partir de 1978 se integra en la Oficina de Proyectos para la CN de Trillo I, pasando a partir de enero de 1986 a la sección de Servicios para Centrales Nucleares, de la División KWU.

TI

Proceso de descontaminación utilizados por Siemens UB KWU

PROCESO	MATERIALES	APLICACION
MOPAC	Aceros al cromo Materiales austeníticos Aleaciones de níquel	Partes estructurales, Componentes, subsistemas
CORD		Grandes componentes Sistemas
OZOX		
LOMI		Partes estructurales Componentes, sistemas
CAPA	Aceros sin aleaciones o con bajo porcentaje Aleación	
ELPO	Aceros con y sin aleaciones Aleaciones de níquel	Componentes, Partes accesibles de subsistemas
PROCESOS MECANICOS		

SIEMENS ha desarrollado el proceso OZOX para satisfacer los requisitos de reducir la concentración de productos químicos, y en consecuencia de los desechos producidos. El proceso utiliza solamente dos productos químicos esenciales, y es un proceso de reacción oxidante de pasos múltiples.

El proceso OZOX-A, que constituyó el primer paso de este desarrollo, utiliza como reactivo oxidante el permanganato potásico. Este proceso se utilizó para la descontaminación de partes del circuito primario del FR II en Karlsruhe (RFA) y de las cajas de agua de los generadores de vapor en Millstone II (USA), en 1983.

Otras investigaciones adicionales hechas recientemente condujeron a nuevas mejoras del proceso OZOX, dando lugar al recientemente desarrollado proceso CORD (proceso de descontaminación por reducción y oxidación química). Este desarrollo permitió reducir la concentración química (en total 2.000 ppm/ciclo), y por tanto la cantidad de residuos generados, permitiendo obtener una mayor eficacia (factores de descontaminación más altos). Un ciclo de descontaminación, que normalmente necesita de 7 a 10 horas, abarca los cuatro pasos siguientes:

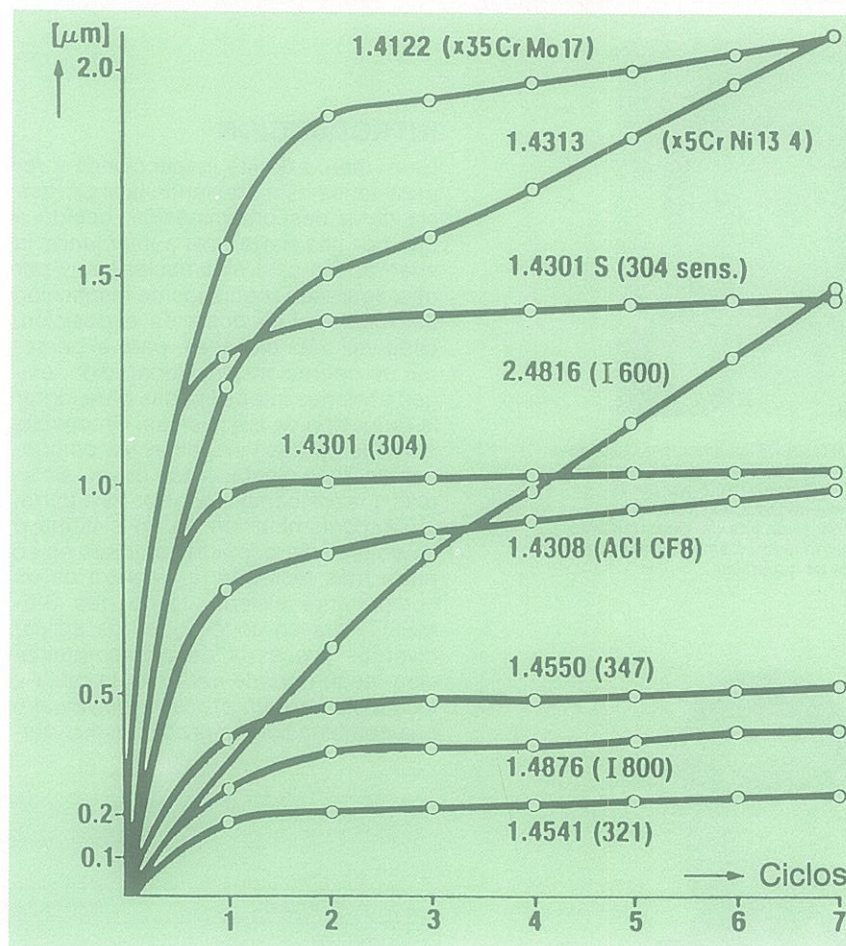
- Oxidación, mediante ácido permangánico producido in situ.
- Reducción del permanganato, con la cantidad estequiométrica de solución de ácido orgánico.
- Descontaminación, es decir, disolución y formación de complejos del óxido, mediante un exceso de ácido orgánico.
- Drenaje de la solución descontaminante hacia el sistema de residuos radiactivos para su evaporación o para la adsorción química de las sustancias radiactivas disueltas y de los productos químicos de descontaminación mediante resinas intercambiadoras de iones, que después se acondicionan para su almacenaje definitivo.

