



Joaquín REIG TAPIA es licenciado en Ciencias Químicas, especialidad de Metalurgia, por la Universidad Complutense de Madrid. Ingresó en C. Trillo I en 1982 procedente de Foster-Wheeler. Entre 1985 y 1989 participó en la fase completa de pruebas y puesta en marcha de la Central, como Jefe del Área de Diesel, ventilación, servicios, plantas químicas y residuos. Es miembro de los Comités de Química y Generador de Vapor del GPCPWR, y del Grupo de Centrales Avanzadas de Unesa. Master en Ingeniería y Gestión Medio-Ambiental por la EOI, fue Coordinador general de los trabajos de desarrollo y pruebas de equipos para la extracción de la parte suelta y corte y extracción de un tubo para análisis de rendimiento en la recarga 1991. Actualmente es miembro del Grupo de Apoyo a la Explotación de C. Trillo I.



Juan Ramón ROSSIGNOLI ITURBE es Ingeniero Industrial por la ETSII de Madrid. En el período 1981-1986 trabajó en TECNOS, S. A., en la fase de construcción de C. N. Cofrentes y C. N. Trillo. Desde 1986 trabaja en NOVOTEC, S. A., habiendo participado en las etapas de pruebas y puesta en marcha de la Central de Trillo. Actualmente trabaja para el departamento de Garantía de Calidad de Central Trillo.

C. TRILLO I

EXTRACCION DE UNA PARTE SUELTA EN UN GENERADOR DE VAPOR

J. REIG - J. R. ROSSIGNOLI

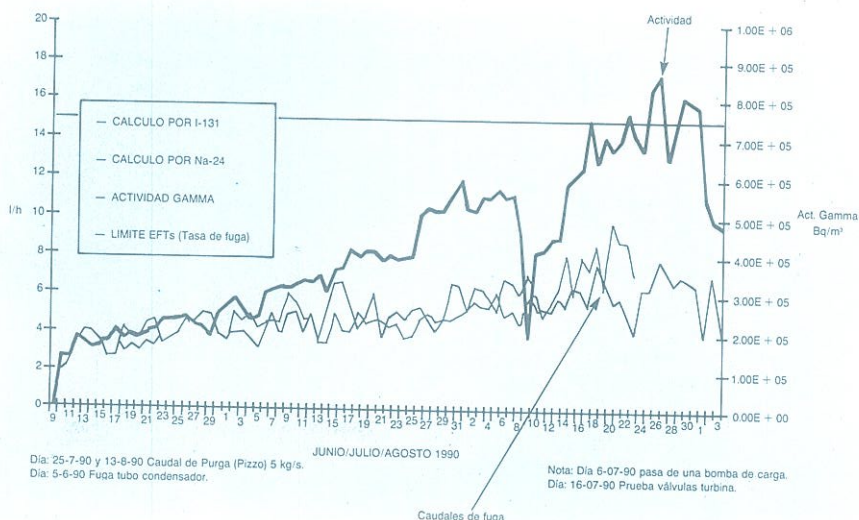
El día 10 de junio de 1990, estando la planta en operación estable al 100% de potencia, se detecta un aumento injustificado de actividad en los monitores de radiación del condensador, confirmando este hecho por el aumento paralelo en la indicación de actividad de la purga de los generadores de vapor.

Al no excederse el valor máximo admisible ($1,8 \times 10^{-8}$ Bq/m³ en las purgas) que hubiera obligado a la parada inmediata de la planta se informó de la situación a las autoridades y se solicitó del suministrador principal el dato de cuál sería el caudal máximo de fuga admisible, suponiéndola concentrada en un solo tubo, antes de que éste pudiera colapsar. Dicho valor, una vez considerados diversos factores de seguridad, se estimó en 20 l/h, y en base a él, el CSN concedió una exención provisional a las

especificaciones de funcionamiento, autorizando una fuga máxima admisible (calculada como actividad equivalente en I-131 y Na-24) de 15 l/h, límite con el que la instalación siguió operando hasta el final del 2.º ciclo (octubre 90), según se puede ver en la figura 1.

