Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

PROYECTO FINAL DE CARRERA

TÍTULO: "Modificación Anillo Sistema Contra-incendios en Planta Nuclear"

AUTOR: Jose Chavero Valencia

TITULACIÓN: Ingeniería Técnica Mecánica

DIRECTOR: Isabel Espinosa Hernandez

DEPARTAMENTO: Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica

FECHA: 29 de junio de 2007.

TÍTULO: “Modificación anillo sistema contra-incendios en planta nuclear”.

APELLIDOS: Chavero Valencia **NOMBRE: Jose**

TITULACIÓN: Ingeniería Técnica Industrial

ESPECIALIDAD: Mecánica **PLAN: 1995**

DIRECTOR: Isabel Espinosa **PONENTE: Antonio Forn**

DEPARTAMENTO: Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica.

QUALIFICACIÓN DEL PFC

TRIBUNAL

PRESIDENTE	SECRETARIO	VOCAL
Marta Musté Rodriguez	Joan Solé Rovira	Enrique Manrtín Fuentes

FECHA DE LECTURA: 13 de julio de 2007.

Este Proyecto tiene en cuenta aspectos medio-ambientales: ☒ **Sí** ☐ **No**

PROYECTO FINAL DE CARRERA

RESUMEN (máximo 50 líneas)

El objetivo del presente proyecto es realizar el estudio de la degradación y la modificación del anillo principal del sistema contra-incendios instalado en una planta de energía eléctrica de tipo nuclear.

Se ha estudiado el deterioro de la tubería que forma el anillo actual, analizando sus características, disposición, componentes y parámetros de servicio.

Se ha realizado la inspección del material instalado y recogido muestras para su análisis en laboratorio. Con los resultados de las diferentes inspecciones realizadas en la propia tubería y ensayos realizados a las muestras, se ha determinado el origen de la degradación y los factores que la han provocado.

Conocidas las causas del deterioro y los factores que las han provocado, se han propuesto las diferentes acciones correctoras que permitirán disponer de nuevo del sistema, devolviendo a la planta a sus condiciones de funcionamiento y fiabilidad requeridas.

Entre las acciones propuestas, se ha incluido la modificación del diseño del anillo principal. Se han estudiado las diferentes soluciones técnicas para sustituir el sistema de tubería actual, escogiendo el diseño mas adecuado.

Seleccionada la nueva opción, se han desarrollado todos los apartados que conforman una modificación de diseño, de acuerdo a la norma UNE-EN-103-92 “Control de diseño en centrales nucleares en explotación”. Esta norma regula el contenido necesario para una modificación de diseño en este tipo de instalaciones.

Palabras clave (máximo 10):

deterioro	tubería	material	ensayos
factores	corrosión	medidas	modificación
seguridad	nuclear		

MEMORIA DEL PROYECTO

Objeto del proyecto.....6.

Antecedentes.....7.

1. Introducción.....19.

1.1. Descripción del suceso.....19.

1.2. Sistema actual.....20.

2. Selección de Muestras.....28.

3. Procedimiento Experimental.....31.

3.1. Ensayos no destructivos.....31.

3.1.1. Inspección visual.....31.
3.1.2. Medición de espesores.....31.

3.2. Ensayos destructivos.....35.

3.2.1. Examen Micrográfico.....35.
3.2.2. Examen Metalográfico.....36.
3.2.3. Examen SEM + Análisis EDX.....37.

4. Resultados.....41.

4.1. Ensayos no destructivos.....41.

4.1.1. Inspección visual.....41.
4.1.2. Medición de espesores.....41.

4.2. Ensayos destructivos.....43.

4.2.1. Análisis muestras 1ª serie.....43.
4.2.2. Análisis muestras 2ª serie.....57.

5. Discusión.....62.

5.1. Estudio metalográfico.....62.

5.2. Estudio de Factores.....64.

6. Conclusiones.....69.

7. Medidas. Acciones recomendadas.....71.

7.1. Alternativas de diseño.....72.

7.2. Diseño final.....75.

7.3. Cálculos.....77.

7.4. Planos.....81.

8. Agradecimientos.....93.

9. Dedicatoria.....94.

10. Bibliografía.....95.

11. Anexos.....97.

11.1. Propuesta de cambio de diseño (UNE 73-103-92).....97.

11.1.1. Solicitud de cambio.....97.
11.1.2. Descripción del cambio.....99.
11.1.3. Registros afectados.....99.
11.1.4. Análisis Previo de Seguridad.....100.
11.1.5. Evaluación de Seguridad de Diseño.....100.
11.1.6. Estudio de Seguridad.....106.
11.1.7. Regla de Mantenimiento / Simulador SGI.....107.
11.1.8. Gestión Medioambiental.....108.
11.1.9. Gestión Dosimétrica. Evaluación ALARA.....109.
11.1.10. Manual de Inspección en Servicio. MISI.....110.
11.1.11. Manual de Inspecciones Reglamentarias. MIR.....111.
11.1.12. Prueba Funcional.....112.
11.1.13. Entrega de modificación.....112.

Memoria

Objeto del proyecto

Durante la vida útil de cualquier instalación industrial se presenta de forma común la necesidad de introducir cambios en los equipos, sistemas o componentes instalados inicialmente.

Estos cambios en la mayoría de los casos tienen como finalidad mejorar el proceso, aumentar la producción y/o calidad del producto, reponer instalaciones deterioradas u obsoletas y/o ajustarse a las nuevas disposiciones legales que regulan la actividad que desarrolla.

El objetivo de este proyecto es realizar el estudio y la modificación del anillo principal del sistema contra-incendios, instalado en una planta de energía eléctrica de tipo nuclear. Esta modificación surge de la detección de importantes signos de deterioro en la tubería con la que está construido.

La planta tiene una edad actual de aproximadamente 20 años y la previsión es mantenerla en servicio hasta los 40 años de explotación. Por lo tanto, las acciones correctoras propuestas deberán garantizar el correcto funcionamiento del anillo, como mínimo durante este periodo de tiempo.

En primer lugar se realiza el estudio del deterioro de la tubería que forma el anillo y conexiones actuales. Se describen todas las características del sistema, su disposición, componentes que lo conforman y parámetros de funcionamiento. Todos estos datos conjuntamente con diferentes métodos de inspección y ensayos, se han utilizado para determinar el origen de la degradación y los factores que la han provocado.

Conocidos estos factores, se plantean las acciones correctoras que permitan disponer de nuevo del sistema, de forma que la planta pueda operar con todas las garantías y fiabilidades requeridas.

Entre estas acciones se propone la modificación de diseño del anillo deteriorado. Se estudian las diferentes alternativas al sistema actual y se selecciona el diseño a implantar tras valorar todos los factores.

Una vez seleccionada la opción más adecuada, se desarrollan todos los puntos que ha de contener una modificación de diseño en una central nuclear, de acuerdo a la norma aplicable, EN-73-103-92, "Control de diseño en centrales nucleares en explotación".

Antecedentes

Durante el desarrollo del proyecto aparecen términos y conceptos específicos del campo nuclear que no son de uso generalizado fuera de este sector. Para facilitar la comprensión del proyecto y la relación entre los distintos apartados se describen de forma resumida los siguientes puntos:

- Descripción de equipos, sistemas y componentes singulares. Esquema de situación dentro de la planta.
- Organismos nacionales e internacionales de regulación y control.
- Documentos, directivas, guías y normas de aplicación.
- Organigrama funcional de la central. Servicios.

Equipos, sistemas y componentes singulares. Se realiza a continuación una breve descripción de los equipos, sistemas y componentes singulares que conforman una instalación típica de un reactor de agua a presión, conocido como PWR. La principal característica de este sistema es que el fluido en contacto con los elementos combustibles circula por un circuito cerrado denominado "circuito primario", y no entra en contacto con el vapor que circula por el sistema de turbinas.

Se describen en especial aquellos componentes o sistemas relacionados con la seguridad y protección radiológica a los que puede afectar el desarrollo del proyecto. Se incluye un esquema con la situación de cada uno de ellos en planta.

A. Edificio de contención.
B. Núcleo.
C. Sistema de refrigeración del reactor.
D. Sistemas de fluidos del reactor.
E. Sistemas de salvaguarda.
F. Sistemas secundarios auxiliares.
G. Sistemas de tratamiento de residuos
H. Sistema de detección de radiaciones.
I. Sistema de agua de alimentación.
J. Sistema de agua de refrigeración.
K. Sistema de generación. Turbina-generador.
L. Sistema contra-incendios.

M. Sistema eléctrico.

N. Sistema de control.

A. Edificio de contención

Edificio diseñado para evitar el escape de productos radiactivos procedentes de la reacción nuclear a la atmósfera, en condiciones normales y de accidente. Esta formado por una estructura de hormigón pre-tensado, recubierta de acero por su parte interior que asegura la estanqueidad.

Este edificio esta aislado del exterior y se mantiene con presión negativa, tiene una escotilla para entrada de equipos, dos para entrada de personal y otra para la entrada de combustible. El resto de penetraciones dan entrada a las tuberías y sistemas de cableado, todas ellas están aisladas y cuentan con doble sistema de seguridad y pruebas de vigilancia.

Este edificio alberga el núcleo, sistema primario y los sistemas de control y seguridad correspondientes.

B. Núcleo

Lugar donde se produce y mantiene la reacción nuclear de fisión en cadena para elevar la temperatura del agua del circuito primario 40º C aproximadamente. El primer componente del núcleo está formado por pastillas de óxido de uranio 238 y plutonio 239 y 241, confinados en varillas que unidas forman los elementos de combustible.

El segundo componente del núcleo son las denominadas barras de control, tubos de inserción de acero inoxidable que contienen materiales para absorber la radiación, plata-indio-cadmio, que junto con el denominado "veneno químico", boro, disuelto en concentraciones controladas en el agua del circuito, sirven para modular y detener la reactividad del reactor.

C. Sistema de refrigeración del reactor (sistema primario)

Sistema unido al núcleo cuya misión es la de transferir el calor producido a través del agua de refrigeración del reactor a los generadores de vapor. Esta formado por la vasija de reactor que contiene y soporta el núcleo, las bombas encargadas de la circulación del agua refrigerante y el generador de vapor, encargado de generar el vapor que alimenta el sistema turbina-generador a partir del aporte de calor del agua de refrigeración. Todo este conjunto está controlado por un equipo denominado presionador, responsable de mantener constante el equilibrio entre líquido y vapor saturado en el sistema.

El sistema cuenta con 3 lazos independientes (conjunto tubería-bomba-generador de vapor), interconexionados por el núcleo y conectados al presionador. Este conjunto de equipos conforma el denominado sistema primario.

D. Sistemas de fluidos del reactor

Sistema responsable de controlar el nivel del agua de refrigeración del núcleo y su regeneración. Desde este sistema se controla la concentración de boro, de aditivos químicos y la evacuación del calor residual del agua del circuito primario.

E. Sistemas de salvaguarda

Este sistema se divide a su vez en tres subsistemas:

- Sistema de rociado de la contención. Tiene como función, en caso de accidente, reducir la presión dentro del recinto de contención en el que se encuentra el sistema primario.

- Sistema de refrigeración por ventilación. Responsable de eliminar el calor desprendido tanto en operación normal como el correspondiente a un accidente.

- Sistema de inyección, responsable de reponer el nivel de fluido de refrigeración del reactor en caso de pérdida de integridad del sistema (accidente).

F. Sistema secundario auxiliar

Sistema responsable de aportar agua de refrigeración a los generadores de vapor cuando el suministro normal se ve interrumpido por falta de suministro eléctrico, paro de las bombas de alimentación o funcionamiento incorrecto del sistema de evacuación de calor. Es responsable de refrigerar y mantener el nivel del núcleo hasta la reposición de las condiciones que permitan el funcionamiento del sistema de evacuación de calor residual.

G. Sistema de tratamiento de residuos

Este sistema se divide en tres secciones, tratamiento de residuos gaseosos, residuos líquidos y encapsulado de residuos.

- El primero es el responsable de evitar la fuga al exterior de los gases radiactivos, reteniéndolos en tanques específicos dispuestos para su tratamiento y desactivación a lo largo de toda la vida de la planta.

- El segundo es el responsable de gestionar los efluentes líquidos generados por el sistema, el reciclaje, si es posible, y en último término su recogida y procesado.

- El último, encapsulado de residuos, es el responsable de la recogida de los residuos tratados en los dos anteriores y en el resto de procesos de la planta. Se seleccionan en base a su actividad y se tratan y encapsulan en contenedores compactos, que son enviados a las plantas exteriores de tratamiento específico. De forma común, en las tres secciones, el primer objetivo es reducir al mínimo los residuos producidos durante la vida de la central, su emisión al exterior y optimizar el reciclado y almacenamiento de los mismos.

El combustible gastado es un caso especial, el almacenaje se realiza en la propia central dentro de la piscina de mantenimiento en las que se deposita el combustible utilizado aún activo dentro de agua borada para su control neutrónico y disipación del calor.

H. Sistema de detección de radiaciones

Sistema responsable de suministrar información detallada del nivel radiológico del entorno del reactor y componentes relacionados, con el fin de permitir la protección del personal, vigilancia del correcto funcionamiento de la central y proteger el medio ambiente.

Para ello el sistema dispone de los sistemas de detección de radiación que realizan las tareas de vigilancia del proceso y efluentes, vigilancia de zonas críticas y muestreos radiológicos.

I. Sistema de agua de alimentación

Este sistema cuenta, como elemento principal, con una planta de tratamiento de agua para su procesado que tiene como destino por un lado los depósitos de almacenamiento de agua de recarga y de reposición del nivel del refrigerante del reactor. Finalmente cuenta con otro tanque de almacenamiento de agua desmineralizada para el resto de sistemas, sistema contra-incendios, sistema auxiliar etc.

J. Sistema de refrigeración

Sistema divido en dos partes claramente diferenciadas:

- Refrigeración de componentes, responsable de la evacuación del calor de los componentes nucleares y diesel de emergencia (relacionados con la seguridad nuclear).

- Refrigeración de turbinas, responsable de la evacuación de calor del condensador y resto de equipos de turbina (equipos convencionales).

Los sistemas de impulsión y sistemas de canalización son independientes en cada uno de los dos subsistemas. El sistema de captación mediante emisario marino y el sistema de evacuación mediante el canal de descarga al mar son comunes.

K. Sistema de generación. Turbina-Generador

La función de este sistema es la de convertir la energía calorífica generada en el núcleo en energía eléctrica, mediante dos procesos de conversión:

- Transformar en la turbina la energía térmica suministrada por el reactor en energía mecánica.

- Transformar le energía mecánica de la turbina en energía eléctrica, mediante el generador.

El diseño básico se corresponde con una turbina de alta presión y tres turbinas de baja acopladas a un eje, conectadas al generador y excitatriz e interconectadas a los recalentadores de vapor y separadores de humedad.

L. Sistema eléctrico

Sistema responsable de transportar la energía eléctrica producida por el generador a los centros de consumo y alimentar a los diversos servicios auxiliares de la planta.

Esta conformado por un sistema principal formado por el propio generador y controles para transmitir la energía a la red de distribución exterior y de abastecimiento de la propia planta, y un sistema secundario formado por la red exterior que proporciona energía por dos sistemas independientes.

Por último existe un tercer sistema, los generadores diesel de emergencia, dos generadores independientes, cada uno con la capacidad de proporcionar la energía necesaria para llevar a la planta a parada segura y mantenerla en ese estado en caso de perdida total del suministro de los dos sistemas anteriores.

M. Sistema de control

Sistema que tiene como función vigilar y mantener todas las funciones de la planta. Esta formado por dos componentes principales:

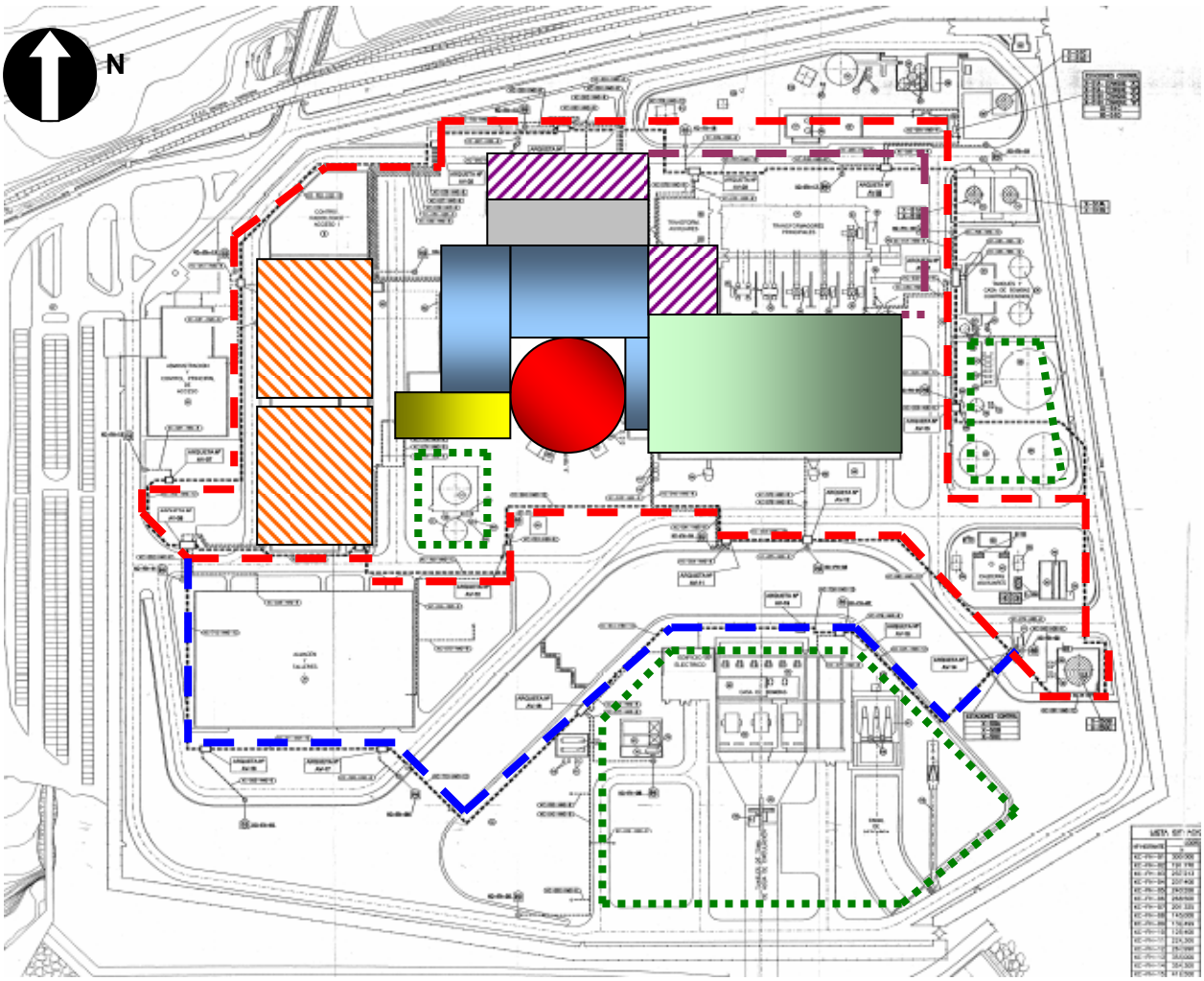
- Ordenador integrado, que recibe y analiza toda la información útil para determinar el estado de la planta.

- Sala de control integrada, sala desde donde el personal de operación recibe la información del ordenador e instrumentos de control que le permiten actuar sobre las funciones concretas de la central.

N. Sistema contra-incendios

La función de este sistema, objeto del presente proyecto, se explica extensamente en el apartado 1.2.1.1.

Esquema de situación de edificios



Edificio de contención. *(Núcleo, refrigeración de núcleo y salvaguardas)*

Edificio equipos auxiliares. *(Componentes, auxiliar y penetraciones de turbinas)*

Edificio de combustible gastado

Edificio de tratamiento de residuos y taller caliente

Edificio de control

Aparellaje eléctrico. *(Aparellaje eléctrico, diesel de emergencia y transformadores)*

Edificio generación. *(Turbina-generador)*

Trazado actual del anillo principal del sistema contra-incendios

Trazado actual Sub-anillo de sistema contra-incendios zona de sistemas de captación

Zona de sistemas de agua de alimentación principal, captación agua de mar y agua de recarga

Organismos reguladores y de consulta

Se enumeran a continuación los principales organismos que regulan las responsabilidades, organización y funciones dentro de las plantas nucleares a nivel estatal e internacional.

Ministerio de Industria

División funcional del gobierno responsable de la gestión del sector eléctrico estatal y dentro de este de la regulación de las instalaciones nucleares.

Es el responsable de la tramitación legislativa de las normas y reglamentos propuestos por el Consejo de Seguridad Nuclear y la Dirección General de Política Energética y Minas, para su aprobación por el gobierno y posterior entrada en vigor.

Dirección General de Política Energética y Minas (DGPEM)

División funcional del Ministerio de de Industria responsable de la ordenación del sector energético y minero. Responsable de elaborar la normativa aplicable y de la autorización de funcionamiento de las instalaciones.

Consejo de Seguridad Nuclear Español (CSN)

Organismo regulador estatal encargado de proponer para su aprobación las normas y reglamentos de diseño y funcionamiento de las centrales nucleares en el estado Español, de acuerdo a lo dispuesto en la Ley de Creación, modificada parcialmente por la Ley 40/1997, de 30 de diciembre, de Ordenación del Sistema Eléctrico Nacional y por la Ley 14/1999 de Tasas y Precios Públicos por servicios prestados por el Consejo de Seguridad Nuclear.

Este organismo propone al Gobierno las reglamentaciones necesarias en materia de seguridad nuclear y protección radiológica. Genera la normativa necesaria recopilando para ello todas las normas, códigos y documentos aplicables internacionales.

Nuclear Regulatory Comisión (NRC)

Organismo estadounidense referencia del CSN español. Este organismo emite las guías que permiten cumplir con los requisitos del Código de Regulación Federal, que finalmente son normas de referencia internacional.

Organismo internacional de la energía atómica (OIEA)

Organismo internacional para la cooperación científica y técnica en materia de utilización de la energía nuclear de uso civil. Tiene como propósito cumplir las siguientes funciones:

- Promover el intercambio de información científica y técnica sobre la energía nuclear.

- Verificar, mediante inspecciones, el correcto empleo de las medidas de seguridad en las instalaciones nucleares.

- Promover la transmisión de conocimientos teóricos y prácticos para que los países puedan ejecutar, de forma segura y eficaz, sus programas de energía atómica.

- Promover normas básicas de seguridad de protección contra radiaciones.

- Publicar reglamentos y códigos de prácticas para regular determinadas operaciones, incluido el transporte de material radioactivo.

Asociación mundial de operadores nucleares (WANO)

Organismo internacional que engloba a los operadores de reactores nucleares donde se tratan y desarrollan temas basándose en la aportación de la experiencia de los diferentes miembros.

Se tratan de forma especial todos aquellos temas relacionados con la cultura de la seguridad, utilizando las siguientes herramientas:

- "Peer Reviews", programa de consultoría y asesoramiento técnico.

- Experiencia Operativa.

- Soporte técnico e intercambio de conocimientos.

- Desarrollo profesional y técnico.

Documentos, directivas, normas y guías de aplicación

En el Estado Español, el titular/propietario de una planta de generación eléctrica de tipo nuclear, debe contar con los siguientes documentos aprobados:

- Reglamento de Funcionamiento.
- Permiso de Explotación de la Planta.

Ambos documentos son otorgados por el Consejo de Seguridad Nuclear y el Ministerio de Industria (DGPEM) y en ellos se desarrolla el siguiente contenido:

Reglamento de Funcionamiento

En este documento se recogen las responsabilidades, funciones y conducta a seguir por el personal que realiza tareas relacionadas con la seguridad y la protección radiológica en la planta.

