



Luis SORIANO MARTINEZ es licenciado en Ciencias Químicas por la Universidad Complutense de Madrid. Tras ampliar estudios en Alemania, entró en 1982 a formar parte del Equipo de Explotación de la Central Nuclear de Trillo, donde ha sido responsable del Servicio de Química, Protección Radiológica y P.C.I. hasta julio de 1990. Ha trabajado igualmente en la puesta en marcha de la CN. Grohnde (Alemania) desde agosto 84 a octubre 85. Actualmente es el Jefe de Control Técnico y Económico de la Central de Trillo.

Harald WILLE (ph D) es Ingeniero Químico por la Universidad de Karlsruhe. Actualmente dirige el departamento de descontaminación química y tecnología de superficies de Siemens AG/KWU.

DESCONTAMINACION DE BOMBAS DE REFRIGERANTE DEL REACTOR

H. WILLE - L. SORIANO

Cada vez son más importantes los esfuerzos dedicados en la industria nuclear a la reducción de las dosis de radiación derivadas de actividades de mantenimiento y reparación.

En este sentido se está prestando atención creciente a los procesos de descontaminación de componentes e incluso de sistemas completos, que en muchos casos puede resultar más sencilla que la aplicada sobre grandes componentes. Para la utilización rutinaria de los procesos de descontaminación es necesario que no tenga impacto significativo sobre el camino crítico, que genera un volumen aceptable de residuos y que lógicamente permita obtener unos rendimientos altos de descontaminación.

No hay un proceso de descontaminación

que pueda ser universalmente utilizado, siendo preciso un análisis previo que contemple los siguientes aspectos:

- Materiales (aceros austeníticos, aceros al carbono).
- Origen de la contaminación (condiciones durante operación; caliente - frío).
- Condiciones constructivas e ingenieriles.
- Posibilidades de tratamiento de residuos radiactivos y especificaciones aplicables.

Para cumplir con todos estos requerimientos, Siemens ha desarrollado diversos procesos de descontaminación. Siempre es posible la aplicación de un

TI

APLICACION DE LOS PROCESOS DE DESCONTAMINACION DE SIEMENS AG KWU

Aplicación	Materiales	Proceso
Componentes: BRR's, Cambiadores de calor partes de componentes.	Inoxidables Aleaciones con base de Ni	MOPAC 88 CORD
Componentes: Partes accesibles, finales de tubería, válvulas, etc. Reciclaje, almacenamiento final.	Aleaciones varias	ELPO Procesos Mecánicos
Subsistemas: Cámaras de agua GV's. Tuberías de recirculación. Purificación de piscina combustible, etc.	Inoxidables Aleaciones con base de Ni	CORD LOMI
Sistemas Completos: Lazos de PWR. Sistemas nucleares en BWR.	Todos los materiales	CORD LOMI

El Grupo de Trabajo n.º 7 de "Residuos y Descontaminación" de la Comisión Técnica de la SNE ha solicitado al autor que elabore este artículo, como parte de la labor de divulgación de experiencias de descontaminación que se llevan a cabo con este tipo de proceso.

proceso individual o combinación de procesos que satisfaga las necesidades específicas de la tarea de descontaminación planteada (tabla I). Durante la recarga de 1989 de la Central Nuclear de Trillo donde fue necesaria la inspección de una bomba principal, se seleccionó el proceso de descontaminación MOPAC 88. Además, y utilizando el mismo equipo, se realizó la descontaminación de diversas válvulas del presionador.

EL PROCESO MOPAC 88

A la hora de seleccionar el proceso de descontaminación de un componente es necesario tener muy en cuenta la compatibilidad de los materiales en contacto con la solución descontaminante en orden de prevenir la posibilidad de daños ulteriores en operación de la planta.

Esto requiere amplias investigaciones, llevadas a cabo con especial cuidado para el desarrollo de los procedimientos aplicables que aseguren la calidad exigida.

Un objetivo que también hay que considerar es la minimización de la cantidad de residuos radiactivos generados. Los procedimientos de descontaminación actuales utilizan unas concentraciones extremadamente bajas de productos químicos y son aplicados en varios ciclos de corta duración en los cuales se introducen variaciones en la composición de los reactivos descontaminantes. De esta manera es posible adaptar el proceso de descontaminación a las condiciones y requerimientos del sistema o componente que se va a tratar.

Los resultados de la nueva tecnología en descontaminación son la obtención de mejores factores de descontaminación, tiempos más cortos de tratamiento y menos residuos líquidos.