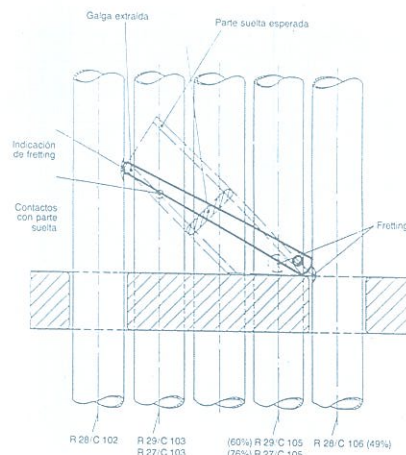
LOCALIZACION DE LA PARTE SUELTA Y TOMA DE DECISIONES

Nada más iniciarse la recarga, y con el fin de evitar un 100% en el alcance de la inspección por corrientes inducidas, se realiza una inspección visual de las cajas de agua a generador de vapor lleno (lado 2.º), y sólo con el peso de la columna de agua existente, se localiza



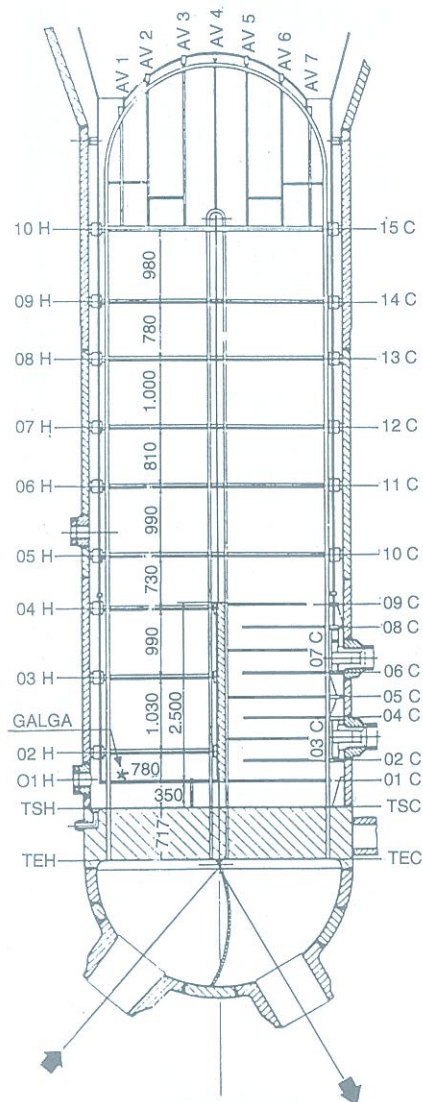
FI Tasa de fuga y actividad gamma en Generador Vapor 2.

la fuga en el tubo C28R102, rama caliente del generador de vapor número 2. Realizada la correspondiente inspección por corrientes inducidas se confirma (ver figura II) que dicho tubo tiene una indicación del 100% (pasante) y adicionalmente se detectan tres tubos con pérdida de espesor de pared del 49, 60 y 76% (fretting), y un quinto que, por bobina rotatoria, no se detecta pérdida de espesor, pero que tiene una indicación de contacto por presencia de un cuerpo extraño en el lado secundario. Tras el análisis de la situación, se llega a la conclusión de que existe una parte suelta situada (ver figuras III y IV), por encima de la placa distribuidora de flujo (FDB) de unas dimensiones aproximadas de $90 \times 20 \times 8$ mm, de entre 70 y 100 g. de peso y de Material Ferrítico no perteneciente al propio generador de vapor.

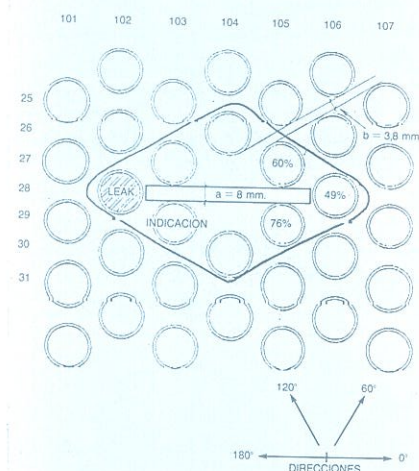


F III Alzado placa distribuidora de caudal y esquema de posición (galga) esperada y real.