La parte del Reglamento de funcionamiento que afecta a este proyecto esta contenida en el documento de Normas de funcionamiento de la central. Se deberán modificar todos aquellos puntos de estas normas afectados por el cambio de diseño. Estos documentos se dividen atendiendo a su rango en:

Documentos oficiales:

Documentos oficiales en los que se basa la autorización de explotación, divididos entre:

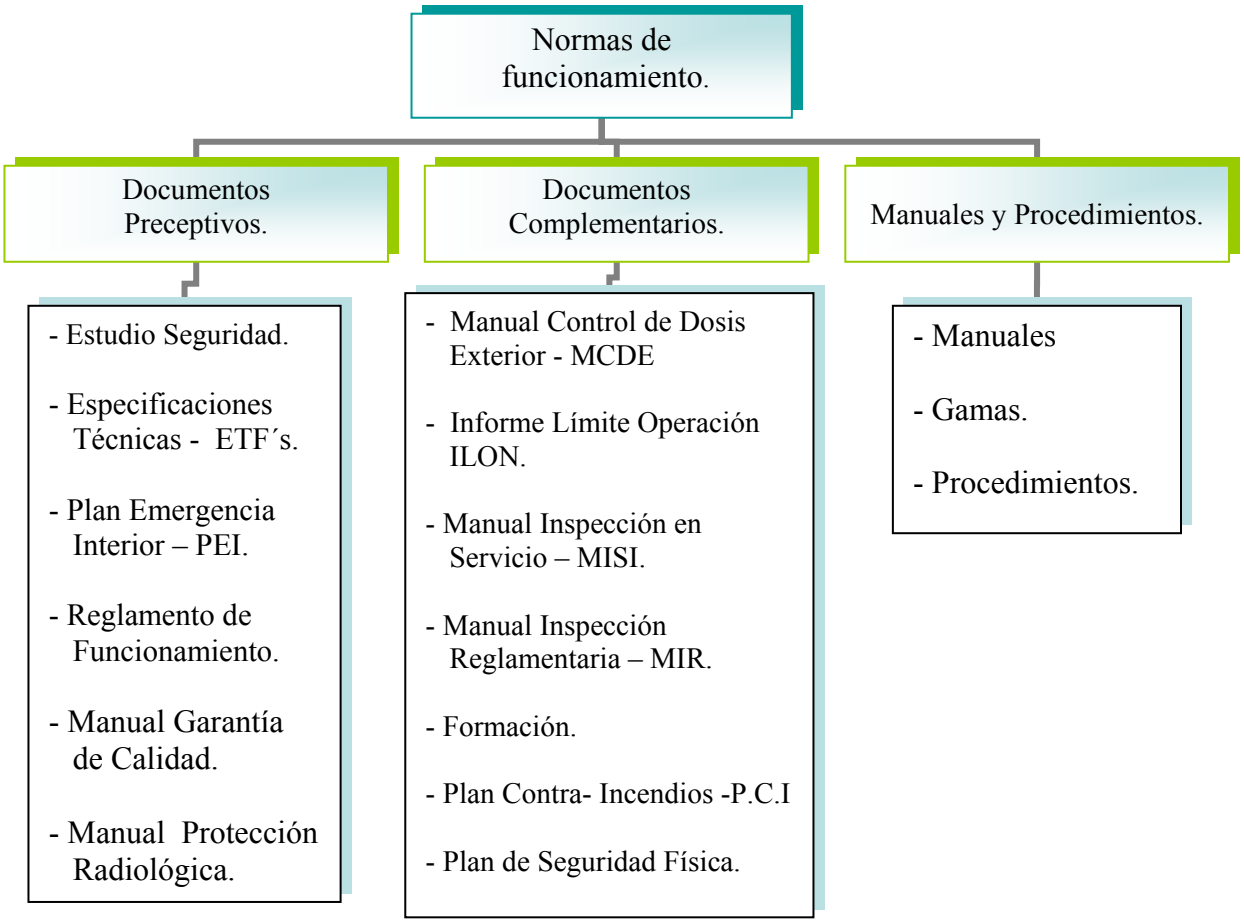
- Documentos Oficiales de Explotación, también denominados preceptivos, en los que se detalla la autorización de explotación, Estudio final de Seguridad (ES), Especificaciones Técnicas de Funcionamiento (ETF´s), Plan de Emergencia Interior (PEI), Reglamento de Funcionamiento (RF), Manual de Garantía de Calidad (MGC) y Manual de Protección Radiológica (MPR). La modificación de cualquiera de estos documentos debe ser aprobado por el CSN y el DGPEM.
- Documentos complementarios, formados por el manual de Cálculo de Dosis Exterior (MCDE), Informe de Límites de Operación (ILON), Manual de Inspección en Servicio (MISI), Manual de Inspección Reglamentaria (MIR), Manual de Formación, Manual de Protección contra-incendios y Plan de Seguridad Física.

Procedimientos

Manuales, procedimientos y gamas que garantizan el correcto cumplimiento de lo establecido en los documentos oficiales, describiendo el contenido de los mismos y diferenciando entre las operaciones realizadas en operación normal y operación de emergencia.

Permiso de Explotación de la planta

Documento emitido conjuntamente por el organismo regulador, CSN y la autoridad de la administración correspondiente, la DGPEM, que autoriza la explotación de la planta al propietario de acuerdo a los documentos aprobados.



Conjuntamente y previa aprobación del Consejo de Seguridad Nuclear, serán de aplicación todas las directivas, guías, normas citadas a continuación emitidas por organismos internacionales para regular el desarrollo de la actividad.

Regulatory Guides (RG)

Guías reguladoras del NRC. Estas guías definen las direcciones consideradas aceptables por la NRC para cumplir con el 10 CFR 50 (código de Regulaciones Federales). Estas guías son evaluadas y asumidas como propias por el CSN.

Generic Letters (GL)

Cartas genéricas emitidas por le NRC para fijar requisitos o dar recomendaciones a plantas, sobre temas puntuales. Estas cartas son evaluadas y asumidas por el CSN como propias.

IE Bulletins

Boletines emitidos por el NRC que incluyen requisitos genéricos, como consecuencia de inspecciones. Estos boletines son evaluados y asumidos como propios por el CSN.

Information Notices (IN)

Documentos informativos emitidos por el NRC a raíz del resultado de inspecciones, incidentes o anomalías que pueden tener alcance genérico.

NUREG

Documentos emitidos por el NRC, pudiendo contener informaciones, regulaciones, requisitos, evaluaciones etc.

NUREG/RG

Documentos emitidos por organismos ajenos al NRC, asumidos por este, suelen ser informativos o servir de base a regulaciones.

Guías de seguridad del OIEA

Guías que junto con los Códigos de prácticas, contienen directrices que son de aplicación en los estados adheridos.

Guías de seguridad del CSN

Contienen directrices y métodos recomendados por el Consejo de Seguridad Nuclear para orientar a los usuarios en la aplicación de la Regulación nuclear Española. No son de obligado cumplimiento.

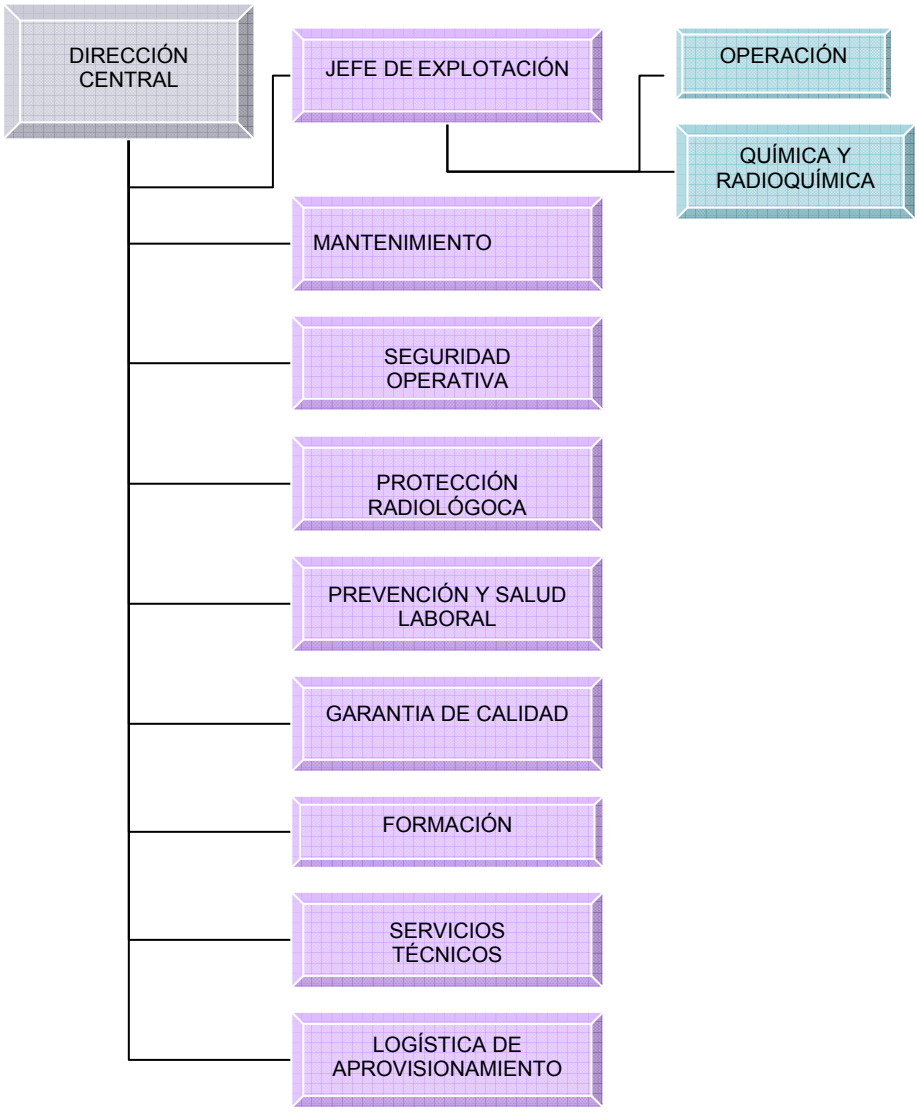
Normas UNE-EN

normas de uso genérico emitidas por la Asociación Española de Normalización y certificación. Guías para los fabricantes y compradores en el diseño de equipos y componentes. No son de uso obligatorio.

Normas ANSI

Normas de uso genérico emitidas por el American Nacional Standar Institute. Guías para los fabricantes y compradores en el diseño de equipos y componentes. No son de uso obligatorio.

Organigrama funcional. Por último el desarrollo e implantación de una modificación requiere la intervención de toda la organización, dividida en los diferentes servicios involucrados en la gestión del emplazamiento, detallados en el siguiente organigrama funcional:



1. Introducción

1.1. Descripción del suceso

Durante la realización de tareas mantenimiento del anillo contra-incendios, se detecta en diversos puntos de la tubería instalada, la presencia de humedad acompañada de manchas rojizas en el hormigón exterior.

Se procede a descubrir y repicar el hormigón externo en un primer punto de la tubería, hasta llegar a la zona de la primera unión soldada, comprobando que el origen de la humedad detectada proviene de fugas localizadas en esta zona, detectando al mismo tiempo la degradación en el exterior de la camisa de chapa de la tubería descubierta.

Conocida esta situación, se realizan catas en el resto de zonas del anillo en las que se ha detectado humedad durante los trabajos de mantenimiento, comprobando la existencia de tramos degradados, distribuidos de forma generalizada y aleatoria en todo el sistema.

Tras las inspecciones previas se determina que el estado del sistema presenta una situación de degradación que podía provocar:

- Fallo a corto y medio plazo por fugas. Degradación del sistema por debajo del nivel de funcionamiento requerido.

- Fallo a medio y largo plazo por suma de fugas o rotura. Degradación e inoperabilidad del sistema, incapacidad para realizar las funciones definidas.

Se decide llevar a cabo una primera intervención de tipo correctivo, sustituyendo los tramos en los que se detectan fugas por tubería nueva del mismo tipo (cambio de igual por igual), para reestablecer la operabilidad del sistema de forma provisional hasta decidir la solución definitiva.

De acuerdo a las normas de funcionamiento vigentes en la central, toda declaración de condición degradada o anómala de un sistema o componente, debe ser notificada al organismo regulador (CSN).

Seguidamente se deben poner en marcha las herramientas necesarias para el estudio del suceso ocurrido, factores que lo han originado y determinar las medidas a tomar para reponer el sistema y/o componente, para garantizar su funcionamiento de acuerdo a las condiciones de servicio especificadas en las bases de diseño.

1.2. Sistema actual

El primer paso necesario para el diseño y la evaluación de las pruebas y ensayos a realizar, así como para la realización de todos los estudios posteriores, es conocer las características y funcionamiento de la instalación contra-incendios existente en la central y los componentes y equipos que lo conforman.

Características generales

Este sistema no está relacionado con la seguridad nuclear, entendiendo como elemento de seguridad nuclear aquellos responsables de:

- Asegurar la integridad del circuito del fluido refrigerante del reactor.
- Parar el reactor y mantenerlo en parada segura.
- Impedir o mitigar las consecuencias de un accidente que pueda provocar dosis potenciales al exterior de la central superiores a las establecidas en la legislación vigente.

Sí esta relacionado con la seguridad industrial y está diseñado para:

- Detectar y combatir los incendios, proteger a la central de los daños que puede producir el fuego.
- Minimizar los riesgos del personal en caso de incendio.
- Disminuir la pérdida de propiedades.

Funcionamiento

El funcionamiento esta basado en la aplicación de los conceptos básicos, protección pasiva y protección activa de las instalaciones.

Las medidas de protección pasiva. Están incluidas en el diseño de la propia planta con el estudio del "Incendio Base de Diseño", aquel que puede causar un daño importante en áreas locales y no iniciadas las acciones contra incendios hallan alcanzado el máximo grado de combustión.

En este cálculo se postula la combustión completa de todo el combustible disponible en un área o el consumo de todo el comburente disponible, liberando la carga térmica total bajo estas condiciones. Para este estudio es necesario el análisis de las cargas de incendio:

- Carga de Incendio. Es la cantidad de material combustible en un área determinada, que en estas instalaciones normalmente son aceites, lubricantes, aislamiento de cables y filtros de carbón activo.

- Carga de Incendio Transitoria. Aquella que de forma no continua puede encontrarse en un área determinada. Estas cargas están limitadas por los controles administrativos de la planta, de acuerdo a la guía reguladora 1.39 de la NRC.

Las estructuras, sistemas y componentes importantes para la seguridad son diseñados y situados para reducir al mínimo el riesgo de fuego. En su diseño se deben utilizar siempre que sea posible, materiales no combustibles y resistentes al calor, especialmente en el recinto de contención y en sala de control.

La protección de los equipos relacionados con la seguridad se realiza mediante la separación o interposición de barreras entre el elemento y el riesgo. En el caso de sistemas redundantes, se establece separación física entre ellos.

Medidas de protección activas. Están divididas a su vez en sistemas de detección y sistemas de extinción.

El sistema de detección. Consiste en un conjunto de lazos de detección locales y de áreas, cada uno de los cuales puede incluir varios detectores, que envían señal de alarma o defecto a un cuadro local. Este es responsable de la activación de la alarma acústica y de transmitir la señal al cuadro central situado en sala de control principal de planta. Los tipos de detectores utilizados son:

- Iónicos de humo.
- Fotoeléctricos de humo.
- Térmicos de área.
- Térmicos localizados.
- Ultravioletas.
- Infrarrojos.
- Detectores iónicos en conductos eléctricos.

El sistema de extinción. Puede ser automático o manual, para los sistemas automáticos se emplean sistemas fijos de sprays, sprinklers y sprinklers de preacción de agua o FE-13 (HFC-23) por inundación del recinto a proteger. En los sistemas manuales se utilizan sistemas fijos de sprays de agua o espuma, actuados por apertura de válvula manual, mangueras de agua y anhídrido carbónico y extintores de agua presurizada, anhídrido carbónico, polvo seco y FE-13 (HFC-23). Están repartidos en los distintos edificios y en forma de hidrantes repartidos por el exterior de las instalaciones.

De esta forma queda cubierta la protección contra incendios de los edificios detallados en la siguiente lista:

- Edificio de combustible.
- Edificio Auxiliar.
- Edificio de refrigeración de componentes.
- Edificio de penetraciones a turbinas.
- Edificio de contención.
- Edificio de control.
- Edificio de generadores diesel de emergencia y centro de apoyo técnico.
- Edificio de turbina.
- Edificio de aparellaje eléctrico, transformadores principales y auxiliares.
- Casa de bombas y áreas exteriores.
- Edificio de desechos radioactivos.
- Edificios de solidificación y almacén de desechos radioactivos.
- Edificio de taller caliente.
- Edificio de desmineralización y laboratorios.

El aporte de agua se realiza desde los dos tanques de almacenamiento, que disponen de una capacidad de 1135 m³ cada uno. Estos tanques alimentan a las bombas del sistema, una bomba principal accionada por motor eléctrico y dos principales accionadas por motores diesel, las tres con una potencia nominal de 150 cv aproximadamente y caudal normal de 355 m³/h.

Anillo Principal del sistema contra-incendios

Es el componente principal del sistema y objeto de la modificación. Actualmente esta formado una tubería principal de diámetro 300 mm de tipo bonna (hormigón armado y chapa) que rodea la central en forma de anillo. Esta divido en tramos enterrados, unidos por arquetas visitables, que cierran el circuito.

Dentro de las arquetas están situadas unas válvulas de seccionamiento que permiten aislar una parte del circuito en caso de avería para disponer del resto. Estas válvulas así como el resto de líneas aéreas y elementos del sistema se unen y tienen continuidad con la línea enterrada mediante transiciones metálicas, denominadas cabos extremos, terminaciones embridadas del anillo que garantizan la correcta conexión al resto de elementos del sistema.

De las arquetas parten las tuberías secundarias de 200 mm de diámetro que van a cada uno de los edificios, a las zonas que requieren agua para su protección contra-incendios y a las tuberías que enlazan con los 20 hidrantes disponibles en la planta. Estas tuberías siempre están duplicadas para cada edificio, de forma que en caso de rotura de una de ellas, siempre se dispone de otra cerrando las válvulas de aislamiento correspondiente (sistema redundante).

Las válvulas siempre permanecen abiertas para garantizar la disponibilidad y aporte continuo de agua. De esta forma se cumple con los requisitos de diseño que exigen que el sistema se encuentre lleno de agua y a una presión permanente de 9´5 Kg/cm2, gracias a la actuación del tanque acumulador hidroneumático existente en el sistema.

El anillo principal del sistema contra-incendios esta compuesto por los siguientes elementos:

Fluido de servicio

El fluido que circula por la tubería es agua potable aportada desde la red de abastecimiento exterior. Esta agua se almacena en los tanques de almacenamiento del recinto de bombas.

Tubería tipo "bonna"

Esta tubería está formada por tres partes claramente diferenciadas (figura 1.1):

- *Camisa de chapa:* su función principal en el conjunto es proporcionar estanqueidad y participar en la resistencia mecánica de la tubería.

  La camisa instalada fue construida con acero al carbono laminado en caliente, de espesor 1,5 mm, de acuerdo a la especificación aplicable en ese momento, para el material tipo acero 12 L2 según norma UNE 36090.

Las características exigidas al material mediante certificado DIN 50049 tipo 3.1.c. (ensayos por colada de material) fueron:

- Mecánicas

Carga rotura	Límite elástico
≥ 30 kg/mm²	≥ 24 kg/mm²

- Químicas (%):

C	Mn	P	S	N
0.12 max.	0.20-0.45	0.05 max.	0.05 max.	0.011 max

- *Revestimiento exterior:* revestimiento formado por hormigón armado con mayado de acero que proporciona las propiedades de resistencia mecánica al conjunto y protege la camisa de chapa interior de la corrosión y de la acción de agentes exteriores.

- *Revestimiento interior:* revestimiento de hormigón que protege la parte interior de la camisa de la corrosión y de la acción de agentes que circular por la tubería. Evita la formación de concreciones asegurando un gradiente hidráulico débil y constante.

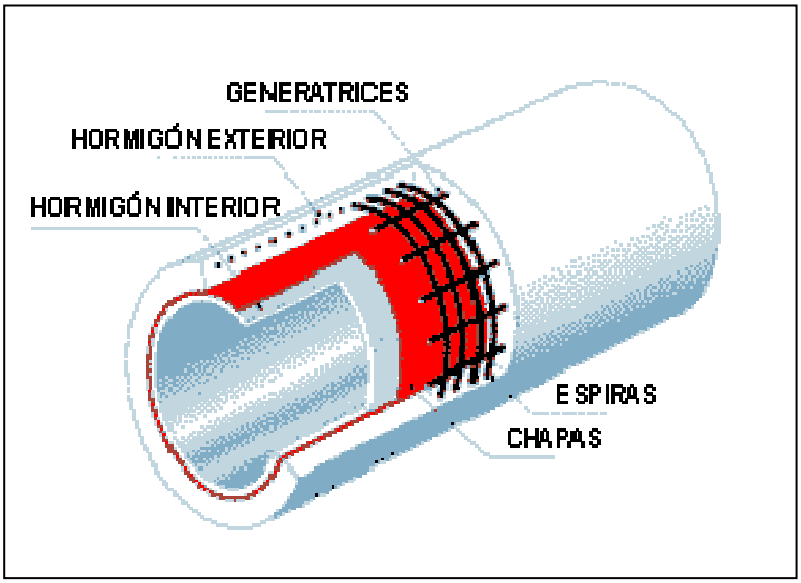


Figura .1.1. Detalle tubería tipo "bonna"

Instalación de la tubería

Uniones de tramo (figura 1.2). Este tipo de tubería se suministra comercialmente en tramos prefabricados de 6 a 8 metros de longitud en función del fabricante. Para su conexión se utiliza el sistema de "boquillas" situadas en los extremos (figura 1.3).

Estas boquillas están formadas por chapa del mismo tipo utilizado para la camisa, en este caso de 3 a 5 mm de espesor. Cada tramo de tubería consta de una boquilla hembra en un extremo, de forma que los tramos se insertan uno en el interior del otro y se unen mediante soldadura manual, desde el exterior e interior en función del diámetro de la tubería instalado.

En este caso, de acuerdo a las especificaciones aplicables al sistema, las uniones están realizadas desde el exterior mediante soldadura manual de tipo en ángulo "fillet-weld" (figura 1.3), utilizando los procedimientos de soldeo debidamente aprobados y soldadores homologados según código ASME Sección IX "*Welding and Brazing Qualifications*".

El material de aporte utilizado es electrodo de acero al carbono revestido de tipo básico, especificación tipo SFA 5.1, grado E-7018, de acuerdo a la norma ASME, Sección II. "*Specification for Welding rods, Electrodes and Filler Metals*".

Características químicas (%):

C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo
--	1.60 max.	0.90 max.	--	--	0.30 max	0.20 max.	0.30 max.

Finalizada la soldadura se realiza el sellado de la junta exterior mediante mortero de similares características a utilizado para el recubrimiento de hormigón del resto de tubería.

Los diámetros de 200 y 300 mm utilizados, no permite realizar la soldadura de sellado interna de la unión ni el posterior recubrimiento de mortero de la zona interna de esta unión.