Siemens realizó un avance en este sentido mediante la introducción del ácido permangánico como agente de preoxidación, procedimiento éste que ha sido patentado en el mundo entero. Por ejemplo, ~ 50 ppm de HMnO_4 son suficientes para oxidar el Cr (III) de la espinela Fe/Cr/Ni al Cr (VI) más soluble. El uso del ácido permangánico permite que no sea necesario consumir tiempo en pasos intermedios, ya que todo el proceso (preoxidación, reducción y descontaminación) se lleva a cabo con sólo un llenado del sistema. El ciclo completo se desarrolla ininterrumpidamente sin necesidad de cambios en la temperatura, etc.

Ambos procesos CORD y MOPAC 88 de Siemens utilizan ácido permangánico para la etapa de preoxidación.

Como se puede observar en la tabla II, junto a la baja generación de residuos líquidos hay también ventajas en los

T II

TIEMPO REQUERIDO Y RESIDUOS DE DIFERENTES PROCESOS DE DESCONTAMINACION

Proceso de descontaminación	Cantidad total de Sales (kg)	Solución Oxidante/Descontaminante (m^3)	Agua Aclarado (m^3)	Tiempo (h)
MOPAC	76,5	2	7	9-12
MOPAC 88	4,6	1	1,5	4-7
CORD	0,16	1	1	3-5

Base 1m^3 : Volumen del sistema.

Base 1: Ciclo de descontaminación.

Base —: La solución descontaminante se trata por evaporación.

T III

RESULTADOS CON MOPAC 88/CORD

Central nuclear Fecha	Número de bombas	Método de descontaminación Número de ciclos	Actividad eliminada (Bq/bomba)	Dosis máxima (mSv/h)	Promediado DF^*
KKP 2 05/88	4	MOPAC 88 2	1,2 E 11	35	81 79 51 34
KKG 06/88	3	MOPAC 88/CORD 4/5	4,3 E 11	500	165 161 204
KWO 06/88	2	CORD 4	2,4 E 11	300	27 29
KKI 2 12/88	1	MOPAC 88 1	0,3 E 11	12	61
KCB 02/89	1	MOPAC 88 5	22 E 11	900	175
KKP 2 05/89	1	MOPAC 88 3	2,0 E 11	37	26
KWW 05/89	1	CORD/MOPAC 88 5	1,7 E 11	450	34
KKG BAG 06/89	3	MOPAC 88 3	4,9 E 11	280	37 14 22
KKE 06/89	4	MOPAC 88 2 1	0,2 E 11	43	569 278 227 171
KBR 08/89	4	MOPAC 88 2	1,4 E 11	28	27 38 215 54
KKI 2 09/89	4	MOPAC 88 2	0,9 E 11	50	101 196 214 169
CT 1 10/89	1	MOPAC 88 3	2,3 E 11	52	80

Elementos de rotación completos (8-10 puntos de medición).