Las posibilidades de aplicación del proceso CORD, tanto para reactores de agua a presión como para reactores de agua en ebullición se demostró en probetas, que dieron unos factores de descontaminación excelentes (Tabla II), sin que se produjera ataque al metal en la superficie metálicamente limpia, incluso en presencia de superficies bastante desiguales y rugosas.

Extensos ensayos de compatibilidad de materiales permitieron hacer la siguiente afirmación de validez general: Los aceros al cromo, los materiales austeníticos, las aleaciones de níquel (Inconel 600 e Incoloy 800), así como el Zircaloy, resisten la corrosión si se exponen al proceso CORD, incluso durante 5 a 9 ciclos.

T II
Efectividad de la descontaminación con el procedimiento Cord

TIPO DE LWR	Tiempo de operación años	Material	ANTES DESCONTAMINACION		DESPUES CORD		Factor de descontaminación
			Dosis mSv/h	Actividad superficie (Co60) Bq/cm ²	Dosis mSv/h	Actividad por Superficie (Co60) Bq/cm ²	
PWR 1	7	AISI 304 $\approx$ 1.4301	2-5	(1-3) 10^5	> 0,02	(4 - 6) 10^2	> 200
PWR 2	1	1.4016	40-100	(1-4) 10^6	0,2-1,5	(4 - 9) 10^4	50-200
BWR 1	13	AISI 304	6-7	(3-4) 10^5	0,06-0,1	(0,2-14) 10^4	30-100
BWR 2	10	AISI 304 $\approx$ 1.4301	0,7-0,8	(3-4) 10^4	0,08-0,1	(2 - 4) 10^3	10- 20
BWR 3	9	1.4550	0,4-0,6	(2-4) 10^4	0,04-0,07	(3 - 5) 10^2	60- 80



F I Influencia del número de ciclos del tratamiento CORD en la pérdida de material

Las mediciones de grado de corrosión, hechas en probetas de metal europeo y USA no mostraron ningún ataque, y únicamente en el caso de la estelitas y en los plaqueados de cromo duro debe esperarse mayor rugosidad. Esto ha de evaluarse para cada aplicación en particular.

Como puede verse en la figura I, existe un grado de corrosión inicial debido a los óxidos que hay en la superficie, mientras que en una segunda fase casi

no se observa pérdida de metal. Solamente los materiales menos resistentes a la corrosión como son los materiales 1.4313 y el 2.4816 según DIN, tienen un grado de pérdida de material siempre superior.

APLICACION

El proceso CORD está siempre especialmente adaptado a las condiciones y requisitos de las centrales nucleares.

El volumen, la superficie y la estructura de los óxidos son decisivos para el tiempo de tratamiento y la concentración de los productos químicos.

La composición química exactamente determinada, que permite reducir al mínimo los residuos producidos, se ensaya primero en el laboratorio, y después en nuestro Equipo de Ensayo de Descontaminación (DETESTA), que sirve como enlace entre los ensayos con probetas y la aplicación en campo. Debido al hecho de que el proceso CORD es un proceso de ciclos múltiples, se tiene la posibilidad de ajustar el número de ciclos de descontaminación partiendo de los resultados de ensayo hecho sobre probetas. Como puede verse en la figura II, las dosis por unidad de tiempo después del 2.º ciclo ya son relativamente bajas. Como la cantidad de residuos generados es del mismo orden de magnitud para cada ciclo, vale la pena tratar con el cliente sobre la necesidad de efectuar un ciclo adicional.