Como consecuencia de ello, se procede a taponar con tapón soldado los cuatro tubos correspondientes al de la fuga y los que tienen indicación de fretting, y con tapón de expansión (extraíble) los cuatro restantes que delimitan geométricamente a dicha parte suelta (figura V), la cual reposará en un hueco correspondiente a un tirante. Por análisis de corrientes inducidas se excluye la existencia de alguna parte suelta adicional en una situación análoga. Considerando que la velocidad axial de flujo en la zona es de aproximadamente 1 m/s., lo cual garantizaría la estabilidad de la parte suelta en su emplazamiento, tanto en operación estable como en cualquier transitorio o disparo, se decide de acuerdo con el CSN continuar la operación comercial e intentar extraer la parte suelta en la siguiente recarga.



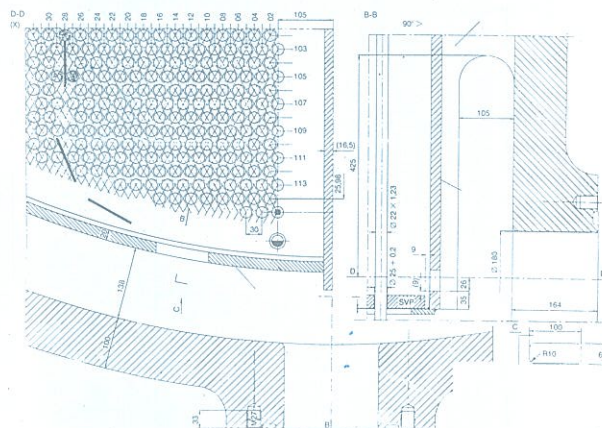
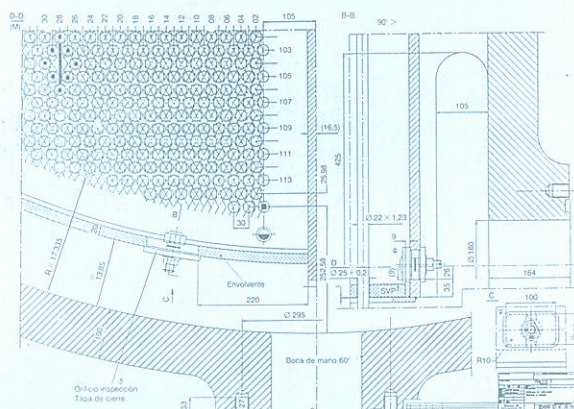
F IV Alzado G. Vapor y posición parte suelta.

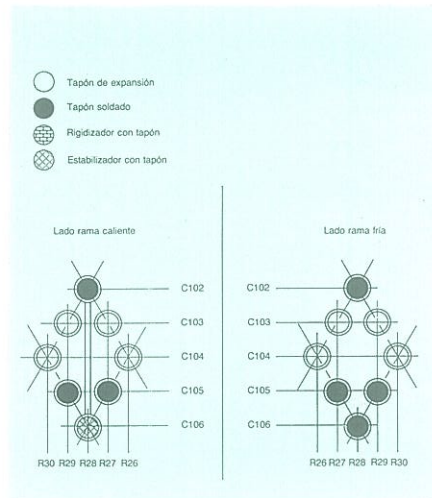


F II Placa tubos G. V.: Dimensiones de las calles.

F V Situación parte suelta. Esquema tapa de cierre del orificio de inspección.

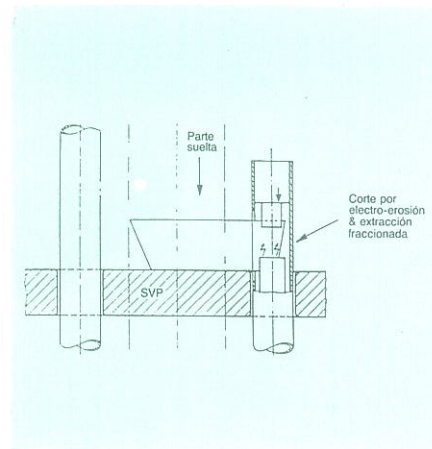
F Va Simil extracción vía secundario.





F VI Extracción vía primario por captura.

F VII Simil extracción vía primario por electro-erosión.