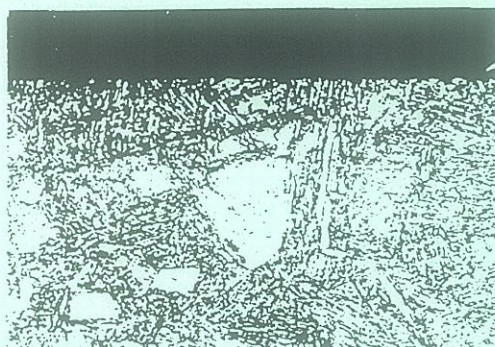
Antes de la descontaminación

Material: 1.4313

Estado de partida: Material forjado

Tratamiento térmico: —

Foto n.º: 88/354/23/4263 Aumentos: 200:1



Después de la descontaminación

Proceso utilizado: MOPAC 88

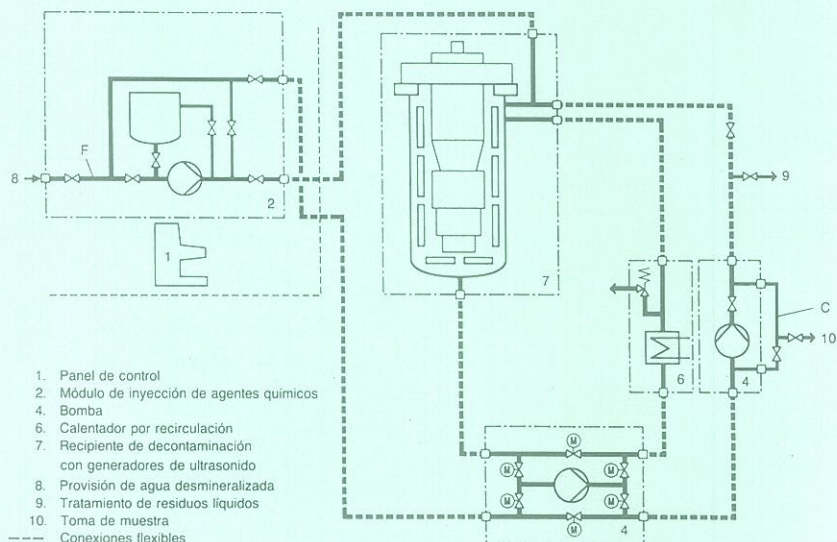
N.º de ciclos: 4

Resultado: Ninguna indicación

Foto n.º: 88/354/19/4259 Aumentos: 200:1

F I Compatibilidad de materiales. Evaluación metalográfica

F II Proceso de descontaminación de una BRR.



tiempos requeridos para un ciclo. Normalmente se aplican 2-3 ciclos de descontaminación para un componente o sistema.

DESCRIPCION DEL PROCESO

El proceso MOPAC 88 se desarrolló sobre el original y probado MOPAC

(Modified Permanganate Ammonium Citrate).

El MOPAC es un proceso de descontaminación potente basado en dos pasos que fue primeramente utilizado en 1976 para la descontaminación de las bombas de refrigerante del reactor de la Central PWR Biblis A. Desde aquel momento se ha aplicado a 109 BRR's, 21 bombas de reactores BWR y más de otros 50 componentes.

El primer paso del MOPAC consiste en la adición de una solución alcalina de permanganato que es recirculada sobre la superficie a tratar a una temperatura de 90°. Este paso de preoxidación es seguido por el paso de descontaminación actual a las mismas temperaturas. El paso de descontaminación implica la pérdida y parcial disolución de la capa de óxido que recubre el metal base. Después de completar este tratamiento ácido y aclarar con agua desmineralizada, los óxidos que todavía persisten adheridos suavemente a la superficie, se separan mecánicamente de ésta por medio de la acción de ultrasonidos. El tratamiento completo viene a durar unas 10 horas. El residuo generado se neutraliza mezclando las soluciones alcalina y ácida y posteriormente se tratan por evaporación.

MOPAC 88 fue comercialmente aplicado por primera vez en 1988 para descontaminar cuatro bombas del refrigerante del reactor de la Central PWR Philippsburg en la RFA. El uso del MOPAC 88 permitió reducir la cantidad de residuos generados en un 95%. Desde aquel momento ha sido utilizado con éxito en numerosas descontaminaciones (tabla III).

La composición química de la solución descontaminante no es siempre la misma, ya que el proceso se ajusta a los requerimientos específicos de la tarea de descontaminación que se presente. Para la química asociada a la descontaminación son importantes, el tipo de reactor, los materiales y recubrimientos como estelita, colmonoy, etc. Como generalmente es suficiente con aplicar pocos ciclos se trata de un método muy adecuado para aquellas descontaminaciones (bombas, cambiadores de calor, etc.) donde la rapidez y la efectividad son de gran importancia.

No se precisa un cambio de solución descontaminante ni aclarados intermedios entre los pasos de oxidación y descontaminación. Las ventajas son:

- Manejo rápido y sencillo.
- Se precisa menos tiempo.
- Se producen menos residuos líquidos.
- No se precisa un calentamiento adicional para el paso de descontaminación.

MOPAC 88 se lleva a cabo a una temperatura de 95° C y en presencia de

oxígeno. Una presencia oxidante es requerida cuando se trata con capas de óxido de PWR y recomendada en BWR. Cuando se completa la descontaminación, los óxidos disueltos, la actividad y los productos químicos en solución son evacuados al sistema de tratamiento de residuos líquidos radiactivos. Aplicando 2-3 ciclos, se obtienen buenos factores de descontaminación.

Un ciclo MOPAC 88 consiste en 4-5 pasos discretos, todos aplicados a un llenado único de agua lo que minimiza la cantidad de residuos.

— Preoxidación

Debido a la presencia de cromo en estado de oxidación +3 en la película de óxido de espinela es preciso oxidar éste al estado +6 (más soluble) antes de proceder a su disolución. Esto se logra usando una solución diluida de ácido permangánico a una temperatura de 90-95° C.

— Reducción

Después de la preoxidación se tiene que eliminar el exceso de ácido previamente a la descontaminación. Durante el paso de reducción el agente oxidante es reducido químicamente por la solución descontaminante a una especie iónica. El ácido orgánico utilizado para la reducción se empleará también en el siguiente paso de descontaminación.