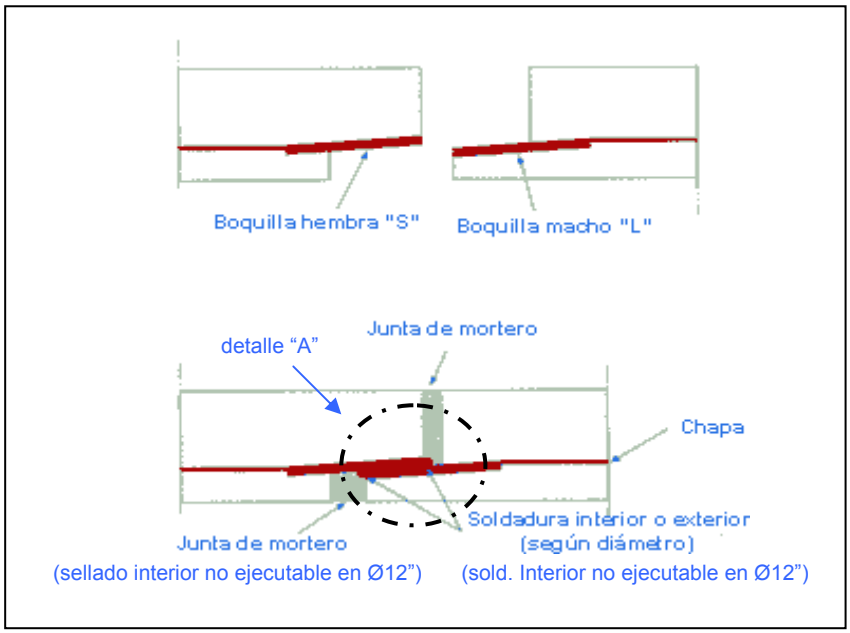


Figura.1.2. Detalle constructivo de las uniones

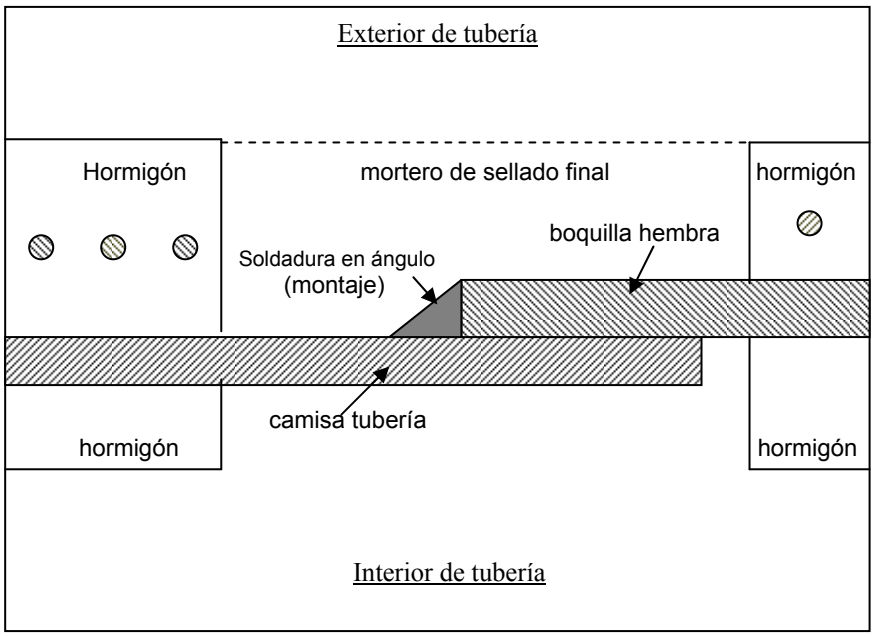


Figura 1.3. Detalle "A". Croquis típico de unión soldada en ángulo, tubería bonna Ø12"

Condiciones ambientales de servicio del anillo

La tubería actual está instalada formando un anillo alrededor de las instalaciones, circula enterrada, a una profundidad que puede variar entre 1700 y 1800 mm. Como único elemento de protección cuenta con un lecho y cobertura de árido común que evita el contacto directo de la tubería con elementos externos y mejora el drenaje de agua evitando acumulaciones en la zona próxima a la tubería (figuras 1.4 y 1.5).

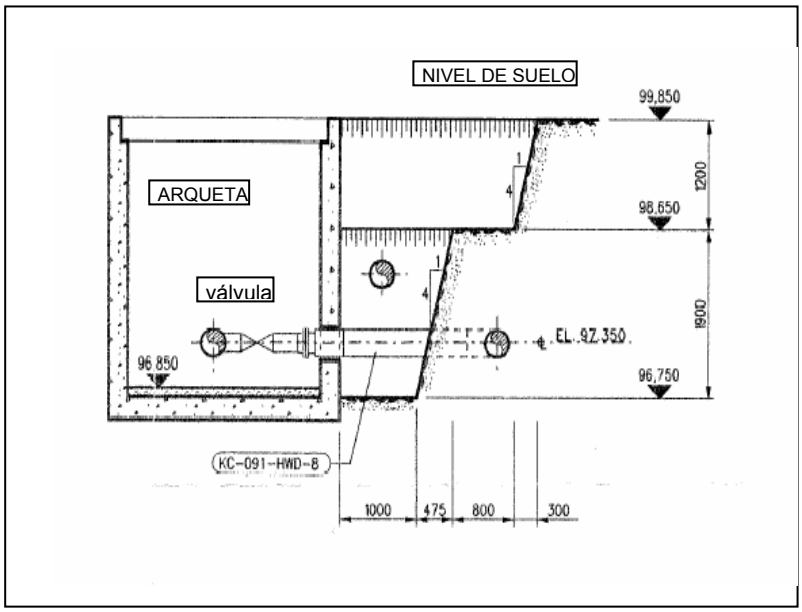


Figura.1.4. Disposición típica de tubería en la entrada e interior de las arquetas

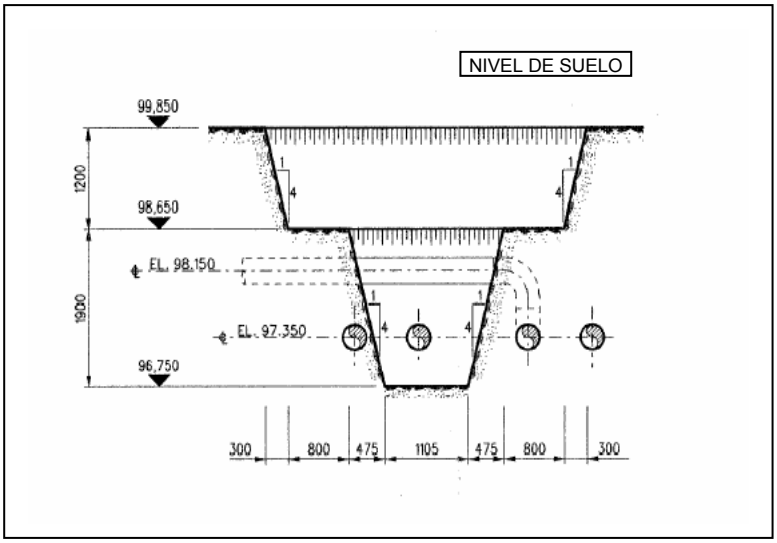


Figura.1.5 Disposición típica de tubería en los tramos entre arquetas (sección)

Bases de Diseño del sistema contra-incendios

Son las normas definidas en las Bases de licencia o explotación de aplicación para el diseño del sistema contra-incendios son:

Clasificación

Clase de seguridad: (ANSI N 18,2/1973 / IEEE-308-1974)	NNS. Seguridad no nuclear
Categoría Sísmica: (R.G. 1.29 Rev. 3 / ANSI N 18.2/1973)	2
Clase Nuclear: (ASME III)	No aplica. Convencional
Grupo de calidad: (10 CFR 50.55a/ R.G.126 Rev. 3)	D
Clasificación del proyecto	2D

Regulación

Criterios 10 CFR 50 AP. A.	2, 3, 54, 56.
Guías Reguladoras	1.52(R.2), 1.78(R0), 1.101(R2), 1.120(R.1).

Clasificación

Secciones Estudio de Seguridad	9.5.1
Especificaciones Técnicas	3/4.7.11, 3/4.3.3.8
Clase Nuclear	Branch Technical Position CMEB 9.5.1 Rev. 2 Julio 88.

Norma Diseño

Código	ANSI/ASME B31.1 Ed. 1977 "standard of pressure, Power Piping"

2. Selección de muestras

Catas realizadas en el sistema.

Se han realizado nuevas catas a lo largo del sistema instalado, para evaluar su estado. Las catas se realizan en zonas anexas a las arquetas de conexión con los ramales, descubriendo la tubería enterrada y retirando el hormigón de un área determinada hasta llegar a la camisa de chapa por su parte exterior.

En algunos casos han coincidido con tramos de camisa de chapa y en otros con zonas de unión en las se puede inspeccionar la camisa, las boquillas de unión y soldadura.

Sin dañar esta chapa se retiran todos los restos adheridos hasta conseguir una zona que permita la inspección visual del material. Tras la inspección visual se marcan las zonas de medición de espesores y se realiza una limpieza mecánica mediante cepillado para permitir la medición mediante equipo de ultrasonidos.

Se selecciona la localización de estas catas de forma que con un número razonable de muestras, se obtengan resultados representativos de las diferentes áreas de la central y diámetros de la tubería bonna instalada (figura 2.1).

La identificación de las catas se ha realizado tomando como referencia la arqueta mas cercana a la cata, como se detalla en la siguiente tabla.

IDENTIFICACIÓN	TIPO	LOCALIZACIÓN
Cata AV-1	tubería bonna Ø300mm	Anillo Zona este (junto a edificio bombas impulsión)
Cata AV-2	tubería bonna Ø300mm	Anillo Zona este (junto a edificio bombas impulsión)
Cata AV-4	tubería bonna Ø200mm	Anillo zona norte (junto a edificio diesel emergencia)
Cata AV-6	tubería bonna Ø300mm	Anillo zona oeste (junto a edificio de administración)
Cata AV-8	tubería bonna Ø300mm	Anillo zona oeste (junto a edificio de talleres y Mto.)
Cata AV-8	tubería bonna Ø300mm	Anillo zona oeste (junto a edificio de talleres y Mto.)
Cata AV-11	tubería bonna Ø300mm	Anillo zona centro (junto a edificio de turbinas)

IDENTIFICACIÓN	TIPO	LOCALIZACIÓN
Cata AV-14	tubería bonna Ø200mm	Anillo zona sur-este (junto a caldera auxilliar)
Cata AV-16	tubería bonna Ø200mm	Anillo zona sur (junto a edificio de captación de bombas agua de mar)
Cata AV-17	tubería bonna Ø300mm	Anillo zona sur-oeste (junto a edificio de talleres y Mantenimiento.)

Toma de muestras para laboratorio

Durante los trabajos de reparación se recogieron diferentes muestras de tubería de los tramos sustituidos para su análisis en laboratorio.

Estas fueron seleccionadas de forma que partiendo de un número razonable de muestras, se obtuvieran resultados representativos de las diferentes áreas de la central, tipo de tubería y diferentes diámetros instalados (figura 2.1).

Las muestras fueron cortadas e identificadas de acuerdo a su localización, tomando como referente la arqueta más cercana, como se detalla en la siguiente tabla (figura 2.1):

IDENTIFICACION	TIPO	LOCALIZACIÓN
Reparación AV-12	tubería bonna Ø300mm	Anillo zona centro (junto a edificio de turbinas)
Reparación AV-14	tubería bonna Ø200mm	Anillo zona sur-este (junto a caldera auxiliar)
Reparación AV-16	tubería bonna Ø200mm	Anillo zona sur (junto a edificio de captación de agua de mar)
Reparación AV-4	tubería bonna Ø200mm	Anillo zona norte (junto a edificio diesel emergencia)
Reparación AV-8	tubería a.carbono Ø4"	Anillo zona oeste (junto a edificio de talleres y Mantenimiento)

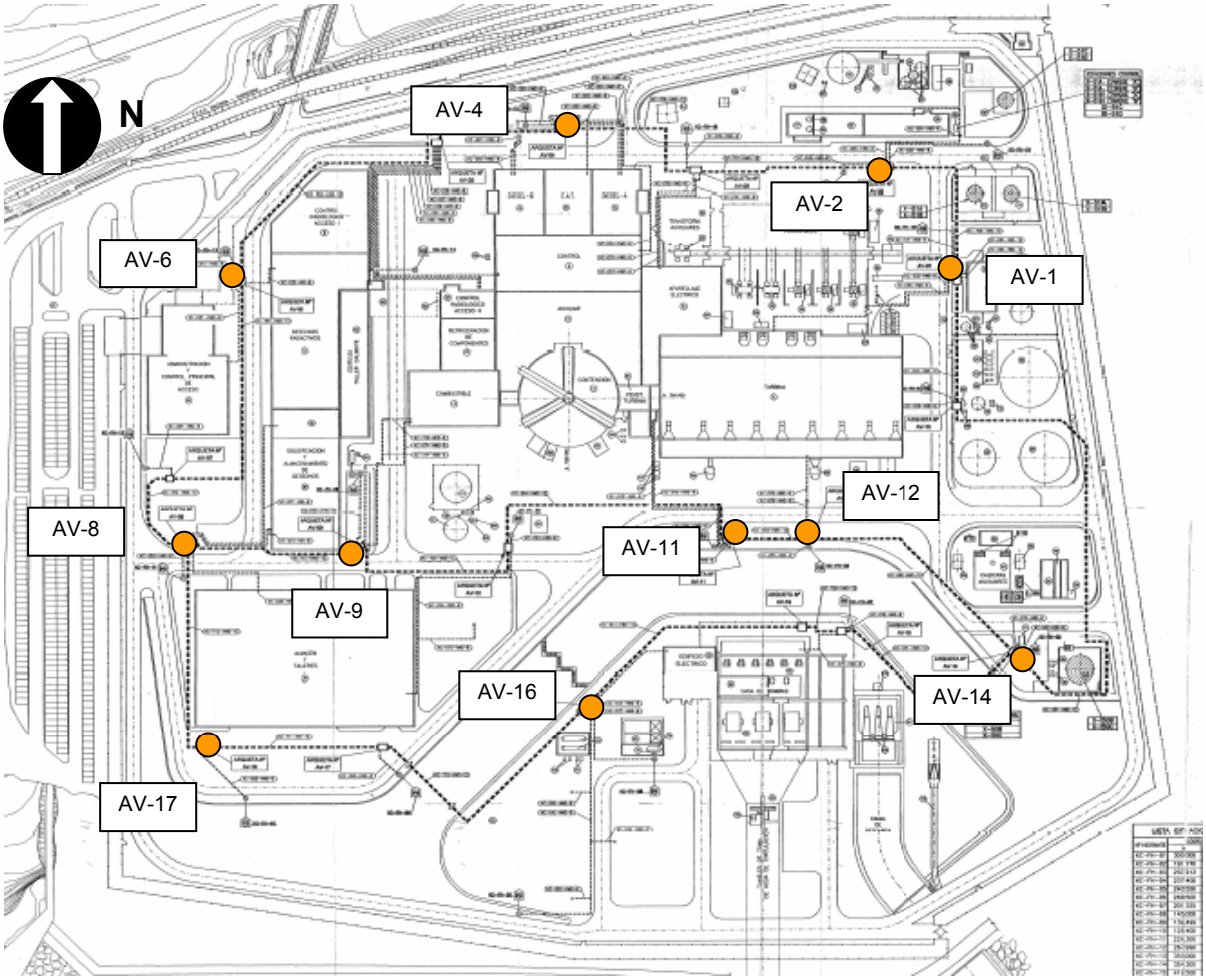


Figura.2.1. Disposición en planta de las arquetas en las que se han realizado las catas y recogido muestras de tubería para análisis en laboratorio

3. Procedimiento experimental

3.1. Ensayos no destructivos

3.1.1. Inspección visual

Para la inspección visual se ha utilizado la técnica de visión directa, sin ayuda de equipos de inspección y registro. Los resultados obtenidos se recogen en los respectivos informes realizados para cada una de las catas anotando su identificación y posición en el sistema.

El ensayo de los resultados se realizó de acuerdo a los requisitos recogidos en la norma ASME sección V, "*Non-destructive Examination*", artículo 9 de inspección visual.

La evaluación de los resultados de la inspección se ha realizado tomando como referencia las especificaciones y criterios de aceptación recogidos en la norma de diseño de la tubería, ANSI-ASME B31.1.

Es recomendable que el personal que realice estos ensayos esté cualificado de acuerdo a las normativas de ensayos no destructivos aplicables, según SNT-TC1A y/o UNE-EN 473, mínimo nivel II en la técnica de inspección visual (VT).

3.1.2. Medición de espesores

El funcionamiento de este técnica de ensayo no destructivo está basado en las propiedades de la propagación de las ondas ultrasónicas en los materiales sólidos.

Estas ondas se propagan a través del material con frecuencias que oscilan entre 0,5 y 20 MHz, generadas en este caso por los elementos piezo-eléctricos, componente principal de los denominados palpadores. Estos elementos tienen la propiedad de transformar un potencial eléctrico en vibración mecánica (impulso) y viceversa.

Conocida la frecuencia de las ondas propagadas en el material, unido a que la velocidad de propagación del sonido es característica para cada material, especialmente en el caso de los sólidos, permite determinar la distancia recorrida por una onda en un determinado espacio de tiempo mediante la siguiente fórmula que los relaciona:

$$\lambda = \frac{V}{F}$$

Siendo λ la longitud de onda, **F** su frecuencia de la onda **V** la velocidad de propagación del sonido en el material

La propagación de las sonoras de un medio a otro se rigen por las leyes físicas de la reflexión y refracción, teniendo en cuenta la Impedancia acústica, cuya relación determina el índice de refracción de un medio respecto a otro, mediante la siguiente fórmula:

$$m = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{V_1 \rho_1}{V_2 \rho_2}$$

Siendo **m** el índice de refracción entre los dos medios, **Z** la impedancia acústica de cada uno de ellos, **V** la velocidad característica y ρ su densidad.

Cuando una onda incide sobre una superficie plana que separa dos medios, una parte de la energía se refleja y la otra se propaga en el segundo medio sin variar la dirección en ambos casos. Este fenómeno recibe el nombre de Incidencia Normal, cumpliendo la siguiente fórmula:

$$I_o = I_r + I_t$$

Siendo I_o la intensidad incidente, I_t la instensidad transmitida y I_r la intensidad reflejada se debe cumplir el soguiente:

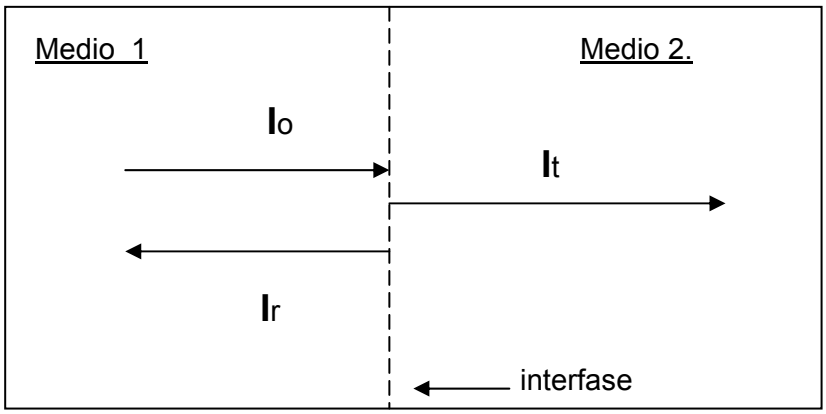


Figura.2.2. Comportamiento de las ondas planas en superficies de interfase de materiales

Medición de espesores. Método de resonancia

Partiendo de estas leyes fundamentales, el método de medición de espesores se basa en el fenómeno de resonancia que se produce en un tubo o lámina cuando el espesor es igual o múltiplo de una semilongitud de onda. Este fenómeno nos permite la medición de espesores de superficies paralelas.

Si en una probeta de caras paralelas de espesor "e" se propaga un haz de excitación continua y de amplio espectro de frecuencias, las oscilaciones cuya semilongitud de onda sea un submúltiplo del espesor de la probeta se reforzarán al superponerse en fase, debilitándose las restantes y dando lugar a un fenómeno de resonancia, es decir a la formación de ondas estacionarias. De esta forma, las oscilaciones características se podrán definir por el número de semilongitudes de onda contenidas en el espesor de la muestra.

Así obtendremos la oscilación característica fundamental o primera, la correspondiente a una semilongitud de onda por espesor y la segunda correspondiente a dos semilongitudes de onda y la de orden n a n semilongitudes de onda (figura.2.3.).

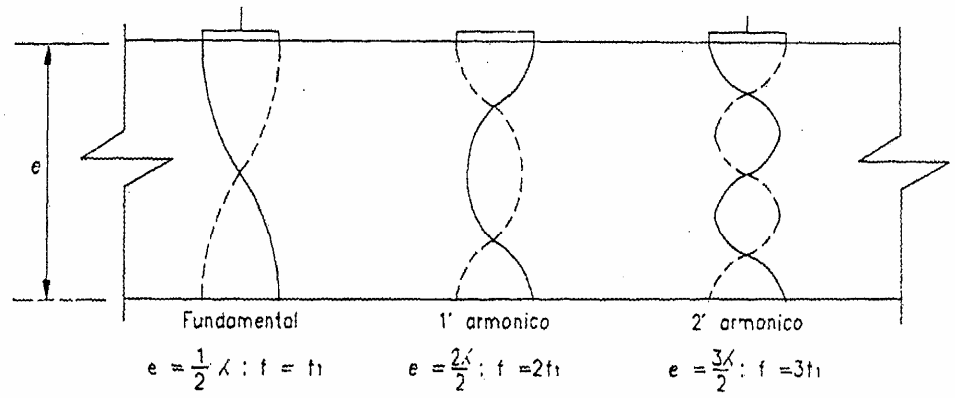


Figura.2.3. Representación de oscilación característica , y primer y segundo armónico

La frecuencia característica de orden n(fn) será n veces la frecuencia característica fundamental o de primer orden, f1.

$$F_n = n f_1$$

En una muestra dada habrá que variar la frecuencia de excitación hasta que se presente la resonancia. Si esto ocurre para la frecuencia característica fundamental, es decir, si la frecuencia medida f es f1 , el espesor de la muestra será

$$e = \frac{\lambda}{2} = \frac{1}{2}\frac{V}{f}$$

Si la resonancia se presenta para una frecuencia de orden n (fn), el espesor de la muestra será:

$$e = \frac{\lambda}{2} = \frac{1}{2}\frac{n\,v}{n\,f}$$

Sin embargo si el número n es desconocido hay que partir de un estado de resonancia de orden n y provocar el orden n+1, es decir, de fn a fn+1, aumentando la frecuencia de excitación, la diferencia de f será

$$f = fn+1 - fn = f_1$$

Con lo que finalmente se obtiene el espesor de la muestra, midiendo la diferencia entre dos picos sucesivos de resonancia.

$$e = \frac{v}{2\,f}$$

La medición de espesores se realizó con equipos de impulso-eco manual , y palpadores, de haz recto, tipo bicristal (dual), frecuencia de 4 Mhz, de acuerdo a los requisitos recogidos en la normativa ASME, sección V, artículo 4 "*Inservice Ultrasonic Inspection*", para la medición de espesores en materiales metálicos.

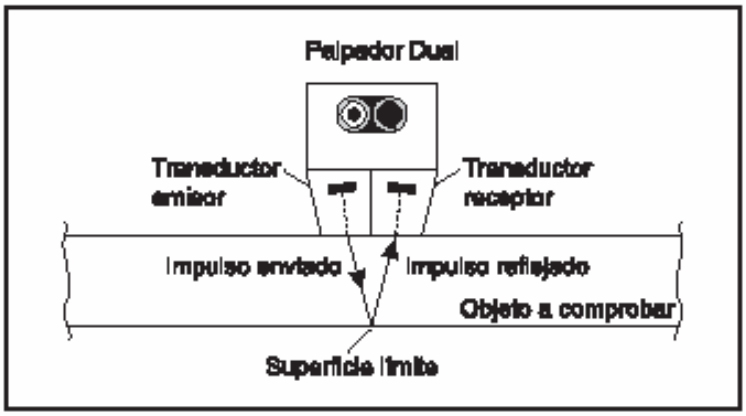


Figura.2.4. Funcionamiento de un palpador bicristal o dual . Emisión-recepción del impulso

El examen se realiza utilizando el sistema de mayado de 40x40 mm marcado en la zona de la cata descubierta, registrando el valor medio de tres mediciones realizadas en cada punto de intersección de la malla y de aquellos en los que se ha apreciado deterioro significativo de la tubería.

Es recomendable que el personal que realice estos ensayos esté cualificado de acuerdo a las normativas de ensayos no destructivos aplicables, según SNT-TC1A y/o UNE-EN 473, mínimo nivel I en la técnica de medición de espesores por ultrasonidos (UT).

3.2. Ensayos Destructivos

3.2.1. Examen macrográfico

Inspección visual con lupa estereoscópica (microscopio). Mediante esta técnica se pueden obtener imágenes de la muestras de 5x a 50x aumentos. Estas imágenes permiten realizar las primeras valoraciones sobre la estado, composición y estructura del material.

Mediante esta técnica se podrá determinar el método con el que ha sido conformado el material, posibles alteraciones o tratamientos mecánicos y/o comprobar la existencia de defectos superficiales como pueden ser grietas, rechupes, segregaciones etc.

Para el examen de las muestras al microscopio se ha realizado una sencilla preparación de probetas, realizando cortes transversales de las muestras con sierra manual, evitando de esta forma la alteración del material por calentamiento.