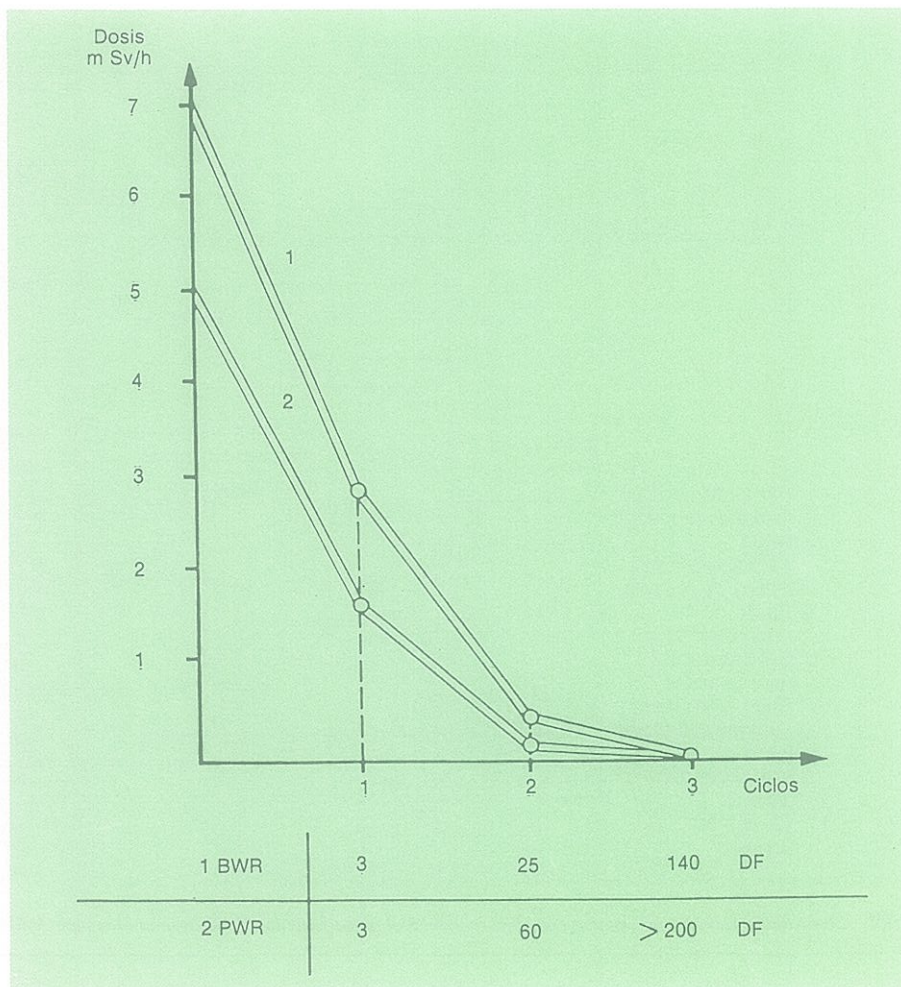
En principio el proceso de descontaminación para un sistema o un subsistema sigue la secuencia mostrada en la figura III. Después de llenar todo el circuito con agua desmineralizada, ésta se calienta a unos 95 °C antes de añadir el reactivo oxidante. Unas cinco horas después, y mediante la adición de un ácido dicarbónico, tal como el ácido oxálico, se efectúa en unas dos o tres horas la reducción del exceso de reactivo oxidante y de descontaminación. Debido a los productos químicos relativamente sencillos que se utilizan, el proceso se puede vigilar de forma continua, siendo de esta manera posible reaccionar rápidamente ante posibles variaciones, como por ejemplo de concentración química causada por un consumo superior.

Si no hay suficiente capacidad o no hay equipo adecuado en los sistemas de tratamiento de residuos radiactivos, entonces los efluentes de la descontaminación se pueden hacer pasar a través de intercambiadores de iones para obtener un agua que no necesite ningún tratamiento ulterior antes de su vertido, o que se puede utilizar para los ciclos de descontaminación siguientes. Debido a la concentración extremadamente baja de productos químicos (en total aprox. 2.000 ppm), la cantidad de resinas gastadas tiene importancia secundaria.

Si es factible, se recomienda un paso final de lavado con agua a alta presión de la zona descontaminada, con el fin de eliminar los óxidos sueltos que quedan adheridos.