— Descontaminación

El paso de descontaminación está diseñado para disolver una porción de la película de óxido. El óxido contaminado es principalmente magnetita. Según se disuelven, los átomos metálicos del óxido se complejan por el agente descontaminante y de esta manera se mantienen en solución.

— Pasivación

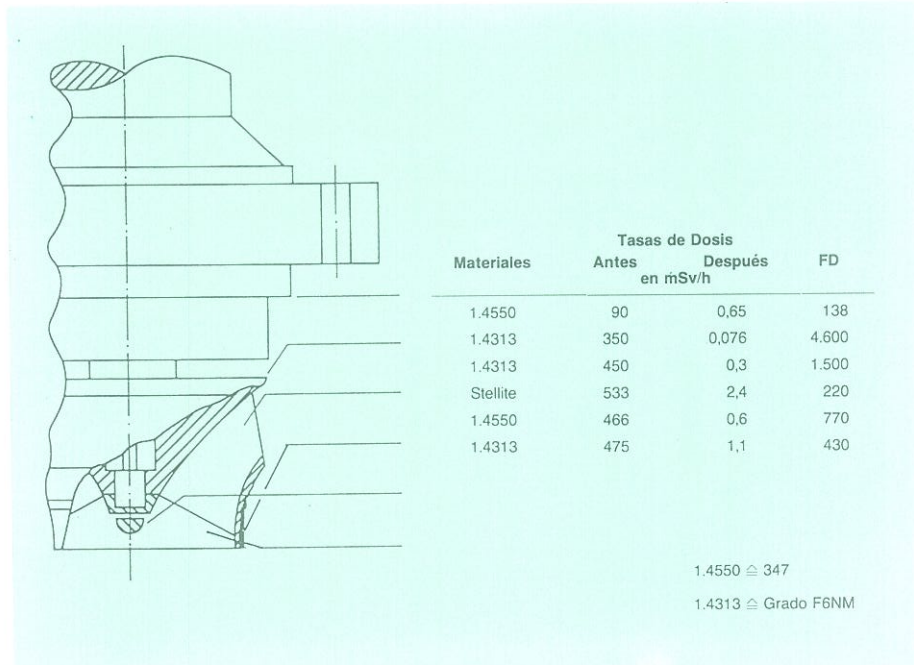
Se trata de la pasivación de la superficie mediante la adición de una solución pasivante al final del proceso de descontaminación.

— Lavado del Sistema

Los cationes, aniones, actividad y productos químicos en solución se descargan al Sistema de tratamiento de residuos radioactivos de la Central. Después de la descarga se lava el circuito con agua desmineralizada.

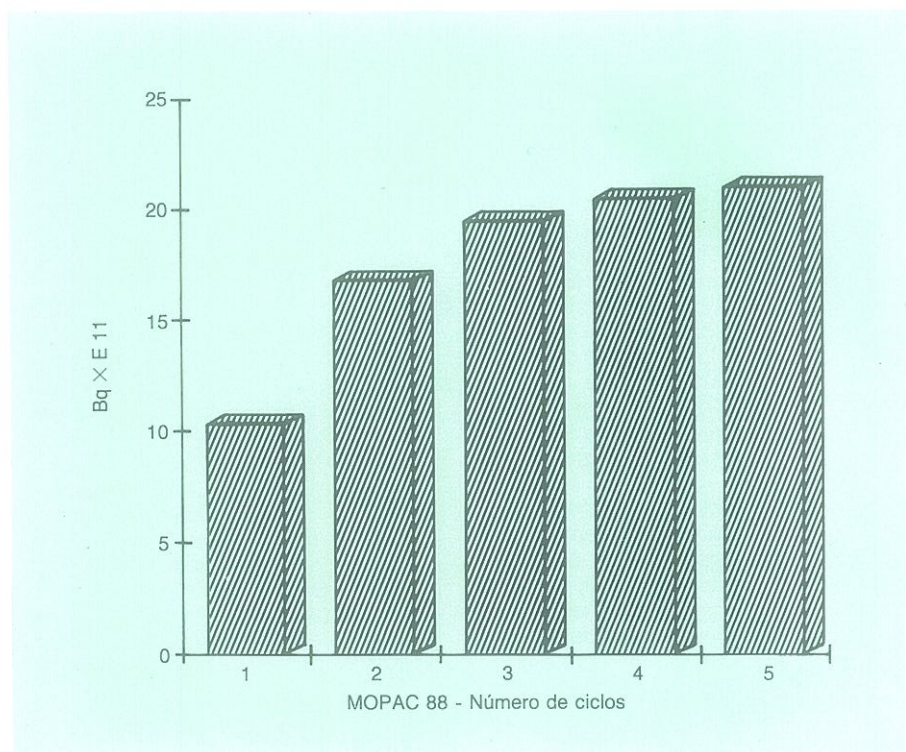
COMPATIBILIDAD DE MATERIALES

Previamente a cada descontaminación, todos los materiales que van a entrar en contacto con las soluciones descontaminadoras se examinan en los labora-