Figura.2.5. Tipo de microscopio estereoscópico utilizado

3.2.2. Examen metalográfico

Este ensayo se ha realizado para corroborar el resultado obtenido mediante la inspección visual y examen macrográfico y descartar otras posibles causas del deterioro del material.

Esta técnica nos permite determinar el estado microestructural del material que compone la camisa de chapa de la tubería, obteniendo imágenes de la muestras de 50x a 2000x aumentos.

Esta técnica se basa en la observación de la superficie del metal mediante microscopio metalogáfico. Este instrumento se basa en la propiedad de opacidad de los metales y aleaciones. Esta propiedad hace que al incidir la luz sobre la superficie del metal esta se refleje y pueda ser captada por el equipo de tratamiento de imagen para su estudio.

Figura .2.6. Microscopio metalográfico con tratamiento de imagen

Preparación de la muestra. La muestra se ha cortado mediante disco y uso de refrigerante para evitar su sobrecalentamiento. Se han cortado probetas de un tamaño que permiten su uso manual. Utilizando este sistema se mantienen las características microestructurales del material.

Tras el corte se realiza la preparación superficial. La primera fase se denomina desbaste grueso, en ella se devasta la superficie de la muestra con papel de lija de granulometría 120, 140 y 160, de manera uniforme disminuyendo sucesivamente el tamaño de grano hasta llegar al papel de menor tamaño de partícula.

Finalizada esta etapa se realiza la segunda fase denominada desbaste fino, en ella se devasta la superficie de la muestra con papel de lija de granulometría 320 en adelante, de manera uniforme, disminuyendo sucesivamente el tamaño de grano hasta llegar al papel de menor tamaño de grano, normalmente 800.

En la última fase, pulido, se ha utilizado una superficie plana libre de ralladuras la cual se obtiene mediante una rueda giratoria húmeda cubierta con un paño especial cargado con partículas abrasivas, en primer lugar oxido de aluminio (alúmina) y finalmente polvo de diamante.

Ataque. El ataque químico, en función de la composición del reactivo, nos permite una mejor observación de la muestra, ya que aumenta el contraste entre sus diferentes estructuras, permitiendo su observación.

El reactivo utilizado ha sido Nital, disolución de alcohol etílico 95% y ácido nítrico al 5%. Durante un periodo de 3 a 5 segundos para evitar un ataque excesivo.

3.2.3. Microscopía electrónica de barrido (SEM) + análisis por espectrometría EDS

La potencia amplificadora de un microscopio óptico está limitada por la longitud de onda de la luz visible. El microscopio electrónico se basa en la utilización de electrones para iluminar un objeto. Dado que los electrones tienen una longitud de onda mucho menor que la de la luz pueden mostrar estructuras mucho más pequeñas.

La longitud de onda más corta de la luz visible es de alrededor de 4.000 ángstroms (1 ángstrom es 0,0000000001 metros). La longitud de onda de los electrones que se utilizan en los microscopios electrónicos es de alrededor de 0,5 ángstroms.

Los microscopios electrónicos están conformados por un cañón de electrones que emite los electrones que chocan contra la muestra a analizar, creando una imagen aumentada. Para ello utilizan lentes magnéticas para crear campos que dirigen y enfocan el haz de electrones, ya que las lentes ópticas convencionales no se pueden utilizar para esta técnica.

El sistema de vacío es una parte relevante del microscopio electrónico. Los electrones pueden ser desviados por las moléculas del aire, de forma que tiene que hacerse un vacío casi total en el interior de un microscopio de estas características. Por último, todos los microscopios electrónicos cuentan con un sistema que registra o muestra la imagen que producen los electrones.

Hay dos tipos básicos de microscopios electrónicos: el microscopio electrónico de transmisión (Transmission Electron Microscope, TEM) y el microscopio electrónico de barrido (Scanning Electron Microscope, SEM).

Para el análisis de las muestras se ha empleado la técnica de barrido (SEM) . El SEM explora la superficie de la imagen punto por punto, al contrario que el TEM, que examina una gran parte de la muestra cada vez. Su funcionamiento se basa en recorrer la muestra con un haz muy concentrado de electrones, de forma parecida al barrido de un haz de electrones por la pantalla de una televisión.

La señal emitida por los electrones y radiación resultantes del impacto se recoge mediante un detector y se amplifica para cada posición de la sonda. Las variaciones en la intensidad de la señal que se producen conforme la sonda barre la superficie de la muestra, se utilizan para variar la intensidad de la señal en un tubo de rayos catódicos que se desplaza en sincronía con la sonda. De esta forma existe una relación directa entre la posición del haz de electrones y la fluorescencia producida en el tubo de rayos catódicos. El resultado es una imagen topográfica muy ampliada de la muestra.

El aumento de la imagen producido por el microscopio de barrido resulta de la relación entre las dimensiones de la imagen final y el área de la muestra que ha sido barrida. Así, por ejemplo, si la sonda barre un área de 1 mm^2 de la muestra y la imagen en la pantalla es de 100 mm^2, ésta ha sido ampliada 100 veces. El poder de resolución de cada microscopio esta determinado directamente por el área mínima que la sonda es capaz de escanear. El menor diámetro de la sonda con un número mínimo de electrones.

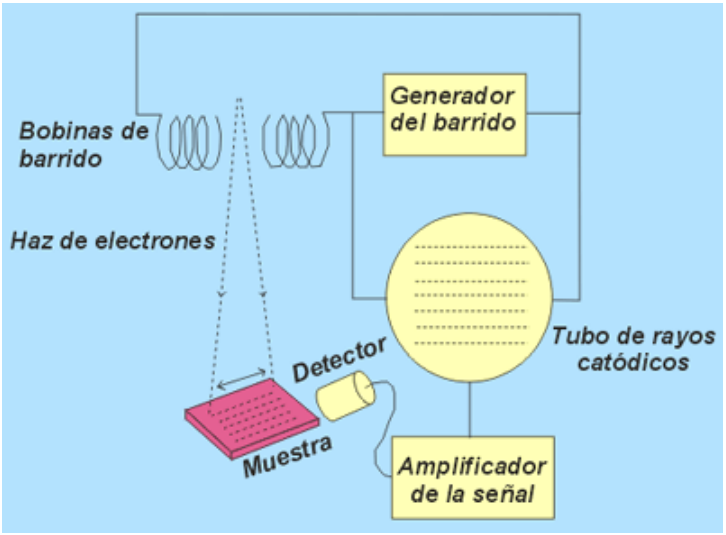


Figura.2.7. Esquema del funcionamiento típico de un Microscopio electrónico de barrido (SEM)

De todas las formas de radiación resultantes de la interacción del haz incidente y la muestra hay dos realmente fundamentales en el microscopio de barrido los electrones secundarios y los electrones retrodispersados.

Electrones secundarios. Son electrones de baja energía (decenas de eV) resultantes de la emisión por parte de los átomos constituyentes de la muestra (los más cercanos a la superficie) debido a la colisión con el haz incidente.

Con los electrones secundarios se obtiene una imagen de apariencia tridimensional de la muestra (figura 2.8).

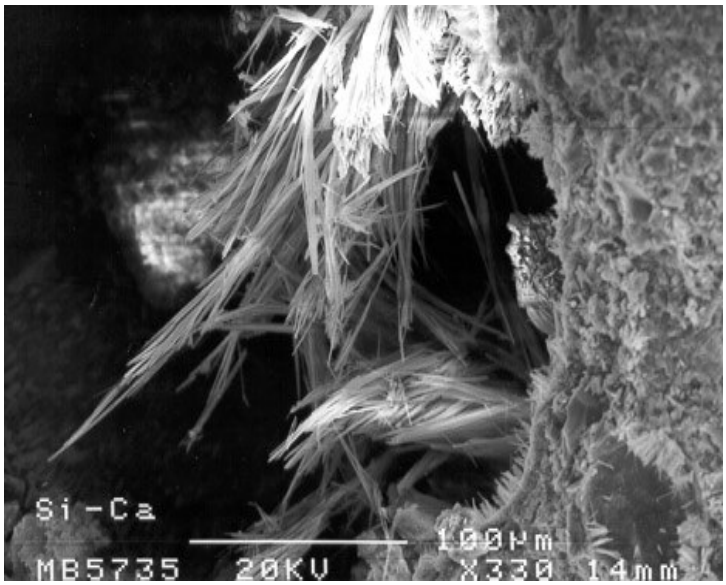


Figura.2.8. Ejemplo de imagen tridimensional (SEM), con análisis de energías secundarias

Los electrones retrodispersados son electrones del haz incidente que han interacccionado (colisionado) con los átomos de la muestra y han sido reflejados.

La intensidad de emisión de los electrones retrodispersados depende del número atómico medio de los átomos de la muestra, así los átomos más pesados producen mayor cantidad de electrones retrodispersados. Una imagen originada por los electrones retrodispersados revela diferencias en la composición química por diferencias de contraste.

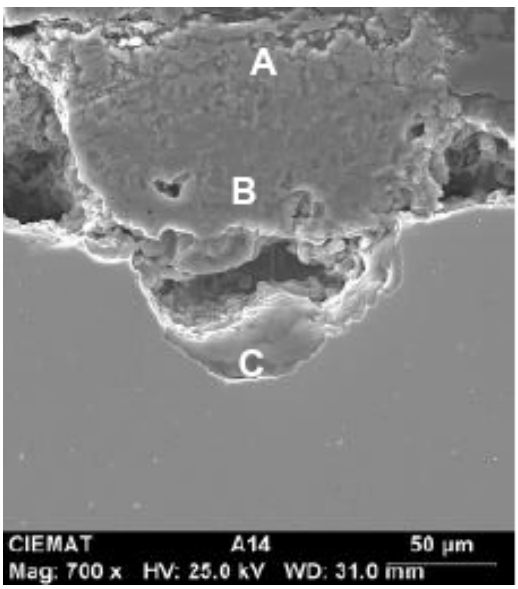


Figura.2.9. Ejemplo de imagen (SEM), con análisis de energías dispersas (EDX)

El espectro de radiación X emitido por un mineral en el proceso, es utilizado para obtener microanálisis químico mediante Espectrometría de dispersión de longitudes de onda.

Esta técnica se basa en el comportamiento de los electrones incidentes sobre la muestra. Estos excitan los átomos de la muestra y provocan la emisión de rayos X cuya longitud de onda es característica de los elementos presentes en la muestra y cuya intensidad para una determinada longitud de onda es proporcional a la concentración relativa del elemento a esa

Se ha realizado una buena preparación mediante el pulido de las muestras planas, para obtener el análisis cuantitativo al comparar la intensidad de los rayos X a cualquier longitud con la producida en las muestras estándar (patrón) de composición conocida. Para obtener resultados cuantitativos se realiza la corrección (ZAF) en función de tres factores: número atómico (Z), absorción (A) y fluorescencia (F) antes de extraer los resultados. De esta forma los resultados obtenidos llegan a tener una precisión mayor del ± 2% .

Los límites de detección de esta técnica están alrededor de las 100 ppm en análisis rutinarios, llegando a ser de 10 ppm en circunstancias excepcionales

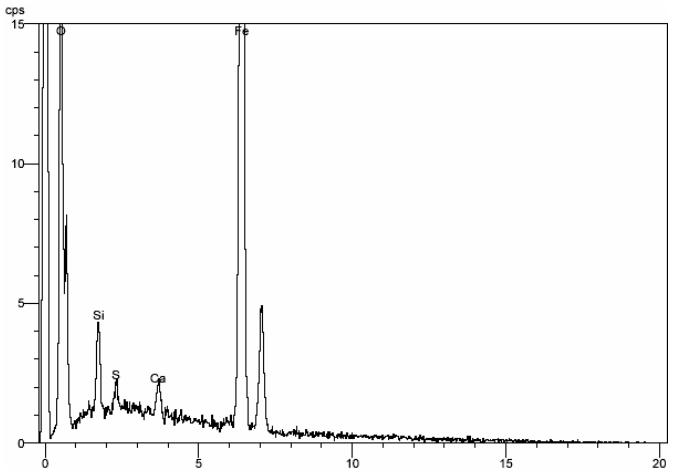


Figura.2.10. Ejemplo de análisis por espectrometría EDX

Figura.2.11. Unidad de análisis SEM + EDX en laboratorio

4. Resultados experimentales

4.1. Ensayos no destructivos

4.1.1. Resultados inspección visual

Realizado el ensayo de inspección visual en la camisa de chapa descubierta durante las reparaciones y en las catas realizadas en distintos puntos del anillo se concluye que:

- Se han detectado zonas con presencia abundante de productos de coloración pardo-rojiza, con desprendimiento de material en forma de película.

- Se observa la existencia generalizada de superficies con pérdidas de material que en algunos casos ha llegado a provocar defectos pasantes en la tubería.

4.1.2. Resultados medición de espesores

Realizado el ensayo de medición de espesores en la camisa de chapa descubierta en las catas realizadas se han obtenido los siguientes resultados:

- Se detectan en las boquillas de las zonas de unión, áreas con perdidas de espesor generalizado, de hasta 1,4 mm respecto a los valores de espesor inicial (valor nominal 5 mm).

- Se han encontrado en la chapa de la camisa (valor nominal 1,5 mm), zonas con pérdidas de espesor generalizado entre 0,1 y 0,7 mm y en las que en algunos casos los defectos llegan a ser pasantes en zonas cercanas a las boquillas de unión.

Los puntos de medición se han realizado en la intersección de los ejes de abcisas, (A ÷ B y boquillas), con los ejes de ordenadas, (1 ÷ 4), de la malla trazada en cada cata.

Se adjuntan los resultados agrupados en tablas por cada una de las catas inspeccionadas. Los valores son la media de tres mediciones en el mismo punto y se expresan en mm.

CATA AV-1	1	2	3	4
A	1,3	1,0	1,3	1,1
B	1,1	1,1	1,2	1,2
C	1,2	1,3	1,2	1,3
D	1,3	1,0	1,1	1,2

CATA AV-2	1	2	3	4
A	1,1	1,2	1,0	1,1
B	1,1	1,1	0,9	1,2
C	1,0	1,2	1,1	1,2
D	0,8	1,0	0,9	1,0
boquilla	3,1	3,3	3,0	3,1

CATA AV-4	1	2	3	4
A	1,0	1,0	0,8	1,1
B	1,1	0,9	1,0	1,0
C	1,2	1,0	1,1	0,9
D	1,1	1,1	1,2	1,0

CATA AV-6	1	2	3	4
A	1,2	1,1	1,0	1,2
B	1,1	1,1	0,9	1,2
C	1,1	1,2	1,1	1,1
D	1,3	1,1	1,1	1,0

CATA AV-8	1	2	3	4
A	1,2	1,1	1,0	1,0
B	1,0	1,1	0,9	1,1
C	1,1	1,2	1,0	0,9
D	1,0	1,2	1,1	1,0

CATA AV-9	1	2	3	4
A	1,2	1,1	1,0	1,0
B	1,0	1,1	0,9	1,1
C	1,1	1,2	1,0	0,9
D	1,0	1,2	1,1	1,0
boquilla	3,4	3,5	2,9	3,1

CATA AV-11	1	2	3	4
A	1,1	0,9	0,8	1,0
B	1,1	0,9	1,1	1,0
C	1,0	1,0	1,1	0,9
D	1,1	1,1	1,2	0,9
boquilla	3,3	3,1	3,0	2,9

CATA AV-14	1	2	3	4
A	1,2	1,0	1,0	1,2
B	1,1	1,1	0,9	1,0
C	0,9	1,0	1,1	1,1
D	1,2	1,1	1,2	1,0

CATA AV-16	1	2	3	4
A	1,0	1,0	0,8	1,1
B	1,1	0,9	1,0	1,0
C	1,2	1,0	1,1	0,9
D	1,2	0,9	1,2	1,0

CATA AV-17	1	2	3	4
A	0,8	1,0	1,1	1,1
B	1,1	1,2	1,0	1,1
C	0,9	1,0	1,1	1,0
D	1,1	1,0	0,9	1,0
boquilla	3,0	3,0	2,6	2,9

Nota: Se representan en azul los puntos cuyos valores están por debajo del 20% del espesor nominal.

4.2. Ensayos destructivos

4.2.1. Resultados muestras 1ª serie

Muestra AV-12. Tubería Ø 300 mm.

Inspección visual

Se retira el hormigón del recubrimiento de la muestra, quedando al descubierto un tramo de camisa de chapa y una zona de unión con un tramo de boquilla.

Se observa que por su parte interior la mayoría de la superficie esta limpia, presentando un aspecto homogéneo y blanquecino, excepto en su parte superior. Esta zona corresponde a la zona de unión, no recubierta de mortero, en la que se observa la acumulación de productos de coloración pardo-rojiza (figura 4.2).

Por la parte exterior de la tubería se observa una degradación generalizada de toda la superficie, excepto en la parte inferior (figura 4.4).

Figura.4.1. Hormigón interior en contacto con el tubo

Figura.4.2. Cara interior camisa tubo

Figura.4.3 Aspecto hormigón exterior

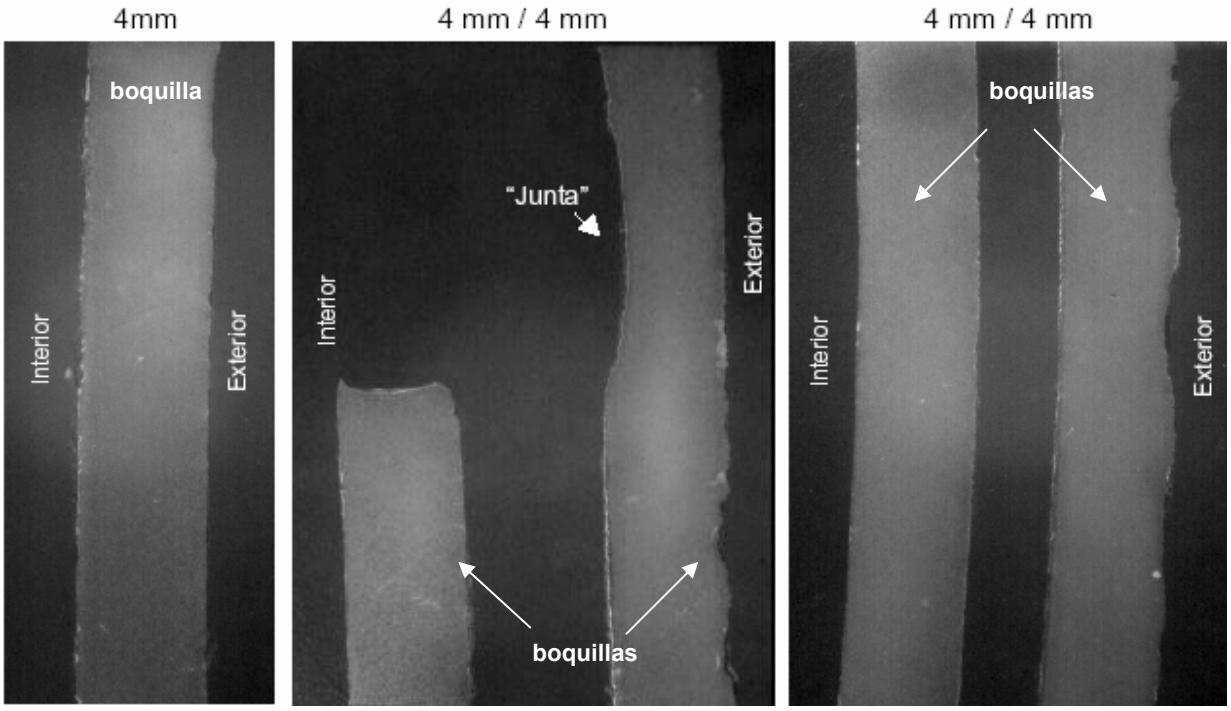
Figura.4.4. Cara exterior camisa (retirado hormigón)

Exámen metalográfico

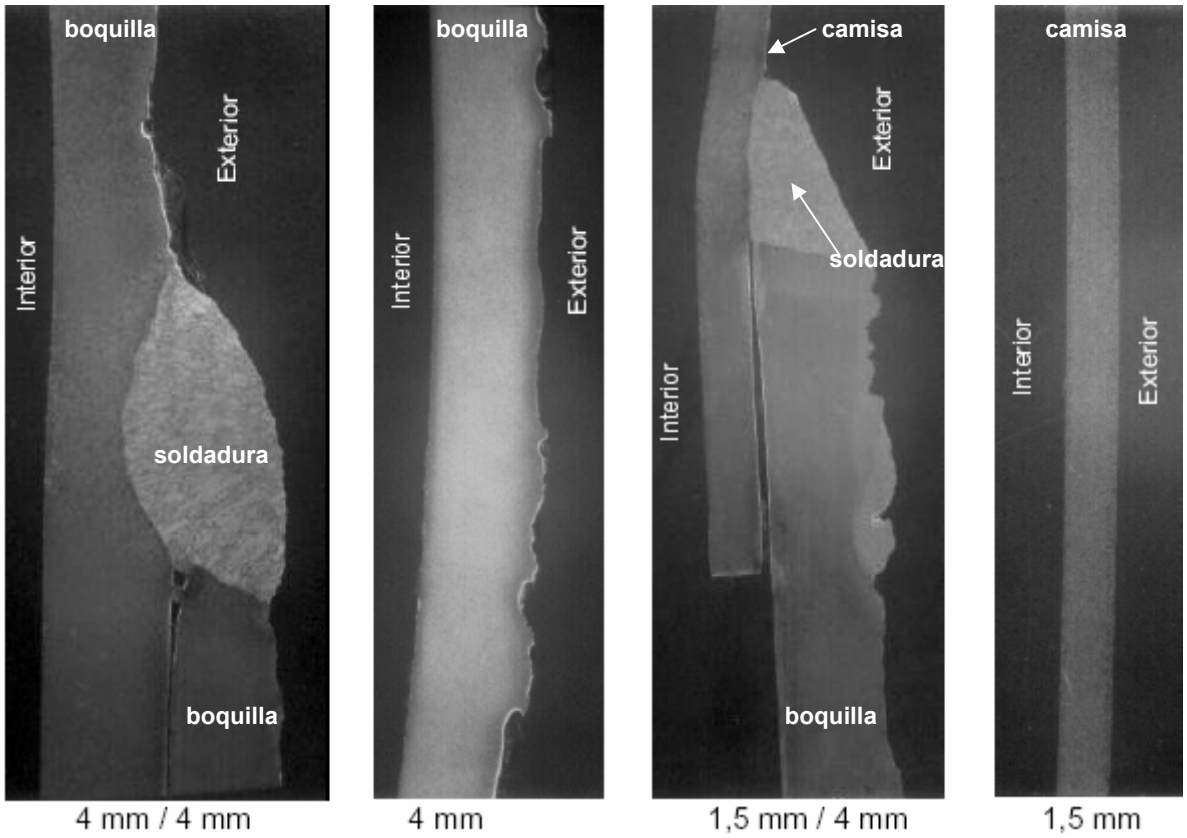
En la muestra analizada se observan pérdidas de espesor por el interior en la zona de unión de tramos, dejando un espesor remanente de 3,1 mm en las boquillas (figuras 4.5 y 4.6).

En la parte exterior de la camisa de chapa se observa la formación de películas de material en toda la superficie. Dado el aspecto de estas películas podría tratarse de óxidos de hierro. Ha habido pérdidas de espesor de hasta 1,4 mm en algunos puntos de las boquillas (figuras 4.5, 4.6 y 4.7).

No se han detectado en la tubería la presencia de defectos originados por procesos de corrosión tipo intergranular, corrosión por fatiga, corrosión por fricción, etc. ni actuación de otros agentes externos.