DESARROLLO Y CUALIFICACION DE PROCESOS

Con el fin de poder extraer cualquier tipo de parte suelta, sea de la forma esperada o no, se decide desarrollar diversos métodos de extracción o fijación que cubran, en la medida de lo posible, cualquier eventualidad. Inicialmente se consideran cuatro alternativas:

- Extracción por el lado primario.
- Extracción por el lado secundario.
- Inmovilización por expansionado de tubos.
- Aislamiento por barrera de estabilizadores.

DEFINICION DE METODOS DE EXTRACCION

Se decide, como planteamiento inicial, acceder visualmente a la pieza, antes de definir el método de extracción. En base

a ello, se realizaría un orificio en la envolvente del haz de tubo, en una posición que permita la inspección visual mencionada (ver figuras V y VIII). El orificio (100 X 60 mm.) sería realizado mediante electroerosión (figura X), al ser éste un proceso sin proyección de viruta y fácilmente utilizable por control a distancia.

Una vez realizado el orificio, es posible acceder visualmente a la pieza, mediante útiles de visión remota (endoscopios, videoscopios, imanes, etc.), que permitirían averiguar con exactitud las dimensiones y material de la misma.

Opción 1: Extracción lado primario (figuras VI y VII)

La técnica consistiría en el corte del tubo 28/106, 100 mm por encima de la FDB (figura VII), y su posterior extracción, procediéndose a continuación al corte de la parte suelta mediante electroerosión (electrodo de Cu-W e inyección de agua por el orificio del tubo lado primario y empuje de la pieza desde el lado secundario).

Posteriormente se introduciría un estabilizador, que permitiese fijar el resto del tubo 28/106, taponándolo en su extremo inferior mediante tapón soldado.

Opción 2: Extracción lado secundario (figuras V y Va)

En este caso existen dos posibilidades diferentes de extracción:

Si la parte suelta tuviera un espesor inferior a 3,8 mm. (ver figura II), sería posible su extracción directa sin corte de tubo alguno (figura VIII), mediante la utilización de diversos tipos de útiles.

Si la pieza tuviera un espesor superior a 3,8 mm., pero inferior a 8 mm., se procedería al corte y posterior extracción de 4 tubos (figura VIII), sacando la parte suelta mediante útiles (figura IX).

Los alojamientos de los cuatro tubos extraídos serían rigidizados y taponados (figura XI) de la misma forma que la utilizada por el lado primario.

Opción 3: Inmovilización por expansionado de tubos

Si por algún motivo no fuera posible extraer la pieza, se preveía la posibilidad de fijarla definitivamente, mediante el expansionado hidráulico de los cuatro tubos colindantes con la pieza (figura XII).

Opción 4: Aislamiento por barrera de estabilizadores

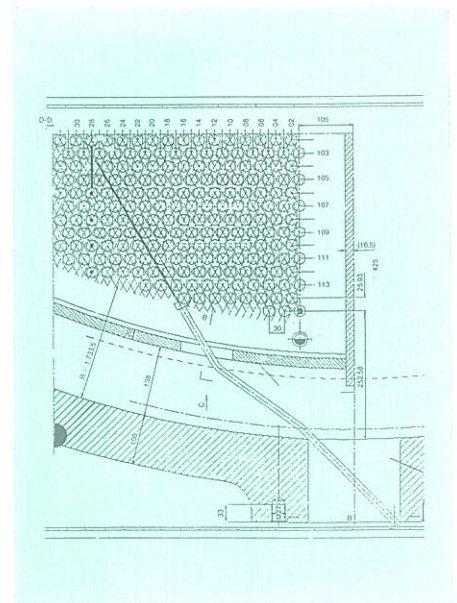
Como una solución de emergencia, se contempló la posibilidad de realizar una

barrera a su alrededor, mediante la introducción de ocho estabilizadores macizos en los tubos adyacentes (figura XIII).