F III Descontaminación de BRR'S con MOPAC 88

F IV Actividad liberada durante la descontaminación de la BRR



torios de Siemens para verificar su compatibilidad.

En la figura I, y a título de ejemplo para otros materiales probados, se puede establecer:

- No se presenta pitting.
- No hay ataque intercrystalino.

— Ligera rugosidad de la superficie de estelita.

Los resultados obtenidos demostraron la ausencia de riesgos para los materiales de las bombas de C. Trillo I tras la aplicación de múltiples ciclos de descontaminación MOPAC 88.

APLICACION PRACTICA

DESCONTAMINACION DE LA BRR

La descontaminación de componentes como las BRR's de centrales PWR es hasta el momento la que más aplicaciones prácticas ha tenido. Alrededor de 150 bombas PWR y BWR se han descontaminado, la mayor parte de ellos utilizando el equipo móvil de descontaminación AMDA de Siemens y los procesos MOPAC y MOPAC 88.

Los nuevos procesos necesitan sólo cuatro piezas principales para llevar a cabo una descontaminación de este tipo (figura II).

- Depósito de descontaminación con generadores de ultrasonidos.
- Bomba de recirculación.
- Calentador por recirculación.
- Tanques de preparación.

Para la descontaminación de los internos de la BRR se utilizó un depósito de descontaminación especialmente diseñado para la Central de Trillo y equipado con cabezales de ultrasonidos en las paredes y el fondo. El resto de componentes pertenecen al sistema AMDA de Siemens. Las conexiones se realizaron mediante mangueras especiales equipadas con acoplamiento rápido.

El equipo de descontaminación se instaló dentro de contención. De acuerdo al espacio disponible, el panel de control y el tanque de preparación que necesita sólo un volumen de 50-100 l (en base a la baja concentración de reactivos, menor de 6 g/l. para el MOPAC 88) se localizaron en zonas de baja radiación. El resto de componentes se instalaron detrás de un muro de hormigón que realizó el blindaje necesario. La situación del depósito de descontaminación se realizó de manera que se pudieran introducir los internos directamente desde la carcasa de la bomba al tanque utilizando la grúa polar.

Después de tres ciclos de descontaminación se desmontaron los internos de la bomba. En la tabla IV se pueden observar datos de otra Central en la cual se realizaron descontaminaciones ulteriores sobre las partes una vez desmontadas, obteniéndose factores de separación extremadamente altos debido a la accesibilidad a las partes internas.

Existen también grandes diferencias en los puntos de medida individuales del material y los detalles constructivos como se puede observar en la figura III.

La actividad liberada en cada ciclo individual depende de la contaminación total de BRR. Normalmente el recubrimiento de actividad de un interno de BRR está entre 1 y 5 E 11 Bq. En la figura IV se representa la actividad típica liberada en una bomba extremadamente contaminada (2,2 E 12 Bq). Alrededor del

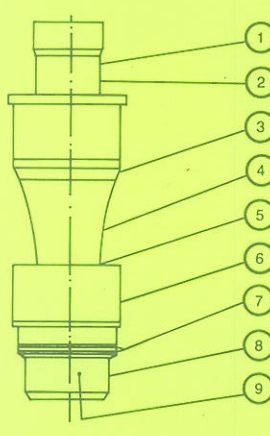
T IV

BRR	Medida	BRR 1	BRR 2	BRR 3
Interno Completo	Factor de Descontaminación			
	Medio calculado en 7 puntos de Medida	165	161	204
Impulsor (después de un ciclo de desc. adicional)	Factor de Descontaminación			
	medio calculado en 5 puntos de medida	1.200	1.500	2.170

Actividad total eliminada: 11-13 E 11 (30-35 Ci).

Residuos líquidos tratados posteriormente en el evaporador de la planta obteniéndose factores de separación desde: ~ 1 E 11 Bq/m³ a 1 E 4.