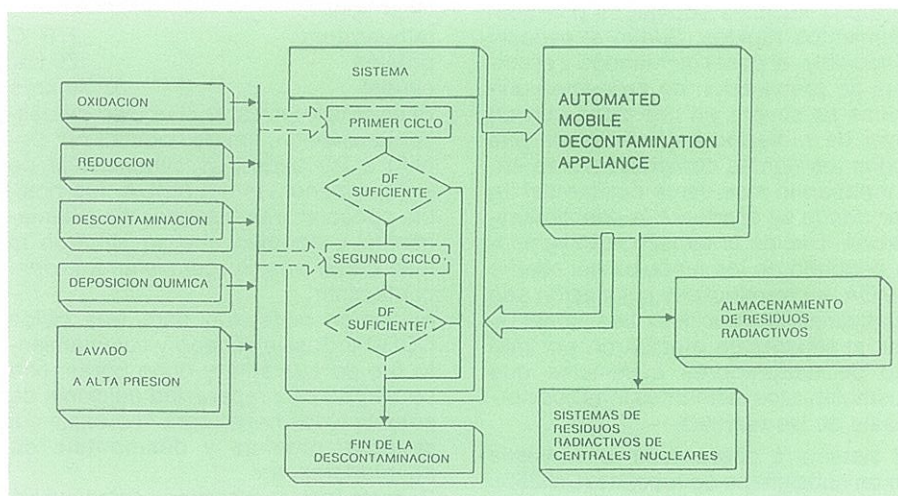
REALIZACION

En el otoño de 1986 se efectuó la descontaminación de un subsistema completo. En el reactor de agua en ebullición alemán, Isar I, se descontaminó



F II Influencia del número de ciclos CORD sobre la reducción de dosis por unidad de tiempo

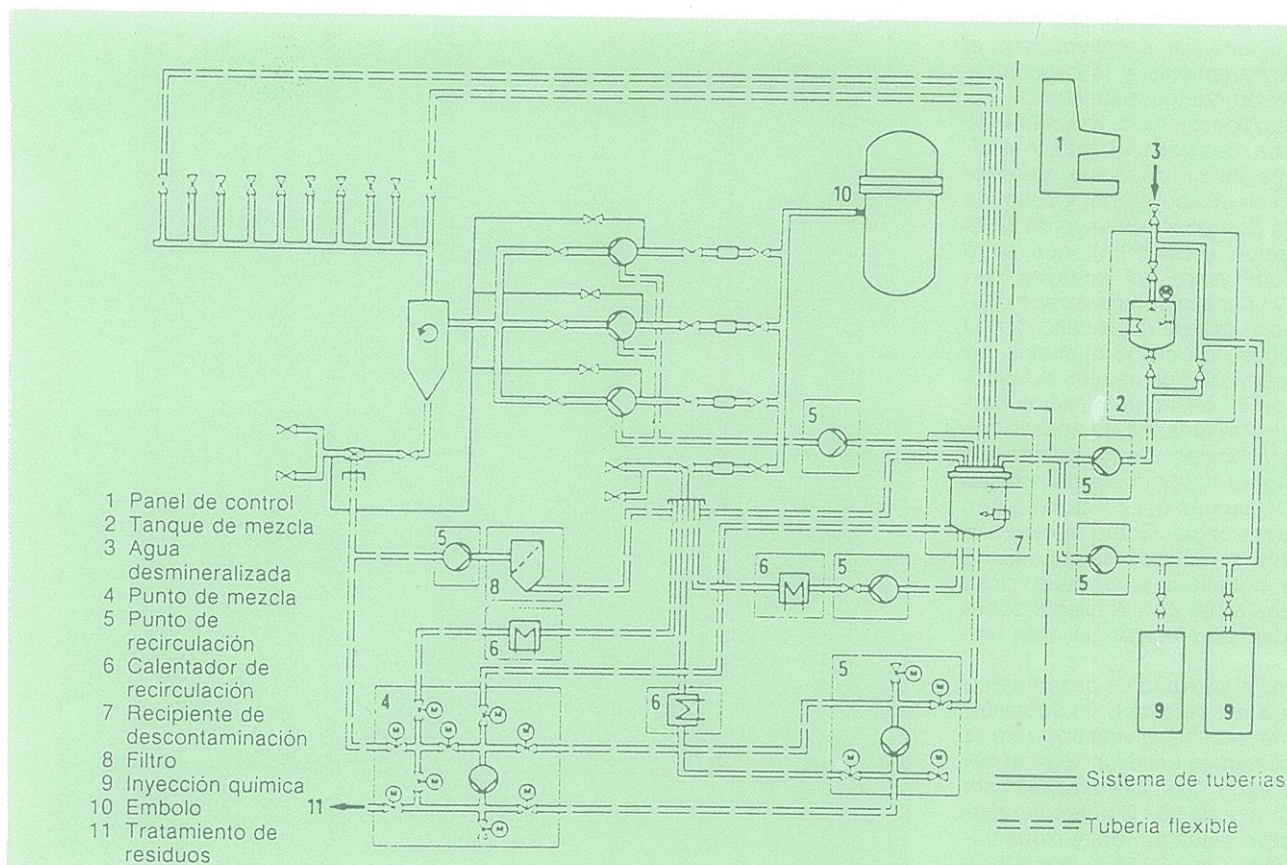
F III Secuencia del proceso de descontaminación de sistemas mediante el CORD