CRITERIOS PARA DEFINIR EL METODO A UTILIZAR

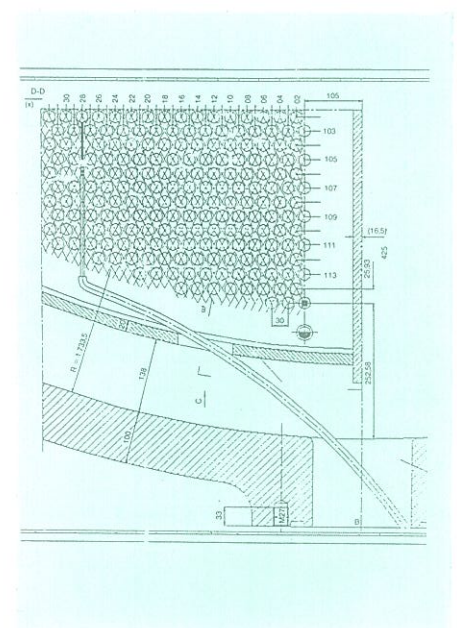
Se enumeran a continuación los criterios que se definieron para que, una vez caracterizada la pieza, se pudiera decidir el método de extracción adecuado:

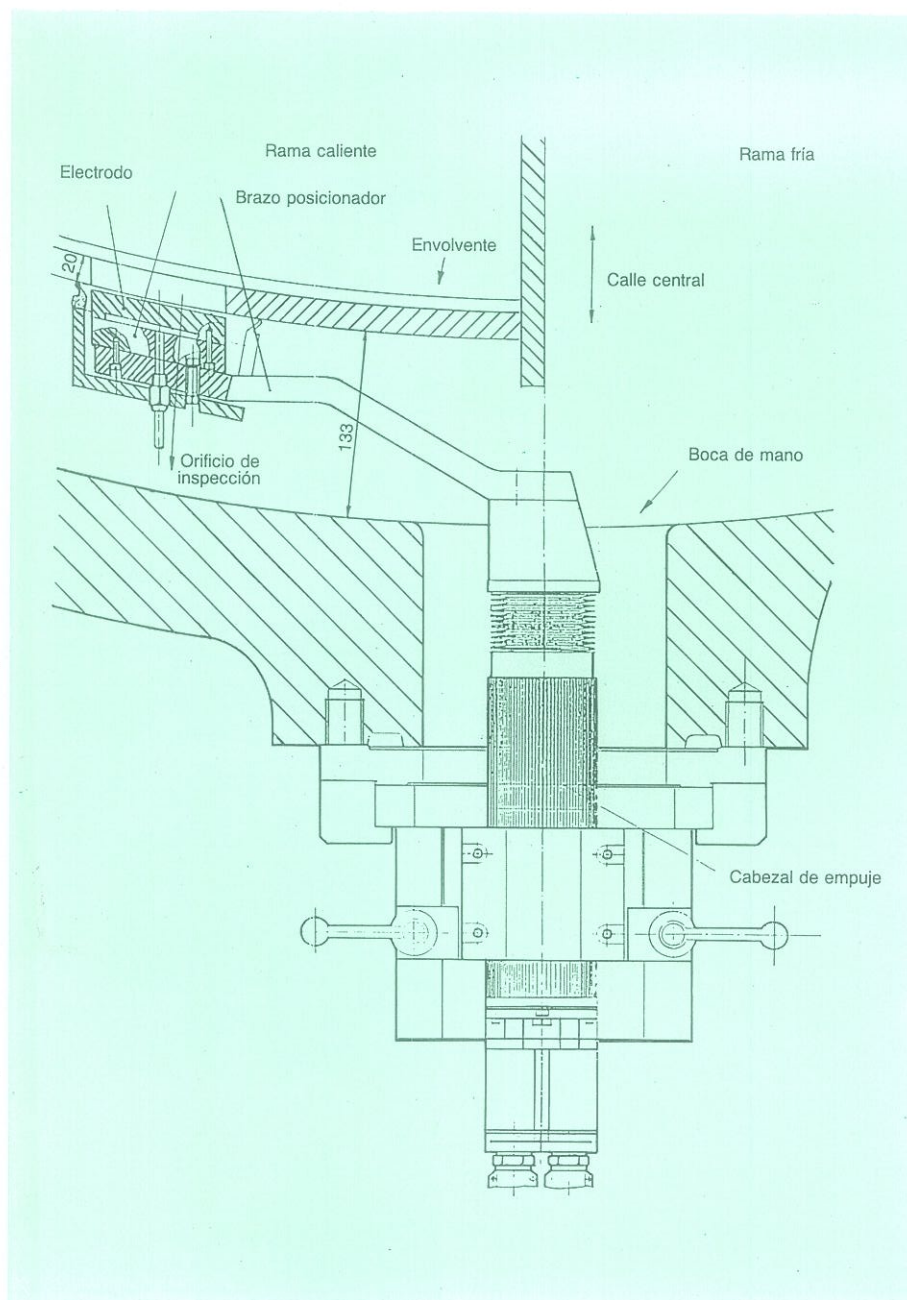
— Material, dimensiones y orientación de la pieza (figura XIV).