Tasa de dosis en $\mu\text{Sv/hr}$



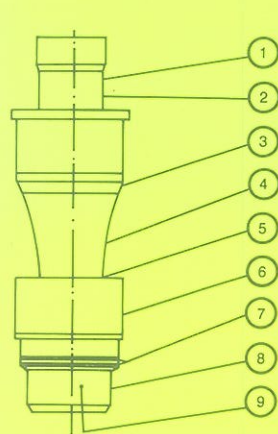
1	11,2	antes	FD	6	44,3	antes	FD
	0,75	después	15		0,27	después	164
2	20,7	antes	FD	7	47,6	antes	FD
	0,47	después	44		1,15	después	42
3	17,6	antes	FD	8	49,1	antes	FD
	0,24	después	73		0,29	después	170
4	21,0	antes	FD	9	51,6	antes	FD
	0,42	después	50		4,0	después	13
5	50,2	antes	FD				
	0,33	después	153				

FD = 76

F V 1. Descontaminación del interno de la Bomba Principal YD 30 en Central Trillo I con el Proceso MOPAC 88

F VI 2. Descontaminación del Interno de la Bomba Principal YD 30 en Central Trillo I con el Proceso MOPAC 88

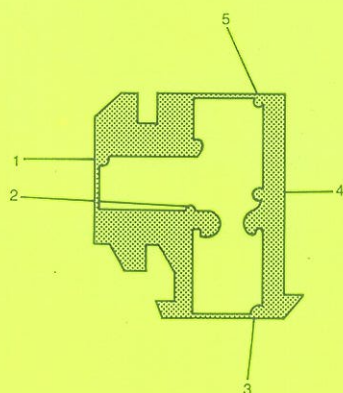
Tasa de dosis en $\mu\text{Sv/hr}$



1	30	antes	FD	6	40,1	antes	FD
	1,5	después	20		1,0	después	40
2	43,9	antes	FD	7	30,9	antes	FD
	0,68	después	65		0,66	después	47
3	50,1	antes	FD	8	36,5	antes	FD
	2,5	después	20		1,3	después	28
4	69,1	antes	FD	9	52,6	antes	FD
	2,3	después	30		15	después	3,5
5	87,6	antes	FD				
	5,1	después	17				

FD = 33

Tasa de dosis en $\mu\text{Sv/hr}$



S 190 1 Zyklus			
1	23	antes	FD
	0,6	después	38
2	40	antes	FD
	0,6	después	67
3	40	antes	FD
	0,6	después	67
4	55	antes	FD
	0,6	después	92
5	30	antes	FD
	0,6	después	50

Fondo = 0,6 $\mu\text{Sv/h}$

FD = 63

S 191 1 Zyklus			
1	33	antes	FD
	1,0	después	33
2	34	antes	FD
	0,6	después	57
3	46	antes	FD
	0,75	después	61
4	58	antes	FD
	0,7	después	82
5	31	antes	FD
	0,75	después	41

Fondo = 0,6 — 1,0 $\mu\text{Sv/h}$

DF = 55

S 102 1 Zyklus			
1	4,2	antes	FD
	1,0	después	4
2	10,6	antes	FD
	0,7	después	15
3	12,5	antes	FD
	0,9	después	14
4	23,5	antes	FD
	0,7	después	33
5	5,2	antes	FD
	1,0	después	5

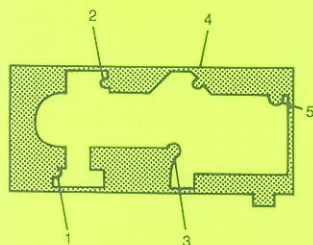
Fondo = 0,6 — 1,0 $\mu\text{Sv/h}$

FD = 14

F VII 3. Descontaminación de las Válvulas de Seguridad YP 10 S190, S191 y S102 en Central Trillo I con el Proceso MOPAC 88

F VIII 4. Descontaminación de las Válvulas Piloto YP 10 S540 - 543 y 550 - 553 en Central Trillo I con el Procedimiento MOPAC 88

Tasa de dosis en $\mu\text{Sv/hr}$



S 540-543 2 Zyklus			
1	17	antes	FD
	0,5	después	34
2	27	antes	FD
	0,5	después	54
3	11	antes	FD
	0,5	después	22
4	10	antes	FD
	0,5	después	20
5	10	antes	FD
	0,5	después	20

FD = 30

S 550-553 1 Zyklus			
1	1,0	antes	FD
	0,5	después	2
2	1,3	antes	FD
	0,5	después	3
3	1,1	antes	FD
	0,5	después	2
4	1,3	antes	FD
	0,5	después	3
5	1,1	antes	FD
	0,5	después	2

Fondo = 0,5 $\mu\text{Sv/h}$

FD = 2,5

50% se libera con el primer ciclo, mientras que sólo ~ 5% permanece después del tercer ciclo MOPAC 88, lo que es normalmente suficiente para realizar las actividades de inspección y reparación previstas.