en una sola operación el sistema de suministro de agua de cierre de las bombas internas de flujo axial, que realizan la misma función que los lazos de recirculación de los reactores de agua en ebullición estadounidenses, con el fin de poder llevar a cabo trabajos de

reparación e inspección con niveles de radiación bajos.

Para la descontaminación mediante el proceso CORD, de un sistema completo o de un subsistema tal como son las cajas de agua de los generadores de vapor de un reactor de agua a presión, o los lazos de recirculación de un reac-



F IV Descontaminación de un sistema completo mediante el procedimiento CORD usando el equipo AMDA

tor de agua en ebullición, se utiliza el equipo AMDA. Tal como puede verse en la figura IV, todo el equipo es de control remoto y va conectado mediante tubos flexibles equipados con acoplamiento rápidos. Según el espacio disponible, el panel de mandos y el tanque de preparación de productos químicos se situará en una zona con un nivel de radiación bajo, mientras que todos los demás componentes se encontraban lo más cerca posible del lugar donde se efectuará la descontaminación. Debido al tamaño relativamente pequeño de los módulos del equipo AMDA, su transporte y colocación son relativamente sencillos. Las conexiones al sistema se efectuaron por medio de adaptadores especiales que sustituían a los elementos internos normales de las válvulas.

El sistema a descontaminar consistía en un subsistema de tuberías (DN 250), que conduce el agua desde la vasija de presión del reactor a tres circuitos de bombas en paralelo, a un ciclón para la separación de partículas y a un colector, con las correspondientes tuberías de conexión hacia las bombas de flujo axial. Aquí el agua sirve como líquido de cierre en los cojinetes. El sistema está equipado adicionalmente

con dispositivos de medida, filtros, válvulas, etc.

Las condiciones del sistema durante el funcionamiento normal de la central nuclear son:

temperatura 270 °C
 presión 70 bar
 caudal 35/70 kg/s

El volumen, inclusive el equipo de descontaminación, fue de unos 12 m³. Debido a las pequeñas dimensiones de los componentes del AMDA, fue posible conectar tres sistemas de calentamiento y bombeo que se situaron lo más cerca posible del sistema a descontaminar.

El tiempo necesario para tres ciclos CORD inclusive llenado y calentamiento fue de cuarenta y ocho horas, con un tiempo de preparación adicional de setenta y dos horas para el drenaje del sistema, montaje y desmontaje de adaptadores, etc.

Durante la descontaminación no surgió ningún problema y, en consecuencia, se terminó tal como se había planificado. La cantidad de actividad que se eliminó fue:

Ciclo	BQ	Ci
1	$48,3 \times 10^{10}$	(13)
2	$25,5 \times 10^{10}$	(6,9)
3	$7,1 \times 10^{10}$	(1,9)

Debido a esta eliminación de actividad, se redujo el nivel de radiación en los compartimentos del sistema en un factor de 6-8. Los factores de descontaminación para las mediciones de contacto en unos 20 componentes previamente determinados, tales como válvulas, filtros, bombas, tuberías hasta DN 250 y un ciclón, tenían una media de 18. Si no se incluyeran algunos puntos calientes que existen, este factor de descontaminación sería casi el doble. Factores de descontaminación individuales:

bombas	30
tuberías	10-40
ciclón de tuberías	10

La solución de descontaminación se drenó al sistema de tratamiento de residuos radiactivos líquidos, donde se trató en un evaporador.

La dosis de radiación recibida durante el montaje, descontaminación y desmontaje fue de 3.6 rem-hombre, que se produjo en su mayor parte durante la colocación de los adaptadores.

El cálculo de la dosis personal evitada para los trabajos de reparación e inspección fue de 30-40 rem-hombre.