F VIII Simil inspección visual vía secundario.

F IX Simil inspección visual vía secundario.





F X Esquema tipo electro-erosión.

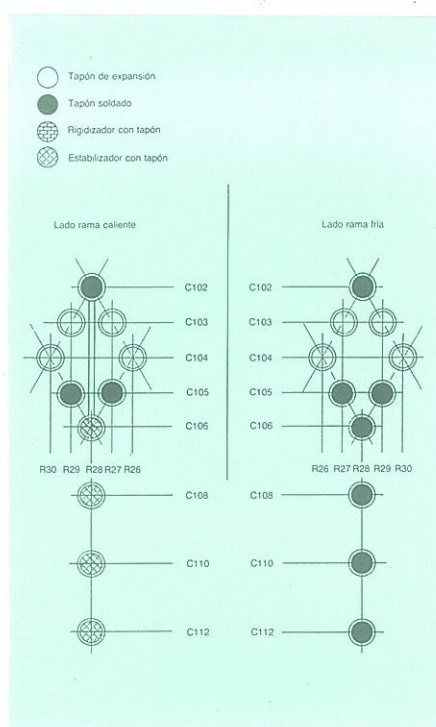
- Dosis/tiempo de ejecución (figura XV).
- Coste en número de tubos.
- Requisitos del CSN.
- Información suministrada por el análisis de corrientes inducidas.
- Cantidad de residuos generados.

CUALIFICACION DE PROCESOS

Dada la singularidad de la situación, basada en el hecho de que la localización de la pieza permitía intentar extraerla,

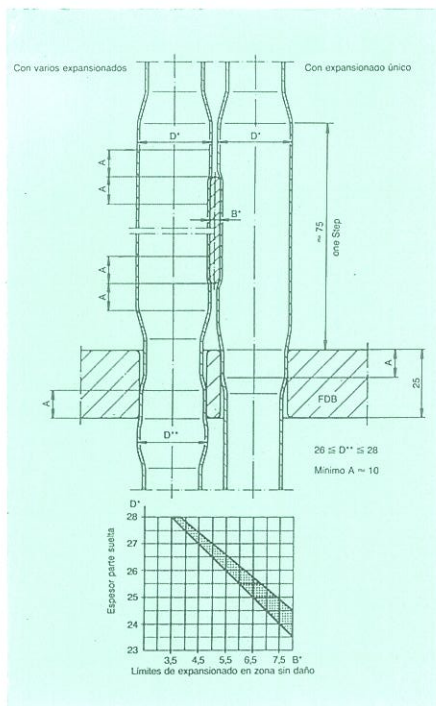
fue necesario diseñar, construir y probar toda una serie de útiles y equipos, algunos ya existentes en el mercado y otros de diseño completamente nuevo. En base a todo lo anterior, se desarrollaron:

- Diversos útiles de extracción (pinzas de diversas formas, imanes, tenazas, etc.).
- Cuatro tipos de tapones diferentes.
- Dos estabilizadores.
- Una tapa extraíble de cierre del orificio de inspección (figura V).

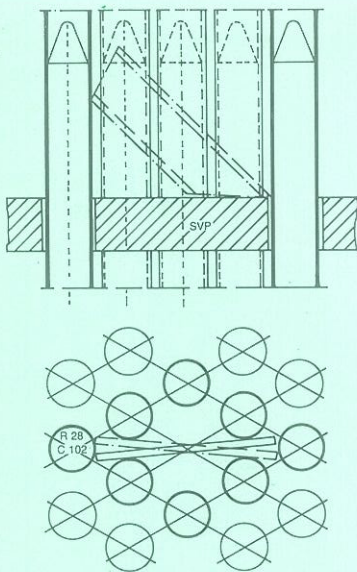


F XI Extracción vía secundario.