Descontaminación en CT 1

Los internos de las BRR se descontaminaron en octubre del 89 y marzo del 90. Se realizaron medidas de tasa de dosis

en contacto antes y después de la descontaminación. Durante los tres ciclos las soluciones se controlaron química y radioquímicamente. Se hizo un isotópico al final de cada ciclo.

DESCONTAMINACION DE VALVULAS

Utilizando el mismo equipo de descontaminación de las bombas se procedió a descontaminar 18 válvulas del circuito primario.

El trabajo se realizó en tres fases. Las tres válvulas más voluminosas se fijaron con varillas roscadas a la tapa del tanque de descontaminación. Las válvulas piloto, mucho más pequeñas, se introdujeron en una cesta fabricada al efecto y colgada de la tapa. En función del nivel de contaminación se aplicaron 1-2 ciclos MOPAC. Con ayuda de la grúa polar se introdujeron la cesta y las válvulas lo más profundo posible en el tanque para minimizar la cantidad de solución descontaminante requerida.

RESULTADOS

INTERNOS DE LA BRR

En la figura V se presentan las tasas de dosis en contacto medidas en el interno de la BRR. Como se puede observar, los factores de descontaminación obtenidos varían entre los diferentes puntos de medición. En la parte superior de la bomba (Pos. 1) la descontaminación se hace sólo por spray, mientras que en el resto de posiciones se hace por inmersión.

El factor de descontaminación bajo observado en la posición 7 se debe a la actividad atrapada detrás de los anillos que se elimina una vez desmontados.

En la posición 6 se observa la influencia de la menor accesibilidad de los ultrasónicos a las superficies interiores más contaminadas.

El factor de descontaminación medio por la bomba se calculó en 76.

Una segunda descontaminación de la BRR se realizó en febrero 90 (figura VI).

En este caso también se descontaminaron individualmente algunas de las partes desmanteladas.

El factor de descontaminación del interno sin desmantelar fue de 33. La descontaminación de las piezas individuales llevó a valores residuales de tasas de dosis en contacto de alrededor 1 mSv y menores.

VALVULAS

Los factores de descontaminación obtenidos en las válvulas se presentan en las figuras VII y VIII. Como se puede observar, todos los componentes se descontaminaron por completo hasta valores por debajo del fondo. Fue posible, por tanto, el manejo y mecanizado fuera de la zona controlada.

Los factores de descontaminación medios obtenidos fueron:

- Válvulas de seguridad: 65, 55, 14.
- Válvulas piloto: 30, 2, 5.

RESIDUOS RADIATIVOS GENERADOS

La cantidad de residuos producida en los 7 ciclos de descontaminación fueron de 13 m³ con un contenido total de sales de ~ 85 kg.

La cantidad de agua de lavado 17 m³. La cantidad de actividad extraída de los componentes medida por isotópico de las soluciones descontaminantes fue:

BRR: 2,3 E + 11 Bq.
Válvulas: 1,5 E + 8 Bq.

DOSIS PERSONALES

Las dosis integradas para el personal involucrado (10 personas) fueron:

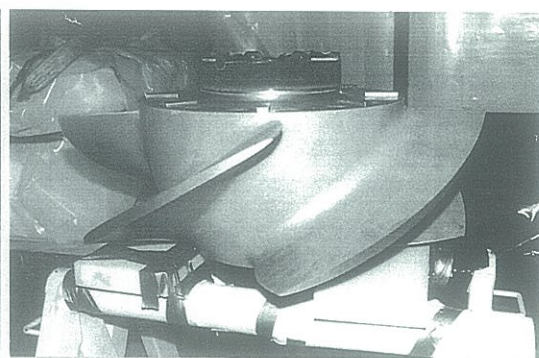
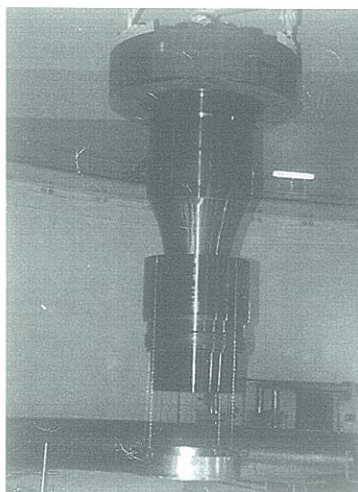
— Chequeo y montajes equipos:	2,219 mSv
— Descontaminación:	0,938 mSv
— Desmontaje y salida de equipos:	0,186 mSv
Total:	3,343 mSv

RESUMEN FINAL

La descontaminación de válvulas y de internos de bombas principales demuestran que estos trabajos se pueden llevar a cabo con una carga radiológica extremadamente baja del personal.