DESCONTAMINACION DE PIEZAS CONTAMINADAS HASTA SU TRANSFORMACION EN CHATARRA CONVENCIONAL

FINALIDAD

Con relación a los trabajos de sustitución, un problema grave es la descontaminación de los componentes y materiales desmontados de las centrales nucleares.

En el reactor de agua en ebullición de Santa María de Garoña (España), se sustituyeron en 1985 parte de las tuberías y válvulas de recirculación (figura V).

En 1986 estas piezas tuvieron que descontaminarse hasta alcanzar los niveles de actividad que estipulan las autoridades, de acuerdo con las recomendaciones del ICRP, para poder utilizarlas como chatarra convencional.

Contaminación superficial (ensayos de frotis):

Contaminación BETA $\leq 3,7$ Bq/cm²
($\leq 10^{-4}$ μ Ci/cm²)

Contaminación ALFA $\leq 0,37$ Bq/cm²
($\leq 10^{-5}$ μ Ci/cm²)

Cantidad total estimada ≤ 74 Bq/g
($\leq 0,002$ μ Ci/g)

Las secciones de tubería desmontada tenían unos tamaños desde aprox. 0,5 hasta 3 m de longitud. El peso era de 0,3-2,5 toneladas/pieza, dando un total de unas 15 toneladas, con un superficie contaminada original que emitía una dosis por unidad de tiempo de aprox. 30.000 μ Sv/h. La superficie del metal presentaba grietas en las que se habían depositado los productos de corrosión radiactivos. Para satisfacer los niveles de actividad requeridos fue necesario eliminar las superficies del metal hasta una profundidad de unos 50 μ m, con el fin de eliminar todas las grietas.

Otro requisito adicional impuesto por las autoridades fue que el tratamiento no debía dañar el material base de las diversas soldaduras, las cuales debían ser examinadas posteriormente en su estado original.

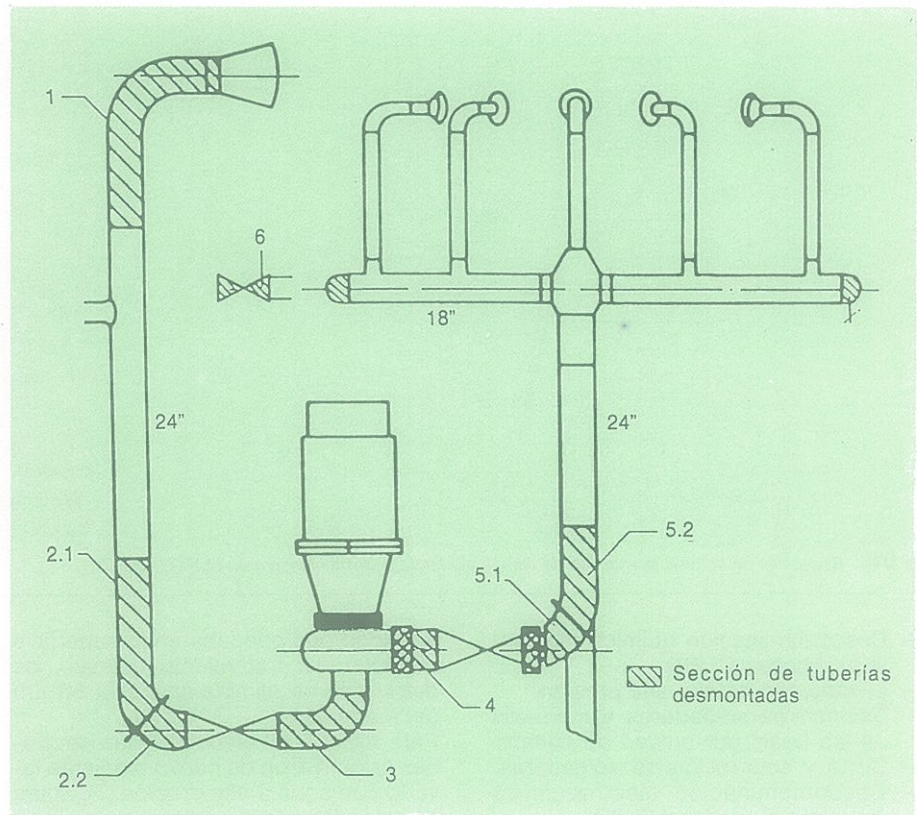
INGENIERIA DE PROCESO

El proceso se seleccionó basándose en los requisitos siguientes:

- Exposición personal mínima.
- Reducida producción de residuos.
- Descontaminación para conservación de las soldaduras (sin ataque del metal base).
- Descontaminación hasta chatarra convencional.