Figuras.4.5. Examen metalográfico de la muestra AV-12. Detalle de boquillas



Figuras.4.6. Examen metalográfico de la muestra AV-12. Detalle de boquillas y zonas de unión (soldadura)

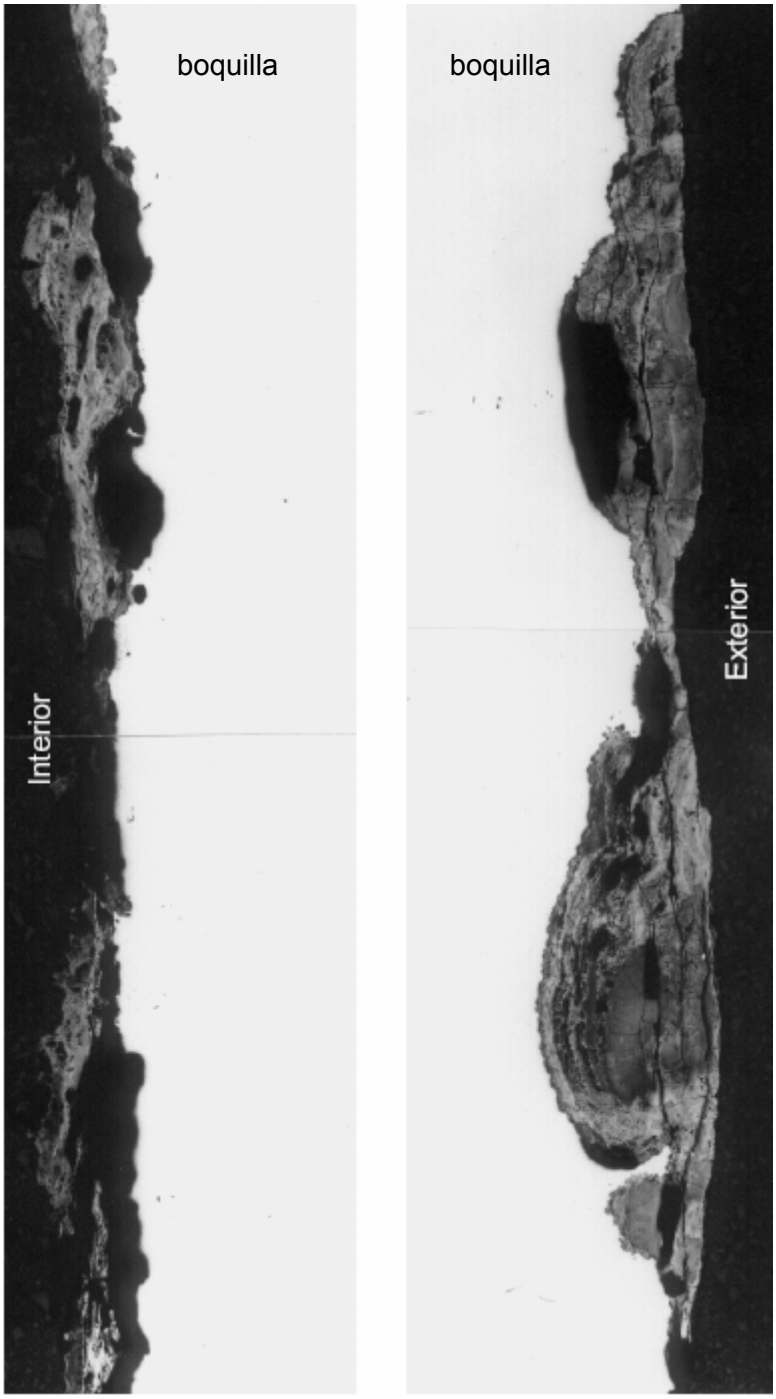


Figura.4.7. Examen metalográfico muestra AV-12. Detalle de zona externa e interna de boquillas situadas en la zona de unión

Análisis de material (EDX)

Los análisis realizados en las zonas deterioradas muestran, tanto por la parte interna como externa, la presencia de elementos típicos de los compuestos de óxido de hierro (Fe) (tabla 4.1).

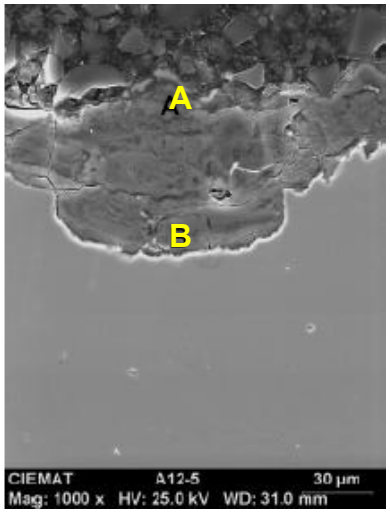
Se detectan trazas de elementos típicos de la interfase acero-hormigón, aluminio (Al), silicio (Si) cadmio (Ca) y azufre (S) en el interior y en las zonas exteriores menos dañadas correspondientes a la zona blanquecina (tabla 4.1).

Es relevante la presencia de trazas de cloro en la zona dañada exterior, llegando a ser del 1% en peso atómico. En la parte interior el contenido en cloro es muy inferior.

También se detecta la presencia de cloro (Cl) en los análisis realizados en áreas dañadas de la superficie externa, detallados en las tablas 4.2 y 4.3.

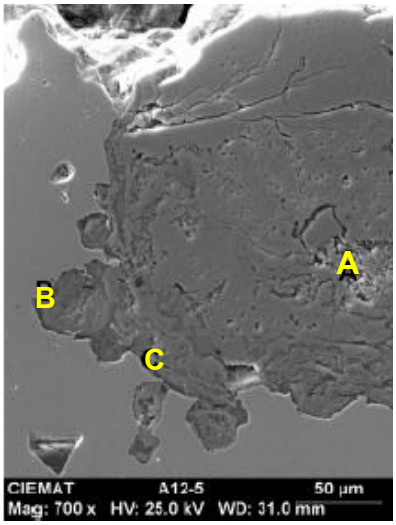
Muestra AV-12	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Mn	Fe	
Zona Interior	51,2 26,0	-- --	1,9 1,5	2,3 2,0	3,8 3,4	1,5 1,6	0,1 0,2	-- --	7,0 8,8	0,1 0,1	31,6 56,2	%atómico %en peso
Zona Exterior	56,7 29,6	-- --	-- --	0,7 0,6	0,5 0,4	0,5 0,5	0,7 0,8	-- --	0,8 1,0	0,1 0,1	38,0 66,9	%atómico %en peso

Tabla 4.1. Resultados análisis EDX zonas interior-exterior dañadas



Muestra AV-12	O	Al	Si	S	Cl	Ca	Fe	
A	61,0 32,3	0,5 0,4	0,4 0,3	1,0 0,9	0,5 0,5	0,1 0,2	33,8 62,5	%atómico %en peso
B	17,1 5,9	--	--	2,3 1,5	1,0 0,7	--	78,9 91,7	%atómico %en peso

Tabla 4.2. Resultados análisis EDX zona externa dañada.
(zonas de medición indicadas en imagen EDX)



Muestra AV-12	O	Al	Si	S	Cl	Ca	Fe	
A	57,8	0,2	0,2	1,0	0,1	0,2	40,3	%atómico
	28,6	0,2	0,2	1,0	0,1	0,2	69,6	%en peso
B	53,7	0,5	0,2	1,0	0,7	0,1	43,8	%atómico
	25,4	0,4	0,1	0,9	0,8	0,2	72,2	%en peso
C	36,3	0,2	0,1	1,6	0,9	0,1	60,7	%atómico
	14,3	0,1	0,1	1,2	0,8	0,1	83,3	%en peso

Tabla 4.3. Resultados análisis EDX zona externa dañada.
(zonas de medición indicadas en imagen EDX)

Muestra AV-14. Tubería Ø 200 mm.

Inspección visual

Igual que en la muestra anterior se retira el hormigón interior y exterior de recubrimiento de la muestra, quedando al descubierto un tramo de camisa de chapa y una zona de unión con un tramo de boquilla.

De nuevo se observa que por la parte interior la mayoría de la superficie esta limpia, presentando un aspecto homogéneo y blanquecino, excepto en su parte superior, correspondiente a la zona de unión de tramos de tubería (figura 4.9).

En esta zona, no recubierta de mortero, se observa la acumulación de substancias de coloración pardo-rojiza (figura 4.9).

Por la parte exterior de la tubería se observan zonas con abundantes substancias rojizas, que recuerdan a los óxidos de hierro, repartidas de forma homogénea por toda la superficie de la muestra (figura 4.11).

Figura.4.8. Cara interior de hormigón en contacto con el agua. Detalle de la zona de unión sin recubrir

Figura.4.9. Cara interior camisa tubo. Detalle de las zonas de unión

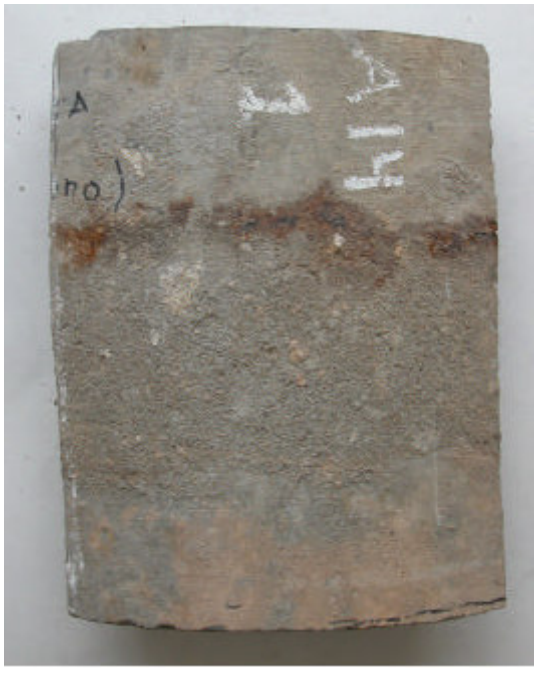


Figura.4.10. Aspecto del hormigón exterior

Figura.4.11. Cara exterior camisa (retirado el hormigón)

Exámen metalográfico

En las muestras analizadas se observan pequeñas pérdidas de espesor por el interior en la zona de junta, dejando un espesor remanente de 3,8 mm (figuras 4.12 y 4.13).

La zona exterior presenta una degradación generalizada, se observa la formación de películas de material en toda la superficie. Por el aspecto dichas películas parecen ser de óxidos de hierro. Se aprecian pérdidas de espesor de hasta 0,6 mm en algunos puntos (figuras 4.12 y 4.13).

No se han detectado en la tubería la presencia de defectos originados por procesos de corrosión tipo intergranular, corrosión por fatiga, corrosión por fricción, etc. ni actuación de otros agentes externos.

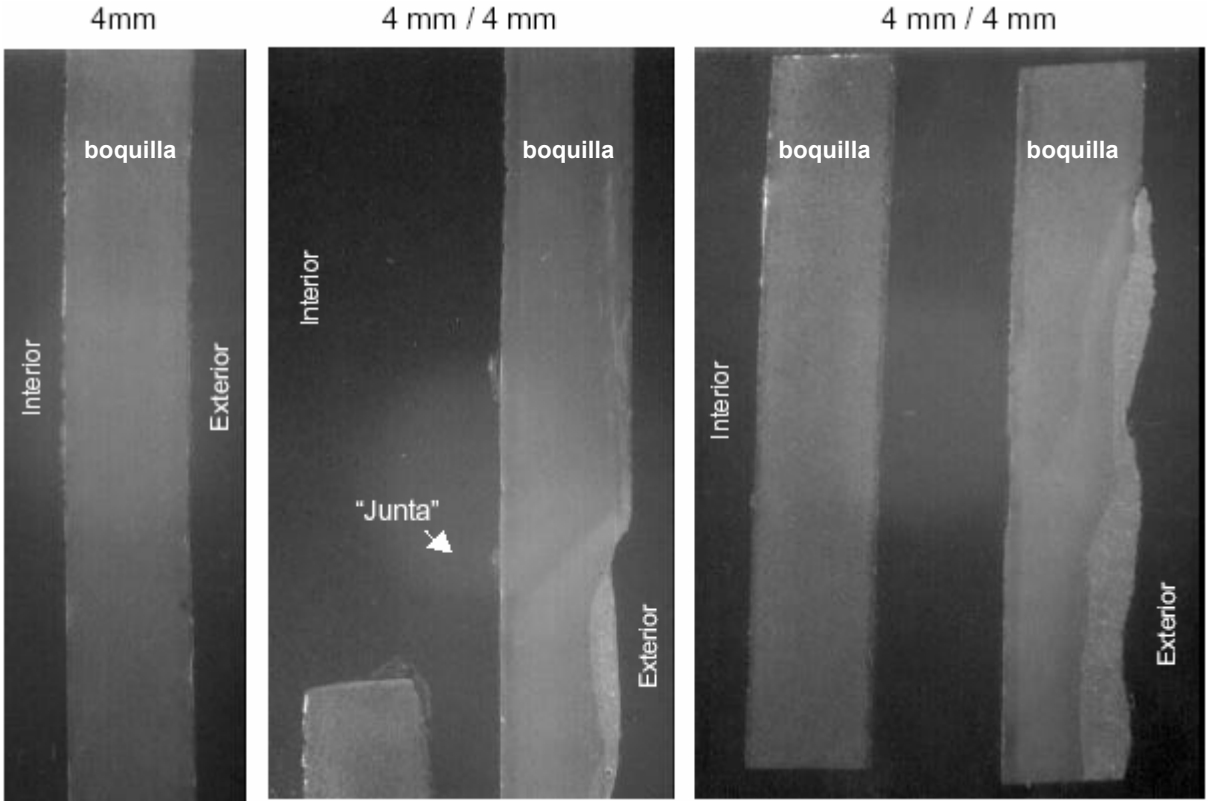


Figura.4.12. Examen metalográfico muestra AV-14. Detalle de diferentes boquillas, camisas y zonas de unión

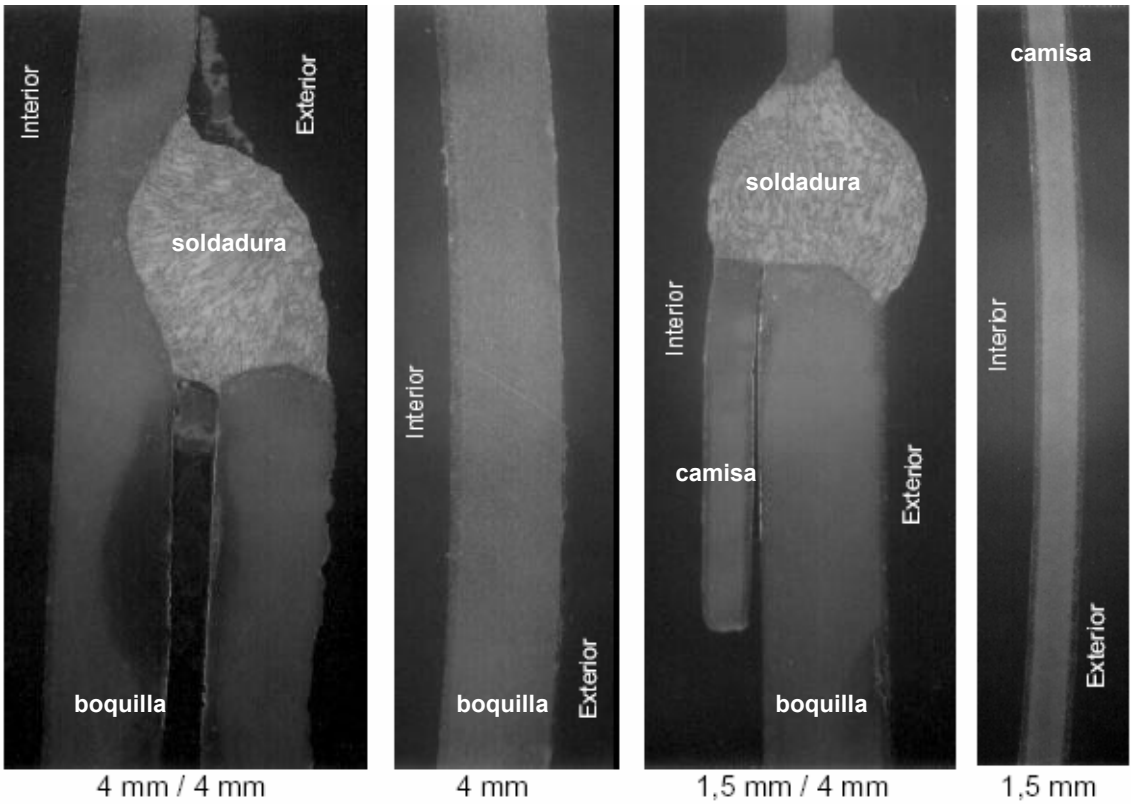


Figura.4.13. Examen metalográfico muestra AV-14. Detalle de diferentes boquillas, camisas y zonas de unión

Análisis de material (EDX)

Los análisis realizados en las zonas deterioradas muestran, de nuevo, tanto por la parte interna como externa, la presencia de elementos típicos de los compuestos de óxido de hierro (Fe) (tabla 4.6).

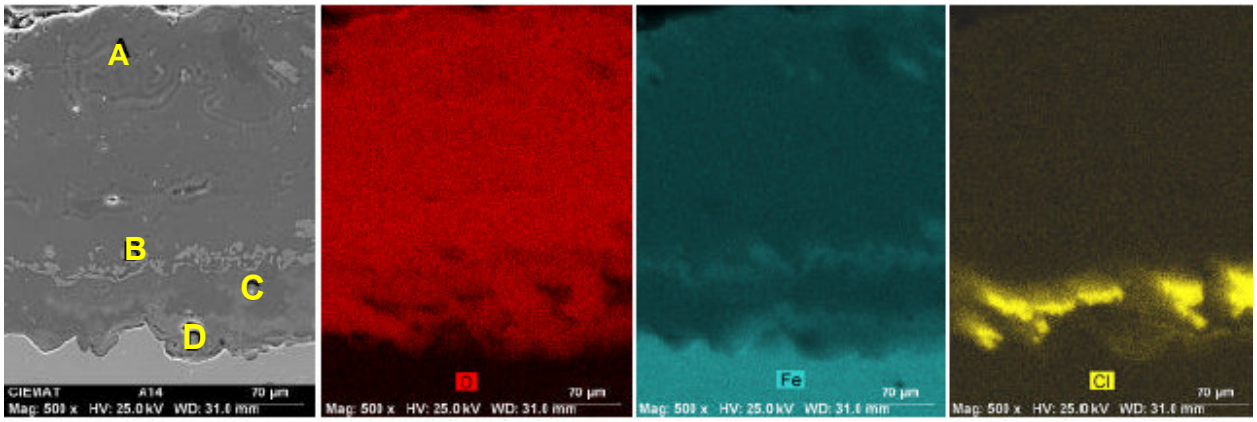
Se detectan trazas de elementos típicos de la interfase acero-hormigón, aluminio (Al), silicio (Si), calcio (Ca) y azufre (S) en el interior y en las zonas exteriores menos dañadas (tabla 4.6).

Es relevante la presencia de trazas de cloro en el exterior llegando a ser del 1´8% en peso atómico. Por la parte interior el contenido en cloro es muy inferior, del 0,2% (tabla 4.6).

También se detecta la presencia de cloro (Cl) en los análisis realizados en áreas dañadas de la superficie externa, detallados en las tablas 4.7 y 4.8.

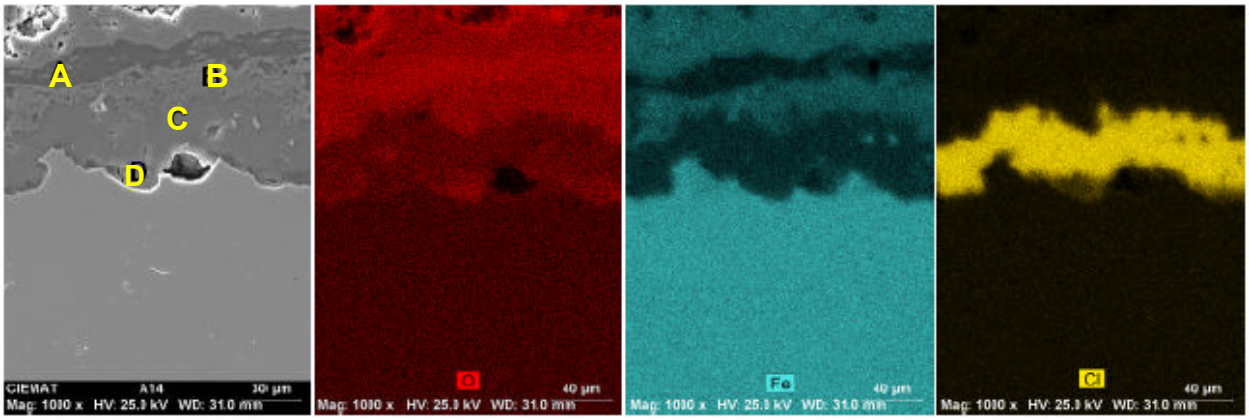
Muestra AV-14	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Mn	Fe	
Zona Interior	43,7 20,8	0,6 0,4	2,3 1,7	3,4 2,8	2,9 2,4	2,4 2,3	0,2 0,2	0,1 0,1	8,9 10,6	0,1 0,1	35,3 58,6	%atómico %en peso
Zona Exterior	52,2 24,7	-- --	-- --	0,7 0,6	1,5 1,3	0,3 0,3	1,8 1,9	-- --	0,9 1,0	0,1 0,2	42,3 70.0	%atómico %en peso

Tabla.4.6. Resultados análisis EDX zona interior y exterior afectada por corrosión



Muestra AV-14/1	O	Si	S	Cl	K	Ca	Fe	
A	65,1 35,0	0,1 0,1	0,3 0,3	--	--	--	34,5 64,2	%atómico %en peso
B	54,7 25,8	0,4 0,3	--	--	0,2 0,2	0,2 0,2	44,5 73,4	%atómico %en peso
C	42,4 19,3	--	--	18,0 18,2	--	--	39,5 62,6	%atómico %en peso
D	49,0 21,8	--	0,6 0,6	1,2 1,2	--	--	49,2 76,2	%atómico %en peso

Tabla.4.7. Resultados análisis EDX y "mapping" de rayos X en zona externa degradada



Muestra AV-14/2	O	Si	S	Cl	K	Ca	Fe	
A	71,7 42,5	0,4 0,4	0,5 0,6	--	--	0,3 0,4	27,1 56,1	%atómico %en peso
B	54,4 26,6	--	0,1 0,1	6,7 7,2	--	--	38,8 66,2	%atómico %en peso
C	43,8 20,2	--	--	18,3 18,7	--	--	37,9 61,0	%atómico %en peso
D	57,5 29,2	0,3 0,2	2,3 2,3	4,0 4,5	--	--	35,8 63,6	%atómico %en peso

Tabla.4.8. Resultados análisis EDX y "mapping" rayos X en zona externa degradada

Muestra conexión AV-16 cabo extremo

Inspección visual

La muestra analizada corresponde a un trozo de camisa perteneciente a una cabo extremo de entrada a al arqueta AV-16.

Se recibe con hormigón interior y exterior retirado, quedando a la vista la parte interior y exterior de la camisa de chapa (figura 4.14).

Se observa que por la parte interior esta limpia, con un aspecto homogéneo y blanquecino, exceptuando la presencia de algunas "manchas" de color pardo.

Por la parte exterior de la tubería se observan una degradación generalizada de toda la superficie, y la formación de una película, que en algunas zonas se ha desprendido.