F XII Esquema inmovilización parte suelta por expansión de tubos R 27 C 103 y R 29 C 103.



- Un cabezal de electroerosión para apertura orificio de inspección.
- Un cabezal de electroerosión para corte de la pieza por lado primario.
- Herramientas para visión remota (videoscopios, endoscopios, boroscopios, de diversas longitudes y diámetros).



CNT Parte suelta en el GV-20

F XIII Aislamiento de la parte suelta.

F XIV Esquema de límites dimensionales en la elección del método de extracción.

CONDICIONES DE CONTOURNO PARA SELECCION DEL METODO DE REPARACION

Material	Altura	Espesor	Longitud	Método
Ferrítico o austenítico	< 20 mm (limitado por diámetro interior del orificio en placa de tubos)	< 8 mm (limitado por la anchura de la calle entre tubos)	< 100 mm (limitado por la posición de corte)	Extracción vía 1.ª por captura o aspiración
Ferrítico o austenítico	< 40 mm (limitado por el recorrido del electrodo)	—	—	Extracción vía 1.ª por electroerosión
Ferrítico o austenítico	< 100 mm (limitado por el orificio de inspección)	< 6 mm (limitado por la anchura de la calle entre tubos y los útiles de captura)	< 100 mm (limitado por el orificio de inspección)	Extracción vía 2.ª

F XV Extracción de la parte suelta situada en la placa distribuidora de caudal. Estimación de dosis al personal.

Método	Secuencia de pasos	Tiempo estimado (min.) *			Dosis			Dosis total * mSv
		1	2	3	1	2	3	
Inmovilización por expansionado	6-10, 11-22, 30-31	—	68	59	—	2,27	0,09	2,36
Aislamiento parte suelta	6-10, 11-13, 24-31	—	62	55	—	2,07	0,09	2,16
Extracción vía 1.ª sin electro-erosión	6-10, 15-33	5	122	55	4,17	4,07	0,09	8,33
Extracción vía 1.ª con electro-erosión	6-10, 15-22, 40-53	16	159	55	13,3	5,3	0,09	18,69
Extracción vía 2.ª	6-10, 15-21, 57-69	9	131	82	7,5	4,37	0,14	12,01

Nivel dosis	Tasa dosis (mSv/h)	Lugar
1	50	Dentro de la caja de agua
2	2	Delante boca de hombre
3	0,1	Delante boca de mano (2.ª)

* Nota: Considerar un 20% de dosis adicional como consecuencia del transporte dentro de contención y montaje de los equipos.

Con el fin de sistematizar y documentar cada uno de los trabajos previstos, se desarrollaron los siguientes documentos:

- Quince procedimientos técnicos de ejecución.
- Diecinueve planos de construcción y montaje.
- Seis programas de inspección en fabricación.
- Cinco planes de inspección en planta.
- Un plan de cualificación de los procesos de soldadura.
- Un plan de calidad específico para todas las actividades.
- Un plan de cualificación de soldadores.
- Un programa de entrenamiento en maqueta.
- Un programa de ejecución en planta.
- Un organigrama a dos turnos cerrados de 12 h.

Todo este desarrollo de equipos y documentación se obtuvo como consecuencia

de 9 meses de ensayos y pruebas realizadas en una maqueta a escala 1:1, que tenía como fin probar en detalle la viabilidad de cada una de las diferentes alternativas y familiarizar a los operarios con el manejo de herramientas y las condiciones de contorno de los generadores de vapor de C. Trillo I.

LICENCIAMIENTO ANTE TUV Y CSN

Al tratarse de un equipo (generador de vapor) de seguridad, fue necesario homologar ante las autoridades alemanas (TUV) y españolas (CSN), todos aquellos procesos que implicaran modificaciones al diseño original del equipo, para lo cual el TUV tuvo que validar la mayor parte de la documentación arriba citada. Finalmente se realizó en presencia de ambas autoridades una demostración real de los siguientes supuestos:

- Realización de un orificio de inspección en la envolvente del haz de tubos.
- Inspección visual y caracterización de diversos tipos de partes sueltas.
- Extracción y colocación de tapones soldados y de expansión.
- Corte y extracción de tubos.
- Corte y extracción (lado 1.º y lado 2.º) de partes sueltas.
- Instalación de estabilizadores.
- Inmovilización por expansionado de una parte suelta.