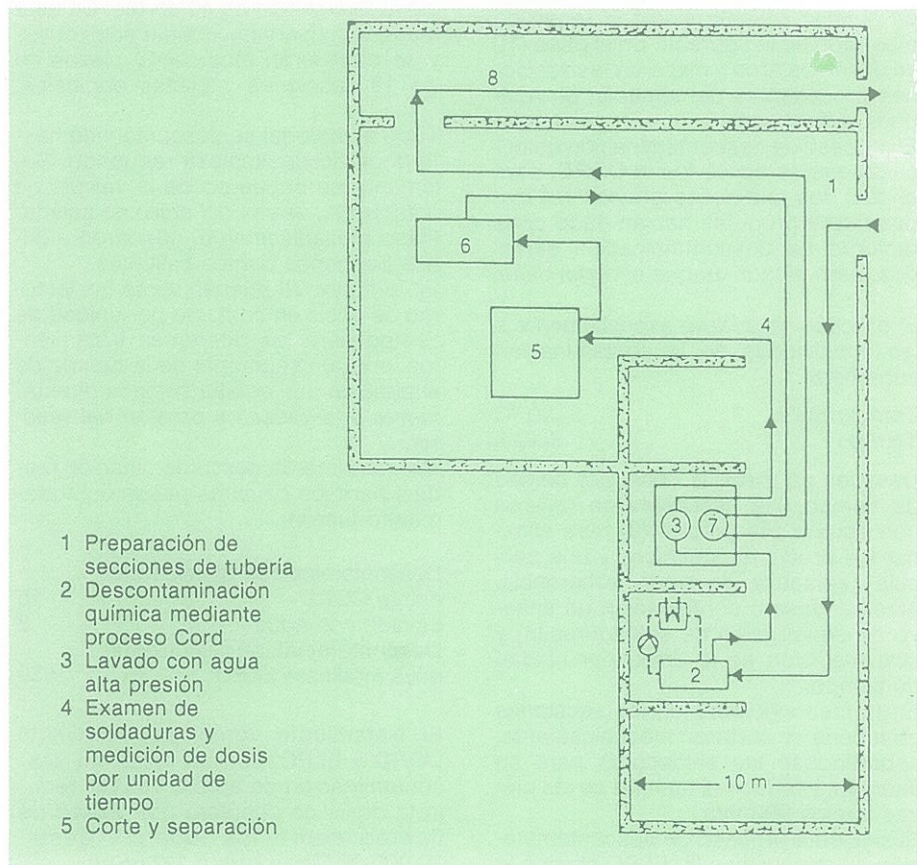
Esto dio lugar a las siguientes secuencias de trabajo:

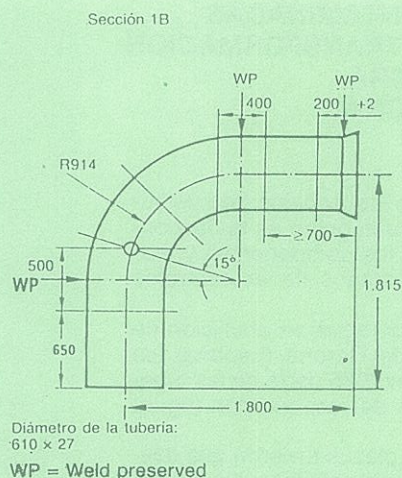
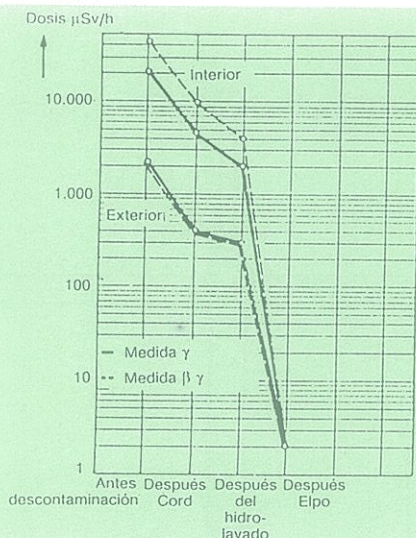
- Preparación de las secciones de tubería.