CARA INTERIOR **CARA EXTERIOR**

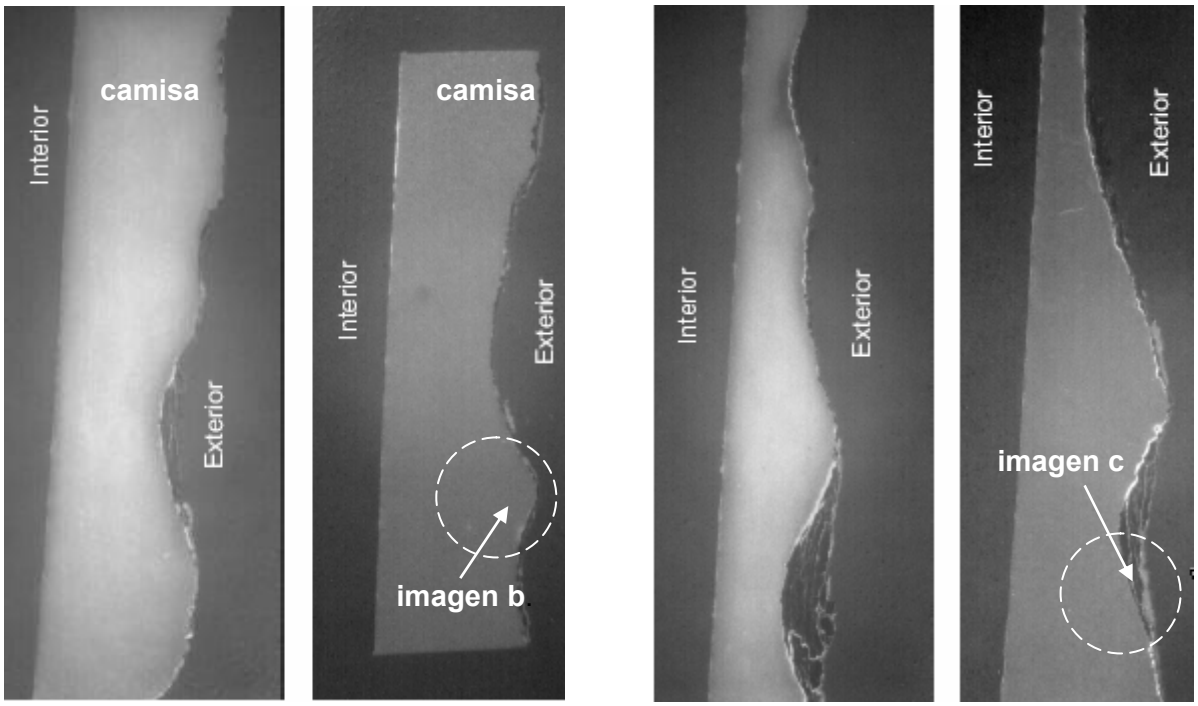
Figura.4.14. Estado de la muestra de camisa de chapa analizada, retirado el hormigón interior y exterior

Exámen metalográfico

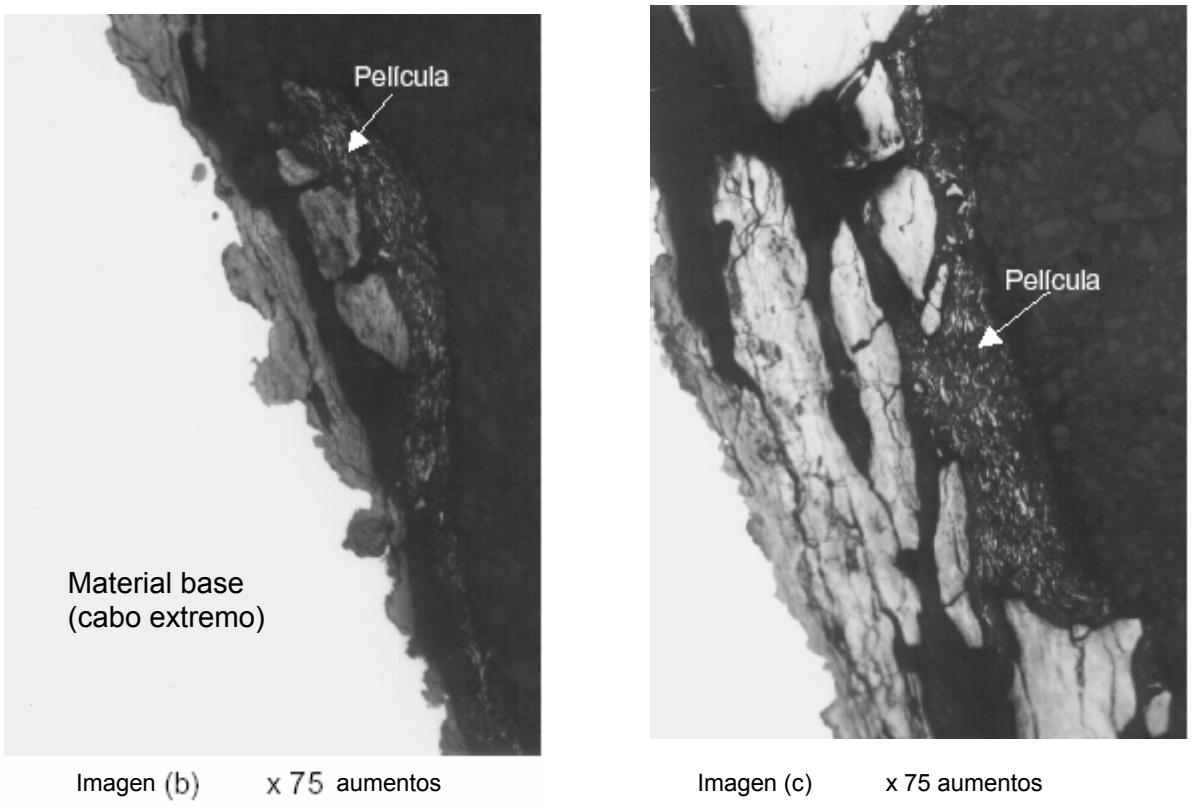
La zona exterior presenta una degradación generalizada, se observa la formación de películas de material en toda la superficie. Por el aspecto dichas películas parecen ser de óxidos de hierro. Se aprecian pérdidas de espesor de hasta 0,6 mm en algunos puntos, dejando un espesor remanente de 0,9 mm (figuras 4.15, 4.16 y 4.17).

La zona interior presenta un aspecto homogéneo, de color blanquecino y no se detectan pérdidas de espesor relevantes (figuras 4 y 4.17).

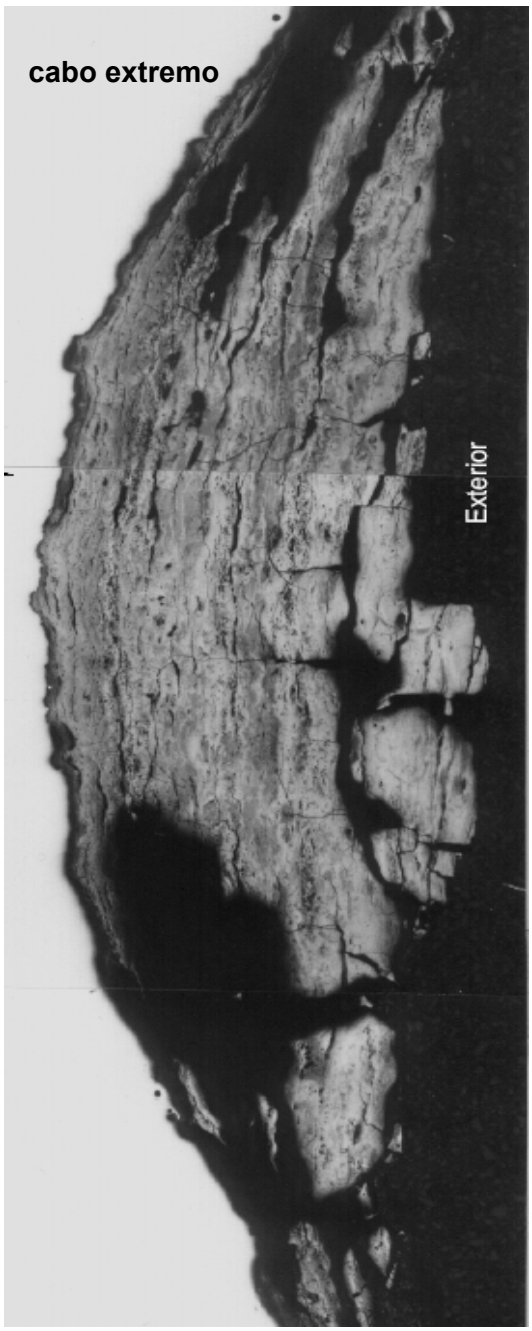
No se han detectado en la tubería la presencia de defectos originados por procesos de corrosión tipo intergranular, corrosión por fatiga, corrosión por fricción, etc. ni actuación de otros agentes externos.



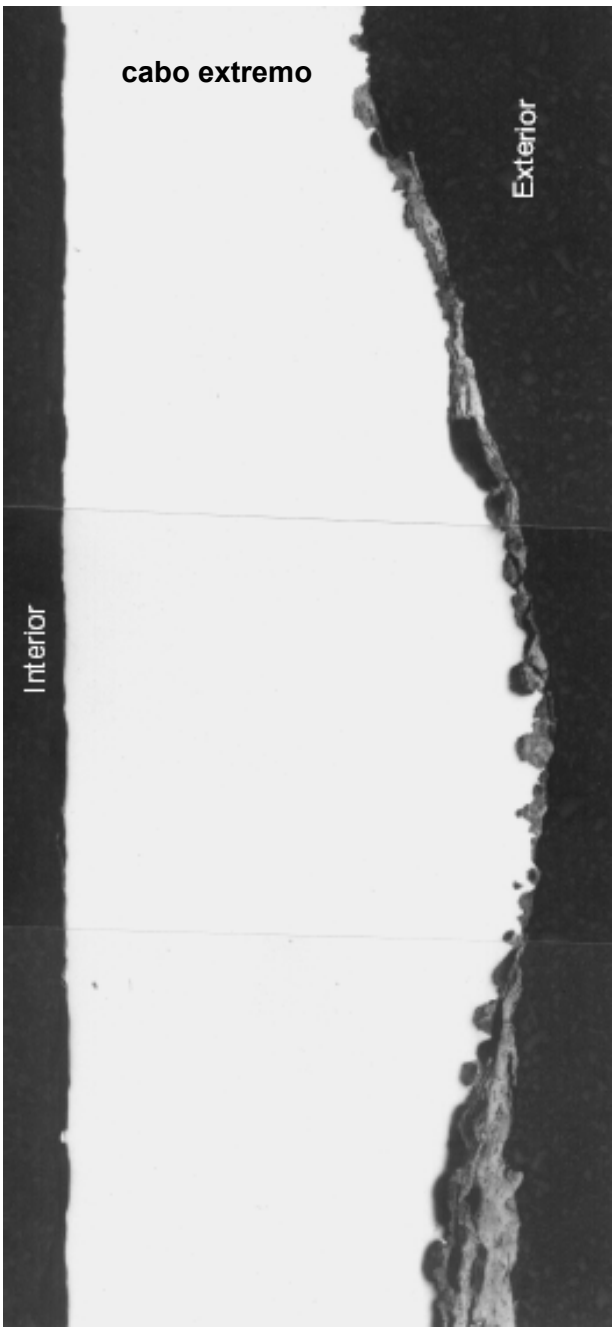
Figuras 4.15. Examen metalográfico de las muestras de material del cabo extremo AV-16



Figuras 4.16. Examen metalográfico de las muestras de material del cabo extremo AV-16



x75 aumentos



x75 aumentos

Figuras.4.17. Exámenes metalogáficos de muestra del cabo extremo AV-16

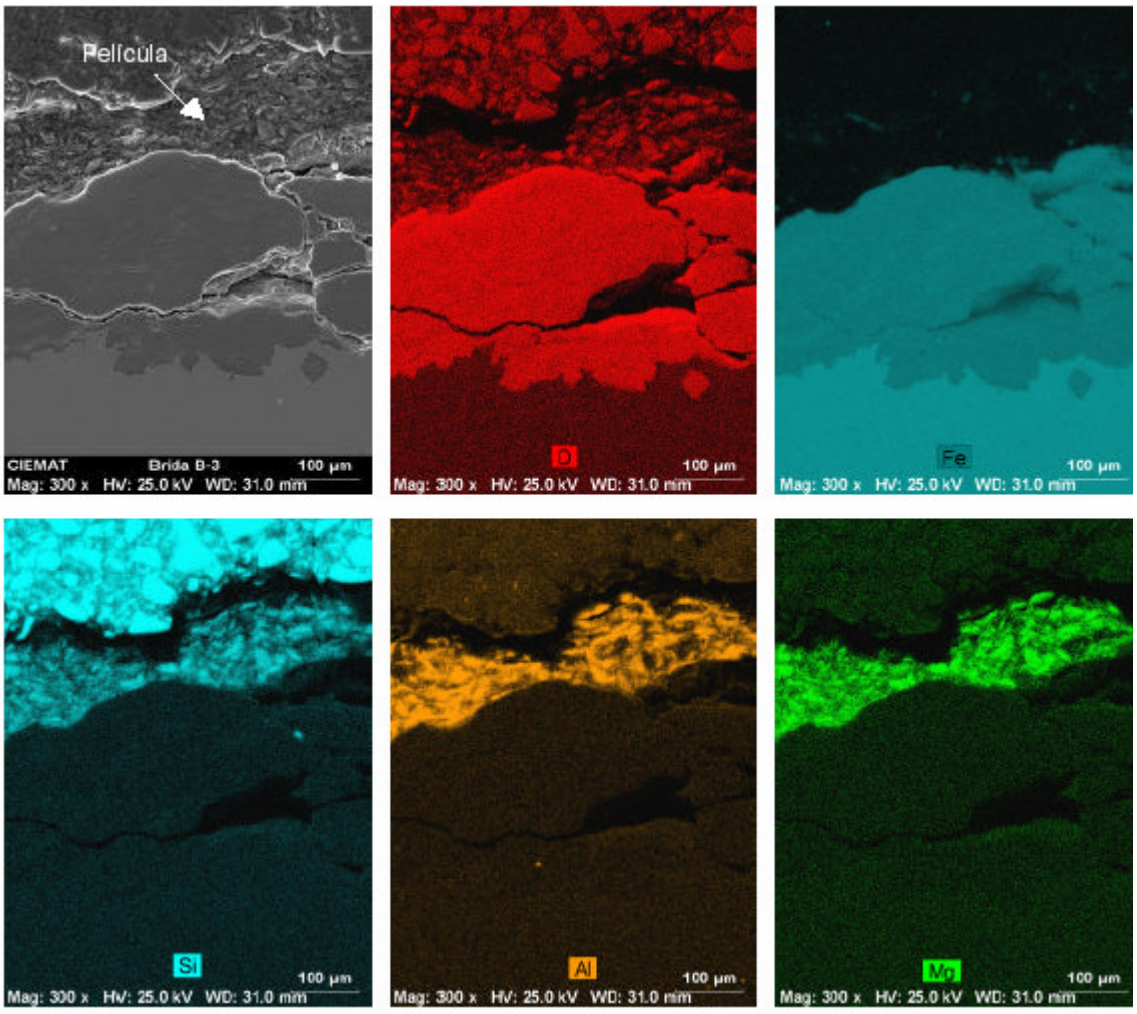
Análisis de material (EDX)

Los análisis realizados en la zona externa mas deteriorada muestran la presencia de elementos típicos de los compuestos de óxido de hierro (Fe) (tabla 4.9).

En las zonas blanquecinas del interior se detectan trazas de elementos típicos de la interfase acero-hormigón, aluminio (Al), silicio (Si), calcio (Ca) y azufre (S) (tabla 4.9).

Es relevante la presencia de trazas de cloro en el exterior llegando a ser del 0,8% en peso atómico. Por la parte interior el contenido en cloro es muy inferior, del 0,1% (tabla 4.9).

Vuelve a destacar la presencia de este producto en los análisis realizados en áreas dañadas de la superficie externa, en las que se detecta cloro (Cl) en la zona degradada (tabla 4.9).



"mapping" rayos X realizado en zona externa del cabo extremo AV-16

AV-16 Cabo extremo	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Mn	Fe	
Zona Interior	43,0 21,1	1,5 1,1	0,7 0,6	4,7 3,9	5,6 4,8	2,7 2,6	0,1 0,1	0,1 0,1	11,0 13,6	0,1 0,2	30,1 51,6	%atómico %en peso
Exterior (zona blanca)	67,9 38,0	--	--	0,4 0,3	0,1 0,1	0,1 0,1	0,3 0,4	--	--	--	31,1 60,9	%atómico %en peso
Exterior (zona negra)	44,1 30,8	0,2 0,2	12,5 13,2	17,1 20,2	0,6 0,7	0,6 0,7	0,8 1,2	0,2 0,4	1,2 2,1	0,1 0,1	2,0 4,9	%atómico %en peso

Tabla.4.9. Resultados análisis EDX zonas interiores y exteriores afectadas por corrosión en el cabo extremo

4.2.2. Resultados muestras 2ª serie

Muestra conexión AV-4 cabo extremo.

Inspección visual

Se retira el hormigón de recubrimiento de la muestra, quedando al descubierto un tramo de tubería correspondiente a una zona de unión con un tramo de camisa.

Se observa en su parte interior la acumulación de productos de coloración pardo-rojiza, en especial en la zona de soldadura y en el extremo una zona blanquecina homogénea con "manchas" de óxido (figura 4.19).

Por la parte exterior de la tubería se observa la degradación generalizada de toda la superficie.

Exámen metalográfico

En la muestra analizada se observan pérdidas de espesor por el interior en la zona de unión de tramos, dejando un espesor remanente de 2,6 mm en las boquillas (figura 4.19).

La zona exterior presenta un deterioro generalizado, se observa la formación de películas de material en toda la superficie Por el aspecto dichas películas parecen ser de óxidos de hierro. Se aprecian pérdidas de espesor de hasta 1 mm en algunos puntos de las boquillas.

No se han detectado en la tubería la presencia de defectos originados por procesos de corrosión tipo intergranular, corrosión por fatiga, corrosión por fricción, etc. ni actuación de otros agentes externos.

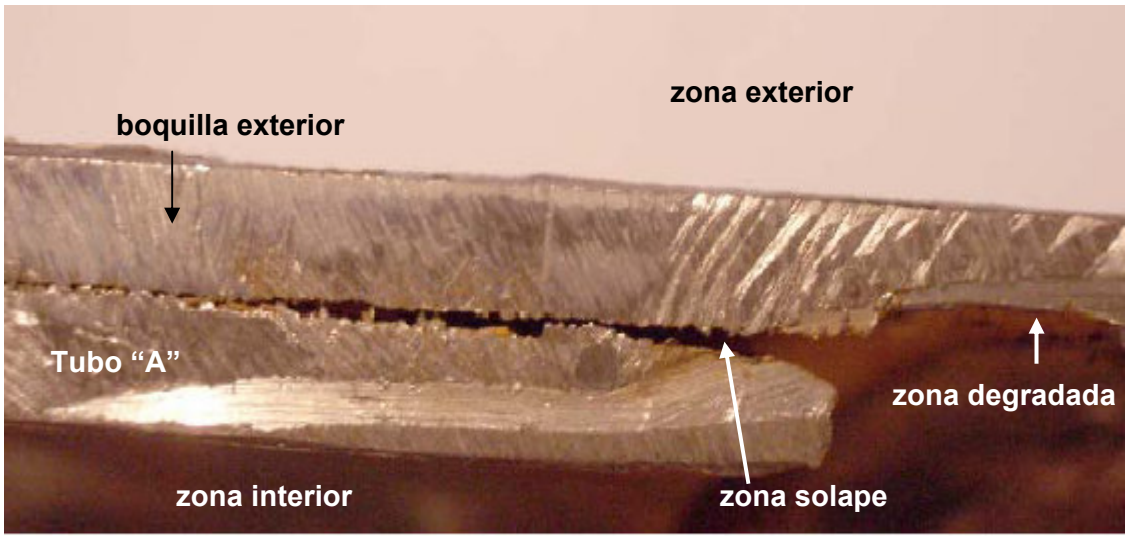


Figura.4.18. Sección transversal de la zona de unión. Detalle de la zona de solape de boquilla

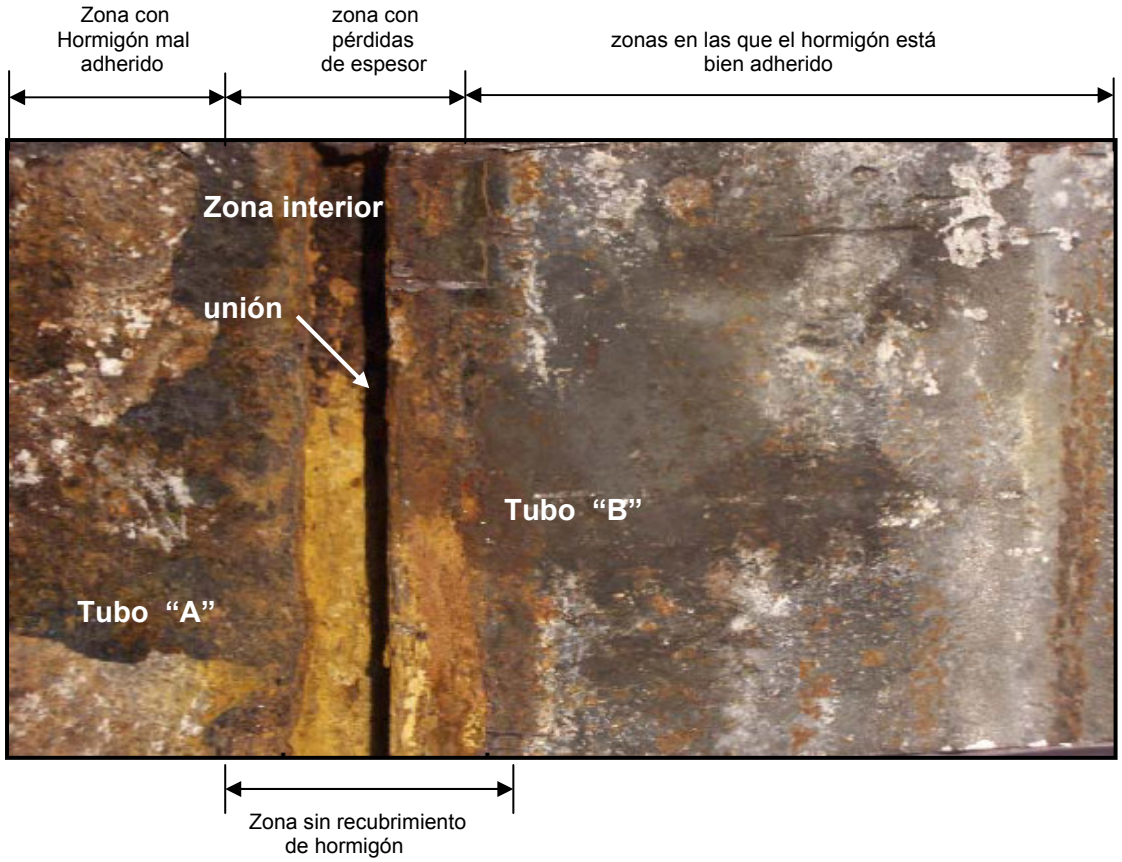


Figura. 4.19. Detalle de unión de tubería. Cara interior de unión soldada en cabo extremo instalado sin recubrimiento de hormigón

Análisis de material (EDX)

Los análisis realizados en las zonas deterioradas del interior y exterior muestran de nuevo elementos típicos de los compuestos de óxido de hierro (Fe) (figura 4.20).

En las zonas blanquecinas del interior se detectan pequeñas cantidades de elementos típicos de la interfase acero-hormigón, silicio (Si) calcio (Ca) y azufre (S) (figura 4.20).

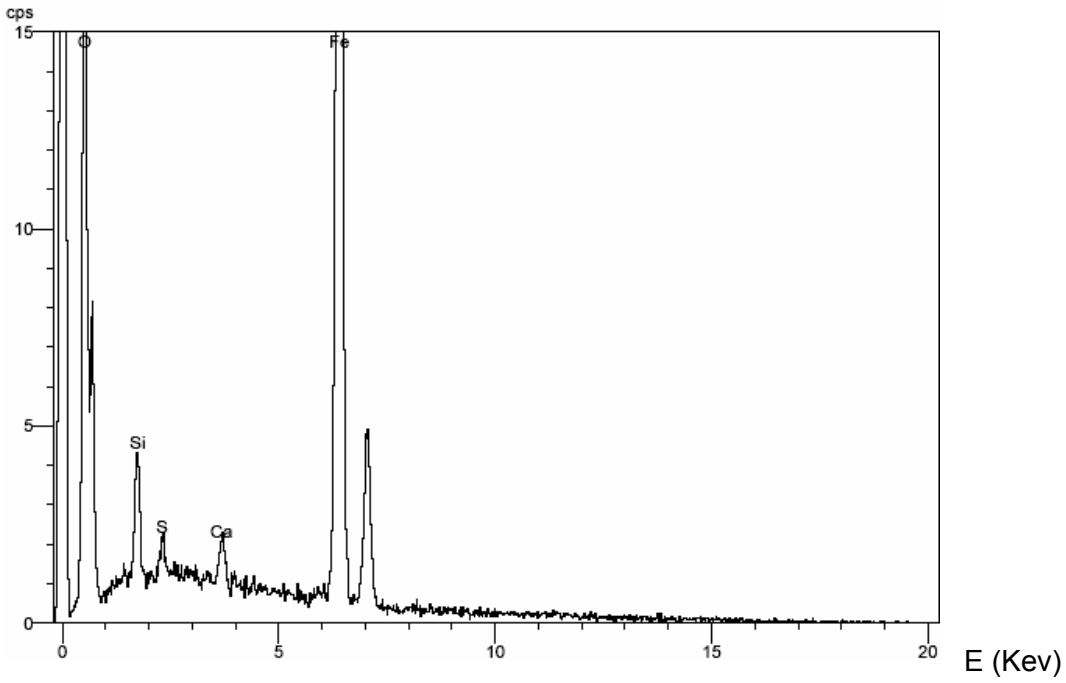


Figura.4.20. Espectro EDX de los materiales analizados en la zona de corrosión

Muestra conexión AV-8 tubería Ø4" (Ø <200mm).