El envejecimiento de las Centrales hace que las cargas radiológicas al personal aumente, por lo que se ve la necesidad clara de intensificar las acciones encaminadas a la reducción de dosis.

Una posible actuación en este sentido es la descontaminación de componentes de planta e incluso de sistemas completos.

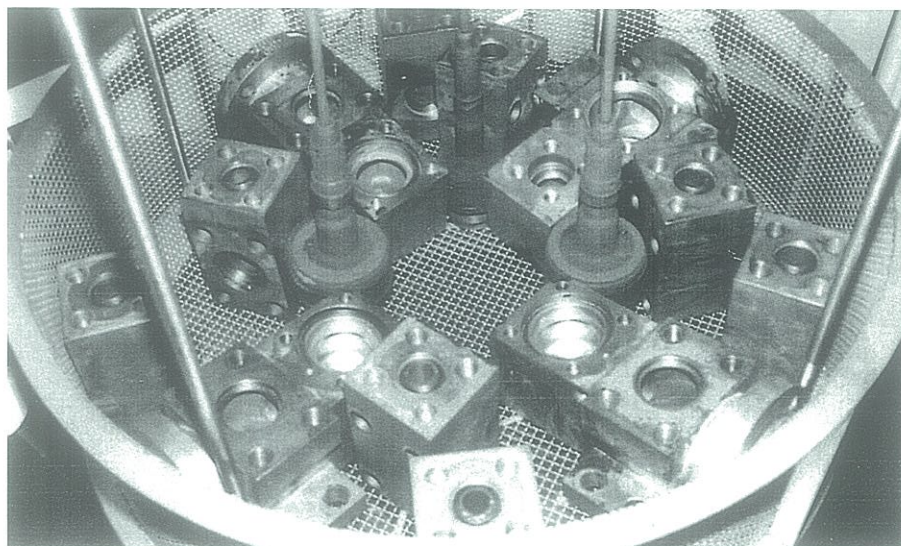


▲ impulsor después de la descontaminación con MOPAC 88

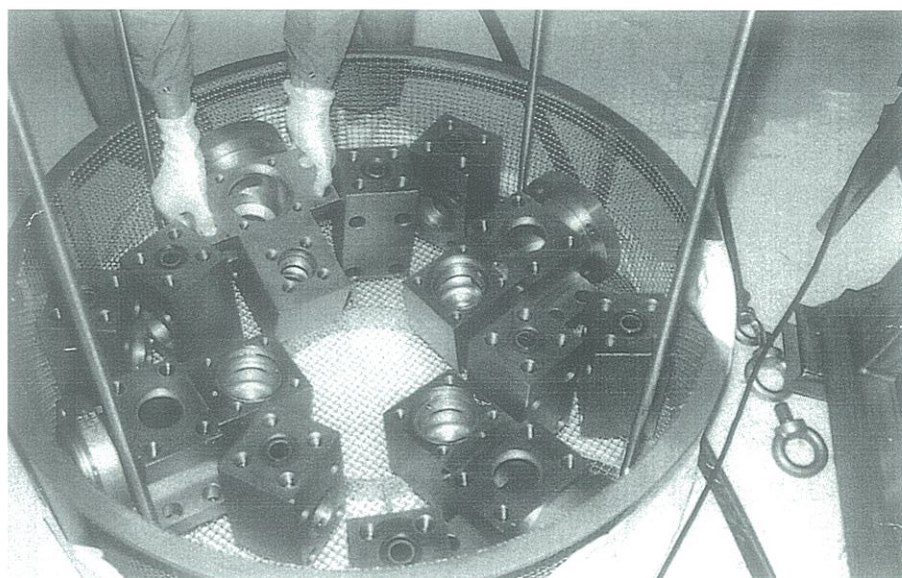
◀ antes

Descontaminación de Válvulas de Seguridad en CN. Trillo con el proceso MOPAC 88.

Descontaminación de la Bomba Principal en CT 1



antes



después