F V Secciones de tubería que fueron desmontadas en Sta. María de Garoña

F VI Taller caliente con la secuencia de los trabajos de descontaminación mediante CORD y ELPO





F VII Reducción de la dosis por unidad de tiempo mediante la descontaminación CORD y ELPO

- Descontaminación química mediante el proceso CORD.
- Lavado con agua a alta presión.
- Examen de soldaduras y medición de las dosis por unidad de tiempo.
- Corte y separación de soldaduras.
- Descontaminación electroquímica mediante el proceso ELPO.
- Lavado con agua a alta presión.
- Medición de la dosis por unidad de tiempo.

El manejo de las secciones de tubería en el taller caliente siguió el recorrido mostrado en la figura VI. En el paso (1), se desembalaron y midieron las secciones procedentes del almacén de residuos radiactivos.

El proceso de descontaminación química (2) que se aplicó fue el CORD, para el cual, los exámenes previos realizados sobre probetas habían dado unos factores de descontaminación elevados, pero ningún ataque al metal base.

El proceso se adaptó especialmente a las condiciones de la contaminación superficial:

Temperatura > 90 °C
Tiempo 6-12 h

Después de medir la dosis por unidad de tiempo, las secciones se lavaron con agua a alta presión (3) para eliminar los productos químicos y una película radiactiva de poca adherencia, efectuándose a continuación un ensayo de penetración de soldaduras (4) y otra medición de la dosis por unidad de tiempo.

En la fase siguiente (5), las secciones de tubería se cortaron mecánicamente, separándose las soldaduras para su examen, y reducir el tamaño de las piezas a unos 900 mm.

El siguiente proceso de descontaminación electroquímica (6) ELPO eliminó la

actividad que quedaba en la superficie después del tratamiento químico, es decir, que se eliminaron hasta 50 μm del metal base.

Para eliminar el electrolito, las secciones se limpiaron de nuevo mediante lavado con agua a alta presión (7), antes de enviarlas a la medición final para su aceptación (8).

RESULTADOS

La realización del trabajo descrito exigió la realización de 40 cortes. De esta manera conservamos siete soldaduras y se obtuvieron más de 40 piezas de las 16 secciones y piezas originales.

Todo el material se descontaminó hasta el grado de limpieza requerido. Solamente en el cuerpo de la válvula de compuerta, detrás del anillo de asiento fijado mecánicamente, quedaron algunos pequeños puntos calientes.

En la figura VII pueden verse las lecturas de dosis en contacto por unidad de tiempo para los diferentes tratamientos, para un segmento de la tubería de aspiración que estaba soldada directamente a la vasija de presión del reactor.

Los factores de descontaminación medios para los distintos pasos del tratamiento fueron:

Descontaminación química mediante CORD	15
Lavado con agua	3
Descontaminación electroquímica mediante ELPO	550

El tratamiento combinado mediante CORD y ELPO, con un factor de descontaminación de aprox. 15.000, redujo la dosis de contacto por unidad de tiempo sobre las tuberías desde 10.000-30.000 μSv/h a 1-2 μSv/h.

La contaminación superficial medida en todas las piezas aceptadas fue:

Beta	< 3,7	Bq/cm ²
Alfa	< 0,37	Bq/cm ²
Contenido total de actividad	< 74	Bq/g

La cantidad de residuos producidos con la descontaminación fue:

- 100 m³ de residuos líquidos, de CORD.
- 2 m³ de residuos líquidos, de ELPO.
- 1 bidón con filtros mecánicos.

El residuo líquido se drenó al sistema de tratamiento de residuos líquidos para su evaporación. Dado que los productos químicos del tratamiento CORD se descomposieron para dar CO₂, fueron únicamente las sales procedentes del proceso ELPO las que contribuyeron al volumen de residuos, dando lugar a 180 kg de residuos radiactivos sólidos.

PERSPECTIVAS

Debido al aumento en el número y antigüedad de las centrales nucleares, se produce un incremento de dosis personal por unidad de tiempo para el personal de operación y reparación, lo cual entraña unos esfuerzos mayores para lograr reducir las dosis. Un posible enfoque para lograr este objetivo es el de descontaminar los componentes, o mejor aún, descontaminar sistemas y lazos completos. Por otra parte, se necesitan procedimientos con baja producción de residuos para descontaminar los componentes desmontados de las centrales nucleares, de modo que no sea necesario gestionarlos como residuos radiactivos.

Agradecemos las facilidades dadas por la CN de Isar I y Sta. María de Garoña, proporcionándonos los datos que nos han permitido preparar este artículo.