Inspección visual

La muestra corresponde a un tramo de tubería sin revestimiento de hormigón, en la que se incluye una zona de unión soldada.

La zona exterior presenta un buen estado de conservación, en la zona interior se observan zonas con degradación generalizada y zonas de acumulación de productos fuertemente adheridos, con la presencia de tubérculos (figura 4.21).

Exámen metalográfico

En la muestra analizada se observan pérdidas de espesor por el interior en la zona de unión de tramos, de hasta 2 mm en las zonas mas afectadas (figura 4.21).

De nuevo la zona interior presenta una degradación generalizada, se observa la formación de películas y acumulación de material en toda la superficie. Por el aspecto dichas películas parecen ser de óxidos de hierro. Se aprecian pérdidas de espesor de hasta 1 mm en algunos puntos (figura 4.21).

Se ha detectado la presencia de acumulación de productos en forma de tubérculos adheridos a las paredes de la tubería (figura 4.21).

Análisis de material (EDX)

En las muestras analizadas se ha detectado la presencia de elementos típicos de los compuestos de oxido de hierro, oxígeno (O) y hierro (Fe), y trazas de aluminio (Al), silicio (Si), calcio (Ca) y azufre (S) (Figura 4.22).

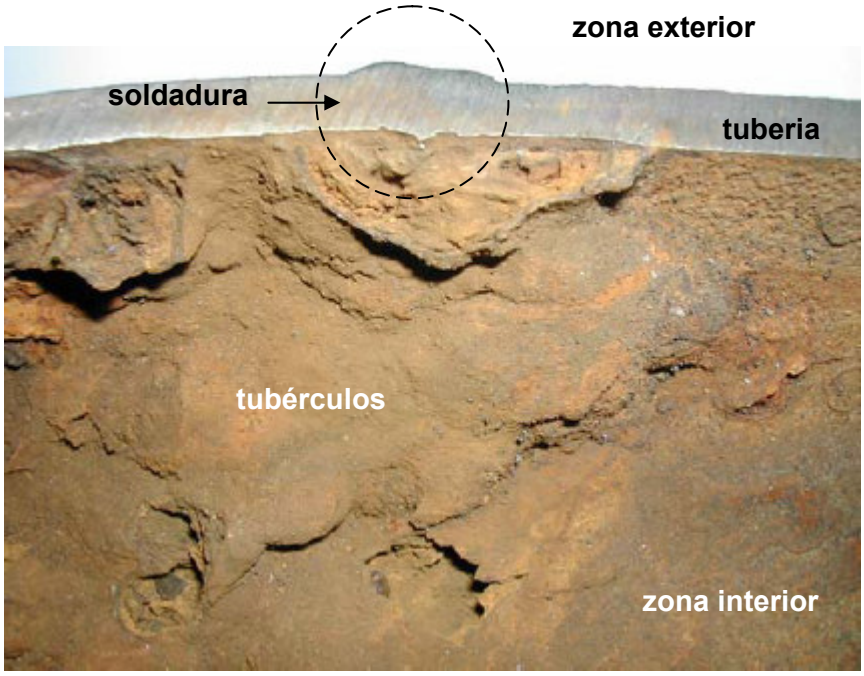


Figura.4.21. Sección de tubería Ø ≤ 12". Presencia de productos en forma de tubérculos

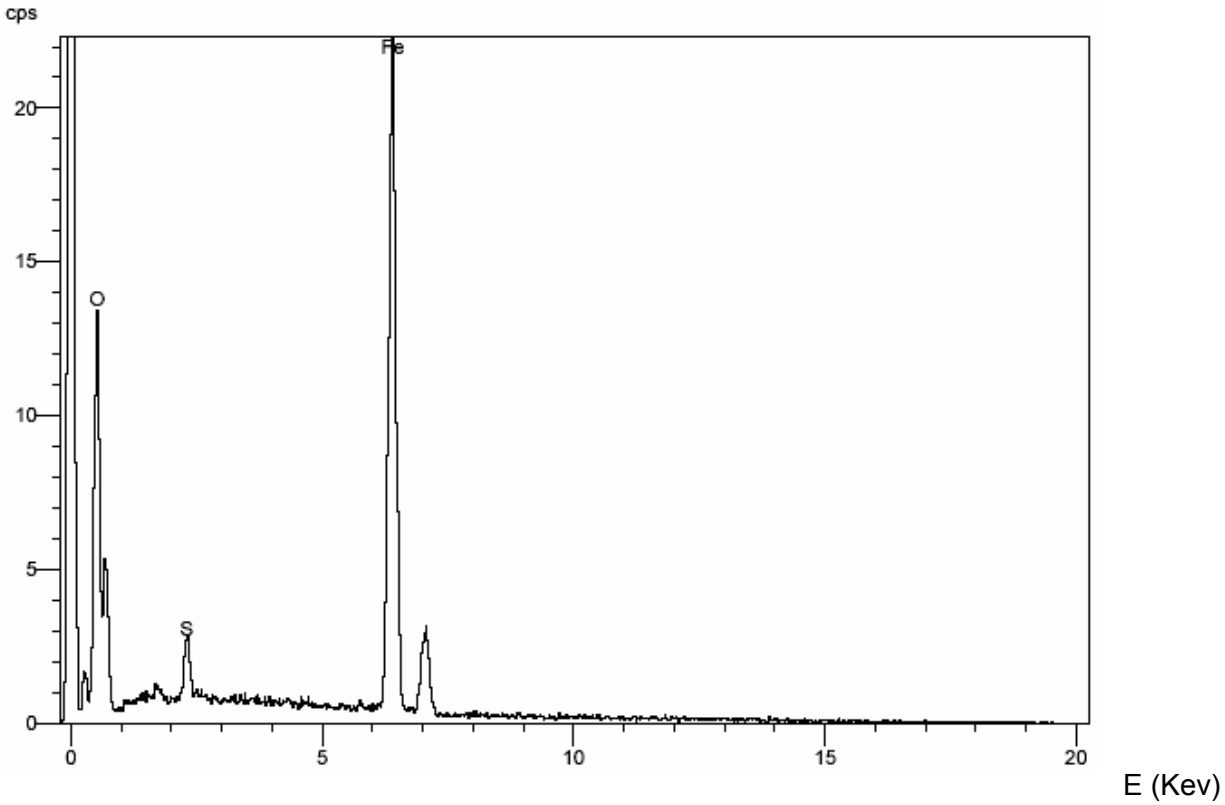


Figura.4.22. Espectro EDX de los materiales analizados en la zona de corrosión interna

5. Discusión

5.1. Análisis metalográfico

Evaluados los resultados de los diferentes ensayos, el estado de la tubería del sistema contra-incendios se puede dividir en cuatro casos claramente diferenciados en función del grado de corrosión, tipo y diámetro de tubería y zona afectada.

Camisa tubería Ø 200-300 mm revestida de hormigón - zona exterior

La inspección visual y medición de espesores de estas zonas ha dado como resultado la detección de áreas muy degradadas, con corrosión generalizada y pérdidas de espesor considerables respecto a los espesores nominales originales, dando lugar en algunos casos a defectos pasantes.

Los análisis realizados a las muestras mediante EDX han revelado la presencia mayoritaria de oxígeno (O) Hierro (Fe) y restos de cloruros (Cl).

El examen metalográfico de las muestras revela que estos productos han formado películas que se han desprendido del material, provocando las pérdidas de espesor detectadas en la tubería.

En las zonas menos afectadas, también se ha detectado la presencia productos típicos de zonas de transición acero-hormigón como son aluminio (Al), silicio (Si), calcio (Ca) y azufre (S).

No se han detectado la presencia de defectos provocados por otros tipos de corrosión como pueden ser rascaduras en superficie (corrosión por erosión), grietas (corrosión intergranular o bajo tensión), picaduras (corrosión por "pitting"), exfoliaciones (corrosión laminar) o roturas (corrosión por fatiga).

Camisa tubería Ø 200-300 mm revestida de hormigón – zona interna

En estas zonas se ha detectado tramos con corrosión pero sin pérdidas de espesor relevantes. El material se encuentra en un estado de conservación aceptable.

Los análisis de laboratorio de las muestras revelan la presencia de elementos típicos de la interfase hormigón-acero. La concentración de elementos como el oxígeno (O) y hierro (Fe), producto de la corrosión, es muy baja.

No se han detectado la presencia de defectos provocados por otros tipos de corrosión como pueden ser rascaduras en superficie (corrosión por erosión), grietas (corrosión intergranular o bajo tensión), picaduras (corrosión por "pitting"), exfoliaciones (corrosión laminar) o roturas (corrosión por fatiga).

Uniones de tubería Ø 200-300 mm revestida de hormigón – zona interna (sin hormigón)

La inspección visual y medición de espesores de estas zonas ha dado como resultado la detección de áreas muy degradadas, con corrosión generalizada y pérdidas de espesor considerables respecto a los espesores originales.

Los defectos se hallan concentrados en las zonas en las que no se había aplicado el mortero de sellado interior y en algunos casos han dado lugar a defectos pasantes.

El análisis químico realizado mediante espectro EDS de estas zonas ha dado como resultado la presencia de elementos típicos de corrosión, especialmente oxígeno (O) azufre (S) y hierro (Fe).

En las zonas anexas a la unión una vez realizadas las macrografías y evaluadas conjuntamente con el resultado de los análisis de materiales, se puede determinar que se trata de corrosión por "crevice", provocada por la entrada de agua en la parte interna de la unión no soldada.

No se han detectado la presencia de defectos provocados por otros tipos de corrosión como pueden ser rascaduras en superficie (corrosión por erosión), grietas (corrosión intergranular o bajo tensión), picaduras (corrosión por "pitting"), exfoliaciones (corrosión laminar) o roturas (corrosión por fatiga).

Tubería no revestida Ø≤200 mm (tubería y zonas de unión)

Correspondiente a las zonas sin revestimiento de hormigón, situadas en los extremos de las líneas, zonas de unión y en tuberías de diámetro inferior del resto del sistema.

La inspección visual y medición de espesores de estas zonas ha dado como resultado la detección de áreas degradadas, (pérdidas de espesor respecto a los espesores de origen), posiblemente por la acción de la corrosión, dado los elementos encontrados en los análisis de EDX son los típicos presentes en procesos de corrosión del acero.

En las muestras analizadas en laboratorio de estos tramos se ha detectado la presencia de elementos típicos de la oxidación, oxígeno (O) y hierro (Fe), restos de aluminio (Al), silicio (Si), calcio (Ca) y azufre (S).

Se ha detectado la presencia de elementos de corrosión en forma de tubérculos adheridos a las paredes de la tubería.

No se han detectado la presencia de defectos provocados por otros tipos de corrosión tipo intergranular, corrosión por fatiga, corrosión por fricción, etc. ni actuación de otros agentes externos.

5.2. Estudio de factores que originan la corrosión

Tras el análisis del resultado de los ensayos y pruebas, se realiza el estudio para determinar los factores existentes en las instalaciones que pueden haber originado el fallo de la tubería. Entendemos como factores aquellos agentes o estímulos que en condiciones de servicio o previas al servicio puedan provocar la degradación del sistema. Se dividen en los siguientes grupos:

- Factores ambientales.
- Factores de esfuerzo operacionales.
- Factores humanos.
- Factores de Diseño

Factores ambientales

Estudio de las condiciones físicas y ambientales presentes de forma continua en el lugar donde se encuentra el equipo, sistema o componente. En este caso serán:

- Agua. Esta presente en el interior de la tubería al tratarse del fluido de servicio. Se encuentra en el exterior ya sea de origen pluvial o como agua estancada por acumulación de fugas o derrame de agua de pruebas, purga de líneas etc. y entra en contacto con la camisa ya que el hormigón del recubrimiento es un material poroso.

- Humedad. Puede estar presente en las tuberías cuando se encuentran vacías por requisitos de operación o diseño del sistema. En la parte exterior de la tubería podemos encontrar humedad ambiente ya que el recubrimiento de hormigón no lo protege totalmente.

- Factor Térmico: En algún caso puntual puede haber provocado la aceleración del proceso de corrosión de la tubería, debido a la existencia de conducciones cercanas con elevadas temperaturas de servicio, pero no es un factor común en las zonas en las que se ha detectado corrosión.

- Factor Eléctrico. No existen por diseño equipos que puedan provocar interacciones eléctricas. Los estudios del terreno previos a la instalación de la tubería no han detectado la existencia de fenómenos de tipo eléctrico que puedan provocar o acelerar el fenómeno de corrosión detectado en la tubería. No existe instalación para la protección catódica de la tubería.

- Factores Químicos. El agua de servicio que circula por la tubería no contiene aditivos que puedan acelerar el proceso de corrosión detectado en las tuberías (zona interior). El terreno exterior en contacto con la tubería presenta índices de cloruros elevados (emplazamiento situado a orillas del mar).

El agua del circuito no está sometida a análisis ni recibe ningún tratamiento químico, permanece en el interior de la línea de forma estanca si renovarse de forma periódica.

Factores de esfuerzo operacionales

Se definen como aquellos factores que han podido provocar el deterioro de la tubería como consecuencia de la operación del propio equipo, sistema o componente.

- Evaluación del estado de la tubería

No se han detectado defectos provocados por cargas de impacto, cargas dinámicas por golpe de ariete, etc. En este caso el recubrimiento exterior e interior de hormigón de la tubería sí protege la chapa de acero al carbono interna.

Se establece la posibilidad de que una degradación acusada de la camisa de acero por corrosión, si podría provocar la rotura de zonas puntuales, por presión durante la realización de pruebas hidráulicas, o rotura por golpe de ariete durante las puestas en marcha de las bombas del sistema. En este caso serían factores secundarios, siempre resultado del deterioro previo del sistema y afectaría a puntos específicos del sistema, no de forma general.

- Evaluación de las condiciones/parámetros de servicio

Los resultados de los análisis del agua del sistema realizados, no han detectado concentraciones anormales de elementos que puedan haber provocado la aceleración de la corrosión detectada en el sistema.

Estudiadas las características de la tubería instalada el resto de parámetros de servicio, presión, temperatura etc. no tienen en ningún caso repercusión directa sobre el fallo detectado.

Factores Humanos

Para comprobar si el fallo se ha debido a factores humanos se comprueban los registros de informes realizados durante la construcción, realización de ensayos, inspecciones realizadas durante la fabricación de la tubería, inspecciones realizadas durante el montaje, supervisiones y auditorias sin detectar desviaciones ni anomalías representativas.

Durante la realización de las catas y ensayos se han detectado fallos de montaje y desviaciones respecto a la configuración de diseño de la tubería. Estas desviaciones solo han provocado defectos puntuales que en todo caso no son responsables del deterioro general de la tubería.

No existe ningún indicio que hagan pensar que el origen del fallo se encuentre en una mala práctica o desconocimiento en el uso del sistema.

La intervención en el sistema durante el servicio es mínima y no se realizan inspecciones en la línea (tubería enterrada), exceptuando las pruebas hidráulicas periódicas que se han realizado en los plazos establecidos por normativa, con resultado satisfactorio.

- Entrevistas

Mediante estas entrevistas con personal y/o departamentos relacionados se pueden recopilar datos de interés del fallo ocurrido. Puede que esta sea la técnica más eficaz para identificar y validar los factores causales del suceso. De las entrevistas se pueden obtener:

- Información y datos de mucha importancia para la elaboración
- Reconstrucción precisa de la secuencia del suceso.
- Nuevas líneas de estudio.
- Validar información obtenida.
- Identificar posibles factores causales.
- Validar hipótesis acerca de factores causales.
- Finalizar las recomendaciones de las acciones correctivas.

Para la realización de las entrevistas se identifican los departamentos involucrados directa e indirectamente con el suceso dentro de la planta. Dentro de estos departamentos se selecciona el personal responsable del funcionamiento, mantenimiento e inspección del sistema.

Departamento de operación. Se contacta con la responsable de operación. La entrevista se centra en repasar las diferentes incidencias del sistema contra-incendios desde su puesta en servicio. La mayoría de los problemas ocurridos han estado relacionados con los sistemas de extinción de los edificios y el arranque de las bombas del sistema. Desde el departamento de operación no se tiene constancia de sucesos anteriores relacionados con el anillo principal del sistema contra-incendios.

Departamento de Química y Radio-química. La persona de contacto es el responsable de química. Las preguntas se centran sobre el control del agua de aportación al sistema. Desde el departamento se había detectado la presencia de óxidos en análisis aleatorios realizados para la realización de trabajos correctivos, pero los niveles detectados eran normales para este tipo de instalación por lo que no se tomaron medidas correctivas.

Desde el departamento se apuesta por realizar el aporte de agua osmotada al sistema desde la planta existente en la propia central. Este agua contendría productos reductores de oxígeno, biocidas y un nivel de PH controlado. Se propone realizar un control periódico de muestras con mayor frecuencia y sustituir periódicamente el agua existente.

Departamento de inspección y pruebas. Se contacta con el responsable de inspección erosión-corrosión de la planta. Este explica que la propia naturaleza de la tubería revestida limita de forma definitiva la inspección y seguimiento en servicio, limitándose al control de las zonas accesibles que no son representativas del estado general sistema.

Desde el departamento se plantea la necesidad de sustituir el sistema, por lo menos los sectores de la instalación relacionadas con la seguridad o en su defecto realizar un plan de muestreo con frecuencia superior a la actual para la realización de inspecciones visuales y control de espesores.

Departamento de mantenimiento. La persona de contacto es el responsable de mantenimiento mecánico. Este comenta que el sistema, en especial el anillo contra-incendios ya ha sido reparado en varias ocasiones por fugas en las zonas de las arquetas. No se intervino en el sistema al interpretar que el deterioro solo afectaba a estas zonas. Se había incrementado las inspecciones y seguimiento en las zonas accesibles de las líneas durante las tareas de mantenimiento, limpieza, pintura etc.

Es durante la realización de estas tareas cuando se detecta la existencia de fugas en el sistema. El personal de mantenimiento ya tenía conocimiento de la existencia de problemas similares en tuberías del mismo tipo instalada en otros sistemas de la central, lo que originó el estudio de las fugas detectadas.

El departamento de mantenimiento propone la sustitución de la tubería revestida actual por tubería de acero al carbono, de uso generalizado en este tipo de instalaciones, utilizando un sistema visitable que permita realizar un mantenimiento sencillo, inspecciones periódicas, y control de espesor

- Barreras de control Físicas/Administrativas

Instrumentos y/o acciones utilizadas para asegurar la efectividad del sistema. Con la realización de este análisis se ha comprueba si existen barreras que pudieran detectar la corrosión del sistema y en tal caso si estas fallaron. Pueden existir barreras de tipo:

- Barreras Físicas. Elementos físicos que pueden evitar el fallo. Sería el caso de muros de separación, sistemas de seguridad, indicadores etc. No existen barreras de este tipo instaladas en el sistema para la detección del fallo estudiado.

- Barreras Administrativas. Establecidas por procedimientos, directivas, listas de comprobación etc.

- Acciones humanas. Serían vigilancia de indicadores, respuesta a alarmas etc. No son de aplicación para el sistema y fallo de aplicación de este caso.

Se realiza el estudio de las Barrera Administrativas de aplicación a este sistema. Existen procedimientos para la realización de pruebas hidráulicas. La frecuencia de aplicación de estas pruebas se rige por la aplicación de las normas de Manual de Inspecciones Reglamentarias, en el que se recogen las directrices del Reglamento de Aparatos a Presión, norma de rango superior que aplica al sistema contra-incendios.

Revisados los resultados de las pruebas realizadas, los resultados obtenidos han sido satisfactorios en todos los casos. Se comprueba que existen en las pruebas de este tipo de tuberías valores de fuga admisible. Este hecho ha podido enmascarar las fugas provocadas por la corrosión de sistema.

Al tratarse de tubería enterrada y hormigonada no existen procedimientos para la realización de inspecciones y ensayos de control específicos para estas líneas.

Factores de Diseño

Son aquellos factores ligados al propio diseño de la tubería, cálculos, propiedades, configuración, etc.. que, sin que necesariamente se haya producido un funcionamiento fuera de los parámetros y condiciones previstos en el diseño para el sistema, pueden haber provocado el deterioro de la tubería.

Tipo de tubería

La tubería de tipo bonna utilizada protege la camisa de chapa mediante el recubrimiento interior y exterior de hormigón. Este es un material poroso que no evita totalmente el contacto de la camisa de chapa de la tubería con el agua y la humedad ambiental. Ante esta situación no se tomaron medidas complementarias como:

- Aplicación de recubrimientos de protección en el exterior de la tubería hormigonada.

- Utilización de cementos especiales para el recubrimiento exterior que protegen de forma más eficiente los componentes de acero de la tubería.

El diámetro de 200 mm a 300 mm no ha permitido revestir la parte interior de los tramos de unión, permitiendo el contacto directo de la camisa de chapa con el agua.

La tubería instalada, al circular enterrada y tener recubrimiento interno y externo de hormigón no ha permitido realizar un programa de inspección periódica y seguimiento de su estado de conservación.

Configuración de las uniones

El diseño de las uniones, empleando boquillas superpuestas a las que solo se les realizaba el sellado de soldadura por el exterior, ha facilitado la entrada de agua en las zonas de solape de material.

6. Conclusiones

Corrosión exterior de la camisa de chapa

Evaluados los datos obtenidos, el deterioro de la camisa de chapa de la tubería es resultado del mecanismo de corrosión electroquímica provocada por la presencia continua de un electrolito, humedad atmosférica y/o agua, en la interfase existente entre el hormigón y el acero.

A este fenómeno de corrosión se ha unido la presencia de cloruros disueltos en el agua, provenientes del propio terreno y el ambiente marino en el que está instalada la central, que ha favorecido la formación de los pares galvánicos, acelerando la corrosión del material que finalmente ha provocado el deterioro prematuro de la superficie externa de la camisa de chapa.

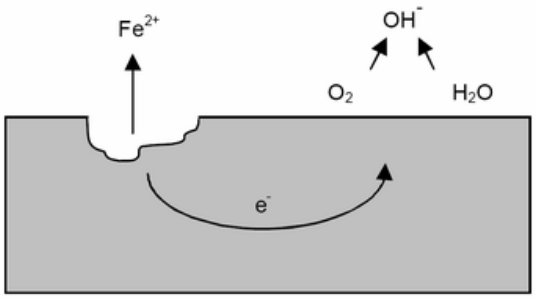


Figura.6.1. Esquema básico del proceso de corrosión electroquímica en aceros

Corrosión interna de la camisa chapa

En estas zonas se ha producido el mismo mecanismo de corrosión detectado en la zona exterior del tubo, aunque a diferencia del primer caso, no se ha detectado la presencia de cloruros en las muestras analizadas.

El fenómeno de corrosión se ha agravado por la presencia de zonas sin recubrimiento de hormigón, correspondientes a las zonas de unión de la tubería, en las que la camisa de chapa ha estado en contacto continuo con el agua (fluido de servicio).

En estas zonas se han detectado puntos especialmente degradados, correspondientes a las uniones soldadas. Estas uniones no están selladas por el interior y el agua ha penetrado en su interior provocado el fenómeno de corrosión por "crevice" en la zona de solape entre camisa y boquilla de unión.