Todos realizados en maqueta 1:1.

EJECUCION EN CAMPO

Una vez vaciado el generador de vapor, tanto por el primario como por el secundario, se procedió a un secado de las cajas de agua y haz de tubos por ventilación forzada hasta conseguir una humedad y temperatura adecuadas, así como un ambiente libre de aerosoles. Paralelamente, se procedió a instalar el cabezal de electroerosión (figura X) a

través de la boca de mano que se encuentra entre las ramas caliente y fría, y se realizó el proceso de electroerosión (10 horas) de la envolvente (20 mm.) del haz de tubos (figura V).

A continuación se realizó la inspección visual mediante fibra óptica de 3 y 6 mm. de diámetro (figura VIII), de la cual se sacaron las siguientes conclusiones:

- La parte suelta se encontraba en el lugar y posición esperados (figura III).
- Las dimensiones en lo referente a longitud y espesor se correspondían con lo previsto, pero era mucho menor en anchura.
- Parecía ser parte de una hoja de sierra, de la cual se apreciaba un orificio de unos 4 mm.
- En el tubo de la fuga (R28C102) se confirmaba la existencia de un defecto pasante a la altura prevista y, a su lado, se veía otra zona dañada que por su aspecto parecía indicar que la pieza había estado vibrando tangencialmente al tubo, antes de fijarse.
- En los tubos R29C105, R27C105 y R28C106 eran visibles los daños por "Fretting" ocasionados por la vibración de la pieza en los lugares previstos y en el R29C105 era visible una mancha que se correspondía por situación con una mella de la pieza.

- En los otros cuatro tubos visualmente no se caracterizaba daño alguno.
- En la propia FDB eran visibles manchas de óxido en las zonas de contacto de la pieza con dicha placa.

Posteriormente se introdujo un imán que confirmó la naturaleza ferrítica de la pieza, así como que la misma no se encontraba ni enclavada ni fijada por tubo alguno y, por tanto, era fácilmente movable en todas direcciones.

Con la información disponible, se concluyó que era posible intentar extraer la pieza a través de una calle diagonal (figura VIII) sin necesidad de cortar ningún tubo. En base a lo anterior, se procedió a ensayar en una de las dos maquetas disponibles en campo, con diversas piezas de características similares a la supuesta, con las herramientas preparadas al efecto: pinza cocodrilo, imán, gancho, tenazas, etc., todas ellas de dimensiones inferiores en anchura a 6 mm. Dichas pruebas confirmaron que la mejor alternativa era mediante introducción de un gancho en el orificio de 4 mm.

Finalmente, mediante la técnica anteriormente descrita, se procedió a extraer la pieza, la cual resultó ser una galga para medir holguras de las siguientes características (ver figura III):

	Galga	Previsto
Longitud	99 mm	aprox. 90 mm
Anchura	0,3 mm	< 8 mm
Altura	entre 5 y 13 mm	aprox. 20 mm
Masa	2 g.	entre 70 y 100 g
Naturaleza	acero al carbono	ferrítica
Contaminación	sup. 4 Bq/cm ²	—

A continuación se realizó una inspección visual de los ocho tubos adyacentes, así como de las dos calles por las que se habían introducido herramientas y extraído la pieza, no detectándose daños adicionales a los anteriormente descritos.

El siguiente paso consistió en extraer mediante contracción los tapones de expansión existentes en los cuatro tubos taponados preventivamente en la recarga del año 1990, tanto por la rama caliente como por la fría. Finalmente, se realizó el ensayo de corrientes inducidas en todos los tubos afectados, no encontrándose daños adicionales ni indicios de que la pieza se hubiese desplazado de su posición durante el ciclo, por lo que se decidió devolverlos a operación comercial.

Como paso final, se instaló la tapa en el orificio de inspección, la cual quedó fijada mediante un apriete contra la envolvente del haz de tubos (figura V).