Esta forma de corrosión se caracteriza por un intenso ataque localizado en grietas expuestas a agentes corrosivos. Este proceso es normalmente asociado al estancamiento de pequeños volúmenes de solución causados por perforación, juntas labiales, defectos superficiales o grietas bajo pernos u otros elementos de sujeción

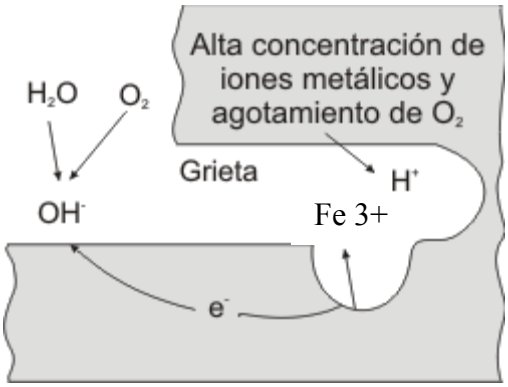


Figura.6.2. Esquema básico del proceso de corrosión por "crevice"

Corrosión en tubería no hormigonada

Se ha detectado el mismo tipo de corrosión que en la camisa interna de chapa. Además existen indicios de la existencia de corrosión bacteriana en las zonas de tubería de pequeño diámetro y zonas en las que el agua esta totalmente estancada durante largos periodos de tiempo. Se ha detectado la presencia de tubérculos adheridos a las paredes de la tubería y trazas de azufre en las muestras analizadas.

7. Medidas. Acciones recomendadas

Analizado el funcionamiento y requisitos del sistema y todos los datos resultantes de los ensayos realizados se proponen las siguientes acciones correctivas:

Sustitución del actual sistema de tubería hormigonada

El estado y diseño de la tubería instalada actualmente no garantiza el funcionamiento fiable y duradero del sistema. Se debe sustituir por un nuevo sistema de tubería que debe cumplir como mínimo con los siguientes requisitos:

- Cumplir con las Bases de Diseño del sistema contra-incendios, tanto en su apartado de códigos de diseño para tubería a presión como en el de estructuras, sistemas y componentes de clase sísmica.
- Las uniones del nuevo sistema deberán ser uniones a tope, para minimizar los fenómenos de corrosión en las zonas de soldadura.
- Deberá permitir la realización de inspecciones y pruebas periódicas de la línea para comprobar su estado y evolución.
- Proteger el sistema de los factores y agentes que han provocado el deterioro del sistema instalado actualmente.

Sustitución del agua del sistema

Se sustituirá el agua utilizada hasta ahora procedente de la red general por agua procedente de la planta de ósmosis existente en la instalación. Esto aportará al sistema las siguientes mejoras:

- Reducción de los niveles de sales presentes en el agua de servicio, empleando agua osmotada en sustitución del agua utilizada actualmente, provinente de la red general.
- Eliminación de los microorganismos presentes en el sistema mediante el uso de biocidas.
- Aportación de productos reductores de oxígeno, inhibidores de la corrosión, tales como nitritos, fosfatos y silicatos

Renovación del agua del circuito

Se debe establecer desde el departamento de Química-Radioquímica, en función del nuevo diseño y evaluación mediante análisis de muestras, un programa periódico que permita hacer recircular el agua del circuito y renovarla para evitar la corrosión por la acción de microorganismos.

Esta acción se implantará mediante el estudio y emisión de los correspondientes procedimientos desde Dirección de Servicios Técnicos y Departamento de Química.

Inspección y pruebas. Se establecerá desde el departamento de inspección y pruebas, en función del nuevo diseño, un programa de control de espesores e inspección visual del circuito que permitan el seguimiento y evolución de las líneas para la detección precoz de cualquier incidencia en el sistema.

Se reevaluarán las fugas admisibles de las pruebas operacionales y periódicas realizadas al sistema de forma que no puedan quedar encubiertas las posibles fugas en el circuito.

Estas acciones se implantarán mediante el estudio y emisión de los correspondientes procedimientos desde Dirección de Servicios Técnicos y Mantenimiento.

7.1. Alternativas de diseño

Determinadas las causas de deterioro del sistema, este proyecto se centra en el desarrollo de un nuevo sistema de conducción para el anillo principal contra-incendio, responsable de aportar agua a los edificios relacionados con la seguridad nuclear de las instalaciones.

Estas opciones deberán cumplir de entrada una serie de requisitos, como son, el aprovechamiento del sistema de almacenaje del agua actual, mediante tanques de almacenamiento, el sistema de bombeo mediante las bombas de impulsión existentes y permitir una conexión sencilla a los sistemas de extinción existentes en los diferentes edificios de la central. Se deberá contemplar el impacto de estas opciones en el resto de instalaciones existentes y en el funcionamiento programado de la planta.

Alternativas

Sistema de tubería de acero al carbono aérea. La elección de este sistema plantea diferentes ventajas e inconvenientes a valorar.

Ventajas

- Puede cumplir con los requisitos postulados en las Bases de Diseño del sistema (ver punto 1.2 "Sistema actual", apartado "bases de diseño").

- Permite el funcionamiento del sistema actual durante su instalación, y el montaje puede realizarse durante el funcionamiento normal de la planta, aprovechando los periodos de recarga para su conexión con el resto de sistemas existentes.

- El diseño es totalmente compatible con el resto de componentes existentes, garantizando la interconexión del sistema y el cumplimiento de los requisitos de operación.

- Sistema de fiabilidad contrastada, utilizado con resultados satisfactorios en todo tipo de instalaciones.

- Plazos normalizados para la entrega del material por los proveedores.

Inconvenientes

- Coste elevado del sistema de soportación necesario para la línea. Este sistema está relacionado con la seguridad de la planta y debe cumplir con los requisitos sísmicos para soportar los fenómenos naturales tales como terremotos, tornados, inundaciones etc. Este requisito hace necesario que las soportaciones estén sobredimensionadas, aumentando de forma muy importante su coste y plazo de ejecución.

- Interacción con el resto de sistemas de la planta. La instalación de este sistema aéreo es difícil de encajar en las instalaciones existentes por la existencia de viales, edificios anexos, líneas eléctricas, sistemas de seguridad etc.

- Utilizando tubería de acero al carbono, el sistema sigue siendo vulnerable a la corrosión por contacto con el fluido de servicio (agua).

- Acceso de dificultad media para la inspección y mantenimiento de la línea.

Sistema de tubería de acero al carbono por galerías. Se plantea la utilización del sistema de galerías de conducción subterránea existente en el perímetro de la central. Este sistema plantea diferentes ventajas e inconvenientes:

Ventajas

- Puede cumplir con los requisitos postulados en las Bases de Diseño del sistema (ver punto 1.2 "Sistema actual", apartado "bases de diseño").

- El diseño es totalmente compatible con el resto de componentes existentes, garantizando la interconexión del sistema y el cumplimiento de los requisitos de operación.

- Utilización de las galerías y arquetas de hormigón y de los sistemas de soportación existentes en su interior. En las galerías ya existen placas embebidas y la soportación necesaria para la instalación de nuevas tuberías, calculadas para cumplir con los requisitos sísmicos necesarios.

- Las interferencias con el resto de sistemas son mínimas, ya que en el momento de construcción de las galerías se contempló la posibilidad de utilizarla para instalar nuevas canalizaciones a diferentes niveles.

- Permite el funcionamiento del sistema actual durante su instalación y el montaje puede realizarse durante el funcionamiento normal de la planta, aprovechando los periodos de recarga para su conexión con el resto de sistemas existentes.

- El diseño de las galerías de tipo visitable permite el seguimiento en servicio, la realización de inspecciones y pruebas periódicas.

- Ejecución de las obras en plazo de tiempo razonable y con un coste medio.

- Plazos normalizados para la entrega del material por los proveedores.

- Permite el funcionamiento en paralelo del actual sistema hasta su entrega.

Inconvenientes

- Utilizando tubería de acero al carbono, el sistema sigue siendo vulnerable a la corrosión por contacto con el fluido de servicio (agua).

Sistema de tubería de polietileno enterrada. Otra alternativa al sistema actual es la utilización de tubería de polietileno de alta densidad existente en el mercado, que actualmente garantiza el servicio hasta presiones de 16-18 bares de servicio.

Esta tubería circularía enterrada como la actual, y presenta importantes mejoras respecto a la actual.

Ventajas

- Presenta las mejores características contra la corrosión de las alternativas presentadas.

- El montaje de las líneas es sencillo y diseño es totalmente compatible con el resto de componentes existentes, garantizando la interconexión del sistema.

- El coste del montaje es muy competitivo respecto al resto de alternativas.

- Mantenimiento mínimo.

Desventajas

- Difícil justificación para el cumplimiento de los requisitos sísmicos del sistema contra-incendios en los edificios con componentes relacionados con la seguridad (ver punto 1.2 "Sistema actual", apartado "bases de diseño").

- Las líneas enterradas no permiten su seguimiento e inspección.

- Interacción con el trazado actual. Dificulta su instalación durante el funcionamiento normal de la planta, alargando el periodo de implantación de la modificación .

- Interconexión con los ramales de acero al carbono existentes del resto del sistema que no van a ser sustituidos.

- No se tiene experiencia en instalación de este material en la planta ni de su comportamiento a largo plazo.

7.2. Diseño final

Para la elección del diseño final del nuevo anillo se han tenido en cuenta especialmente los siguientes factores:

- Criterios técnicos: Comparación de las ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas propuestos y su compatibilidad con el resto de acciones correctivas.

- Criterios económicos: Costes directos de la modificación y costes indirectos, impacto de la implantación de la modificación sobre la actividad de la planta.

Finalmente se opta por una opción de cambio en el concepto del circuito contra-incendios y nuevo diseño del anillo principal, sustituyendo el anterior sistema por una nueva solución en la que se divide el actual trazado en dos subconjuntos:

Nuevo Anillo Principal.

Este nuevo anillo suministrará agua a los sistemas de extinción de cada uno de los edificios del "grupo de potencia" relacionados con la seguridad nuclear. Se utilizará el sistema de tubería de acero al carbono, circulando por las galerías existentes. Estará construido con material acero al carbono A-106 Gr. B, de diámetro 12", equivalente al diámetro de la tubería sustituida.

A la hora de seleccionar esta opción, se han tenido en cuenta los siguientes factores:

- El diseño de este tipo de tubería cumple los criterios de las Bases de Diseño del Sistema, es un material conocido, fiable y de uso generalizada tanto dentro de la planta como en multitud de industrias con resultados satisfactorios.

- El aprovechamiento de estructuras y equipos ya instalados y la compra de los nuevos materiales necesarios para esta opción, suponen un coste muy inferior al de las otras alternativas.

- Esta opción permite construir el nuevo anillo manteniendo el actual en funcionamiento. De esta forma, no se altera el programa de funcionamiento de la central, realizando la interconexión con los sistemas de extinción existentes en cada edificio, durante los periodos de parada programada para recarga de combustible.

  Si el actual sistema se pusiera fuera de servicio durante la sustitución obligaría a detener la planta o realizar las intervenciones únicamente durante periodos de parada técnica y recarga. Esta situación incrementaría los costes y el plazo de implantación de forma muy considerable.

- La implantación del resto de medidas correctivas, tratamiento y renovación del agua, e implantación de un programa de inspecciones periódicas son totalmente compatibles con este diseño y no suponen un coste económico relevante para su ejecución.

- La vulnerabilidad a la corrosión del lacero al carbono escogido, se solventará con la aplicación del resto de medidas y el sobre espesor de corrosión que se añadirá en el proceso de cálculo de diseño de la tubería.

Anillo Secundario o "Sub-anillo"

Segunda parte que completa el sistema de distribución principal. El anillo secundario será el responsable de suministrar el agua del sistema contra incendios al resto de edificios convencionales y áreas exteriores, instalaciones no relacionados con la seguridad nuclear, como son oficinas, talleres, zonas externas y almacenes.

El diseño del anillo secundario no esta sujeto a criterios de diseño sísmicos y se desarrollará en una modificación de diseño independiente, que no interfiera con la implantación de la modificación del anillo principal. la conexión a la línea principal se realizará mediante la conexión a las válvulas previstas en el nuevo diseño, sin afectar la programa de funcionamiento de central.

Las interferencias con el sistema actual durante su construcción se pueden solventar con la adopción de medidas compensatorias por parte departamento de Operación- vigilancia Contra-Incendios.

Interfases con el resto del sistema.

La interconexión con el sistema de impulsión, sistemas de extinción de los edificios y el nuevo anillo secundario se realizará mediante uniones embridadas. En estas uniones se instalarán válvulas de cierre manual.

De esta forma se mantiene la redundancia del sistema ya que la disposición de las válvulas permitirá aislar cualquier tramo de tubería y/o las conexiones a edificios en caso de avería, permaneciendo el resto del anillo en servicio.

Al no modificar el diámetro de la tubería ni los sistemas de impulsión y extinción de los diferentes edificios, se cumplen los parámetros principales de diseño y capacidad del sistema, que son:

- Se mantiene la capacidad de los tanques al 100% (300.0000 galones, 1135 m3).
- Se mantiene el caudal mínimo suministrado (3000 gpm, 680 m3/h).
- Se mantiene el caudal máximo simultáneo de rociado (2500 gpm, 567 m3/h).
- Se mantiene el caudal máximo simultáneo de mangueras (500 gpm, 113 m3/h).
- Se mantiene el los parámetros de funcionamiento y servicio de las bombas existentes

	Bomba diesel 1	Bomba diesel 2	Bomba electrica
Caudal normal (m3/h)	355	355	355
Caudal mín. (m3/h)	120	120	120
Caudal máx. (m3/h)	715	715	715
Presión máx. (Kg/cm2)	11,5	11,5	11,5
TDH a Q normal (m.c.a)	84	84	84
TDH a Q = 0 (m.c.a)	91	91	91
NPSH requerido (m.c.a)	3,5	3,5	3,5
Diam. impulsión	418	422	422

Tabla.7.1 .tabla de parámetros de servicio de las bombas de impulsión del sistema contra-incendios

7.3. Cálculos

Tubería

Al mantenerse el caudal, presión y temperatura de servicio, suministrado al anillo por el sistema de bombas y presurizador existente, el cambio de la tubería del anillo es de "igual por igual", es decir, el nuevo componente debe cumplir los mismos requisitos de funcionamiento que el sustituido, por lo que se mantiene el diámetro de tubería de 12 pulgadas.

Para la determinación de los espesores de tubería y accesorios se ha utilizado el sistema del cálculo del "rating" (ratio o clasificación) establecido en la norma ANSI/ASME B31.1.

Este sistema ha sido creado y se utiliza de forma generalizada en la industria, para simplificar los cálculos de tuberías construidas con materiales de fiabilidad contrastada y para facilitar la fabricación y aprovisionamiento de componentes estandarizados.

Mediante este sistema, conocidos los parámetros de presión y temperatura máximos de servicio, y el material escogido para la fabricación de los componentes, se pueden seleccionar la tubería y componentes, bridas, forjas etc. estandarizados con los que se construirá el nuevo anillo.

El sistema de rating es un sistema de diseño conservador, es decir, las tablas utilizadas para determinar la clase o rango de los componentes, ya incluyen los cálculos de estrés, resultantes de las posibles variaciones de temperatura y presión durante el funcionamiento de la tubería, admitiendo incrementos de la tensión máxima admisible del material de hasta:

- Incrementos del 15% de la tensión máxima admisible durante periodos iguales o inferiores al 10% dentro de un periodo de funcionamiento de la tubería de 24h.

- Incrementos del 20% de la tensión máxima admisible durante periodos iguales o inferiores al 1% dentro de un periodo de funcionamiento de la tubería de 24h.

A partir de este principio se procede a seleccionar la tubería en función de los siguientes parámetros de servicio.

- Material acero al carbono A-106 Gr. B
- Presión máxima de servicio 158 psi (11,5 Kg/cm2)
- Temperatura máxima de servicio 97ºF (36ºC)
- Temperatura mínima de servicio de servicio 32ºF (0ºC)

Con estos parámetros de servicio y la tabla de ratings para el grupo de materiales entre los que se encuentra el material A-106 Gr.B, se realizan las siguientes operaciones:

- Se selecciona la fila de la tabla en la que se indica el rango de temperatura o valor máximo por debajo del cual se encuentra nuestra temperatura de servicio, en este caso el rango de -20 a 100 º F.

- Se busca en la misma línea de temperatura seleccionada el valor de presión máxima de trabajo por debajo de la cual se encuentra nuestra presión de servicio, en este caso el valor 235 psi.

- Se obtiene el valor del rating para nuestra tubería situado en el encabezamiento de la columna correspondiente a la presión de servicio seleccionada, en este caso un rating de 150.

TABLE 2-1.4A STANDARD CLASS

Temperature, °F	Working Pressure by Classes, psig							
	150	300	400	600	900	1500	2500	4500
−20 to 100	235	620	825	1,235	1,850	3,085	5,145	9,260
200	215	560	750	1,125	1,685	2,810	4,680	8,425
300	210	550	730	1,095	1,640	2,735	4,560	8,210
400	200	530	705	1,060	1,585	2,645	4,405	7,930
500	170	500	665	995	1,495	2,490	4,150	7,470
600	140	455	610	915	1,370	2,285	3,805	6,850
650	125	450	600	895	1,345	2,245	3,740	6,725
700	110	450	600	895	1,345	2,245	3,740	6,725
750	95	445	590	885	1,325	2,210	3,685	6,635
800	80	370	495	740	1,110	1,850	3,085	5,555
850	65	270	355	535	805	1,340	2,230	4,010
900	50	170	230	345	515	860	1,430	2,570
950	35	105	140	205	310	515	860	1,545
1000	20	50	70	105	155	260	430	770

Tabla.7.2 .tabla de selección de rating para el material A-106 Gr. B (norma ANSI B16.34-88)

Seleccionado el valor del ráting de 150# para a la tubería, se instalará el componente estandarizado, que en este caso correspondería a una tubería de diámetro 12 pulgadas, diámetro exterior 323,850 mm y espesor 4,572 mm.

Ø nominal (mm)	Ø exterior (mm)	Espesor nominal para schedule (mm)										
		5S	10S	10	20	30	Std	40	60	XS	80	100
½"	21,336	1,651	2,108				2,769	2,769		3,734	4,734	
¾"	26,670	1,651	2,108				2,870	2,870		3,912	3,912	
1"	33,401	1,651	2,769				3,378	3,378		4,547	4,547	
2"	60,325	1,651	2,769				3,912	3,912		5,537	5,537	
4"	114,300	2,108	3,048				6,020	6,020		8,560	8,560	
6"	168,275	2,769	3,404				7,112	7,112		10,973	10,973	
8"	219,076	2,769	3,759		6,350	7,036	8,179	8,179	10,312	12,700	12,700	15,088
10"	273,050	3,404	4,191		6,350	7,798	9,271	9,271	12,700	12,700	15,088	18,263
12"	323,850	3,962	4,572		6,350	8,382	9,525	10,312	14,275	12,700	17,475	21,438

Tabla.7.2 .Tabla de relación entre diámetro, espesor y schedule estandarizados (norma ANSI B36.10 M85)

Para comprobar la correcta elección del espesor de acuerdo a ratting se ha realizado los cálculos utilizados para determinar espesores mínimos para componentes que se van a utilizar en rangos de temperatura y presión situados fuera de los parámetros estandarizados.

En este caso, de acuerdo a ANSI/B31.1, para el cálculo de espesor mínimo admisible de la tubería aplica la fórmula:

$$tm = \frac{P \cdot Do}{2(SE + Py)} + A$$

Donde:

tm = espesor mínimo de pared
P = presión interna de servicio
Do = diámetro externo de la tubería
A = espesor adicional de corrosión
S = tensión máxima admisible del material
E = factor de eficiencia de las uniones
y = factor de temperatura de servicio

Utilizados los valores conocidos de presión y temperatura de servicio, se determinan el resto de valores de acuerdo a las tablas incluidas en el código de diseño.

P = 158 psi (valor de diseño)

Do = 12,750 inches. (según tabla de schedule estandar)

A = inicialmente 0.

S = 15000 psi (tabla A-1 ANSI B31.1-77, material A-106 Gr.B y temperatura $\geq$ -20 a 650 ºF)

E = 0.85 (tabla 102.4.3 ANSI B31.1-77, para tuberías con uniones a penetración)

y = 0.4 (tabla 102.1.2(A) ANSI B31.1-77, coeficiente para temperatura de servicio $\geq$ 482 ºF)

Introducidos todos estos valores en la fórmula, el resultado es:

$$t_m = \frac{158 \times 12{,}750}{2(15000 \times 0.85 + 158 \times 0.4)} + 0$$

$$t_m = 0{,}07859 \text{ inches} = 1{,}99 \text{ mm.}$$

Sumando un sobre espesor de 1 mm de espesor de pared como sobre espesor de corrosión para la tubería se obtendría una valor de 2,99 mm. El valor obtenido está aún por debajo del espesor de 4,572 mm obtenido mediante el cálculo de rating de la tubería.

De esta forma queda comprobado el cumplimiento del código de diseño empleando el método de cálculo por rating y que en todo caso es un sistema de cálculo conservador.

Por factores de seguridad, y como norma aplicable a todos los sistemas de la central, se aplica un diseño conservador a los componentes estandarizados utilizados para la construcción del anillo principal. Se emplea un rating de 300# para la tubería y accesorios montados.

Esta medida no aplica a las válvulas, fabricadas bajo normas y pedido específicos.

De esta forma los componentes utilizados para la fabricación del anillo serán:

Elemento	Marca/modelo	rating	observaciones
válvula Ø 12"	Belgiscast – 1H40-12-2D	150#	--
válvula Ø 1"	Ringo BE-40-1-2D	600#	rating de uso estandar
tubería Ø 12"	--	300#	--
tubería Ø 1"	--	300#	--
codo 90º Ø 12"	--	300#	--
codo 45º Ø 12"	--	300#	--
codo 90º Ø 1"	--	300#	--
"te" Ø 12"	--	300#	--
sockolet Ø 12" x 1"	--	300#	--
brida Ø12"	--	300#	--

Soportado

El sistema de soportado de la tubería ya esta construido e instalado en la galería de servicios que rodea el edificio de potencia.

El sistema está conformado por placas de acero al carbono embebidas en la pared de hormigón y soportado mediante perfil horizontal de acero al carbono HEB-200 y pie vertical construido con perfil HEB-160.

Estos perfiles están unidos a las placas y entre sí mediante soldadura. La tubería descansa sobre el perfil y queda fijada a ella mediante la utilización de abarcones soldados al soporte, instalados alternadamente cada dos soportes y soldados al perfil (planos PFC-008 y 009).

La previsión realizada en el diseño de los soportes permite la instalación de la nueva tubería, ya para su cálculo se incluyeron las cargas de las futuras tuberías sobre los soportes instalados, con el fin de determinar el cumplimiento de las limitaciones impuestas por el código aplicable, ANSI B31.1 Ed. 1977.

Para la realización de los cálculos de comprobación sísmica de la tubería, se parte de las siguientes cargas y condiciones de servicio:

- Peso muerto, presión máxima: 163,5 psig. (11,5 Kg/cm2)
- Térmico caliente 97ºF (36º C)
- Térmico frío 32ºF (0ºC)

Partiendo de estos parámetros de servicio, se divide el anillo en diferentes tramos para facilitar las operaciones. Para el sistema cálculo se utiliza un sistema de análisis basado en la modelización de la tubería, empleando el programa de cálculo y análisis de tubería, PIPESTRESS, versión 3.4.02.

Se determinan los datos geométricos de cada tramo de tubería que afecta al soporte, accesorios, dimensiones, peso y centro de gravedad de cada elemento, para el cálculo de las cargas, momentos y dilataciones térmicas.

A partir de estos datos se calculan los distintos casos y combinaciones posibles en cada tramo de tubería, obteniendo las tensiones máximas que puede soportar la tubería en condiciones de servicio, comprobando la resistencia de cada uno de los soportes ya instalados.

Las tensiones obtenidas para cada uno de los tramos no superan en ningún caso las tensiones admisibles en la tubería y accesorios para las diferentes ecuaciones del Código ANSI B31.1 Ed. 1977 cálculos C-V-EF5105 Rev.0 y C-V-EF5115 Rev. 0 realizados por Dirección de Servicios Técnicos de la central [1]

Diseño de uniones

El diseño de las uniones de tubería se ha realizado de acuerdo a los requisitos especificados en la norma ANSI B31.1, para el tipo de tubería y accesorios seleccionados.

- Tubería principal y accesorios diámetro 12": soldadura "buttweld" (penetración total).

- Tubería secundaria 1" (purgas y venteos de línea): soldadura de tipo "socket" (en ángulo).

7.4. Planos

Este apartado los planos descriptivos de la modificación, incluye un plano general de la nueva instalación, isométricos de los tramos de tubería en los que se ha dividido el anillo, sección transversal de la galería con la disposición de la tubería sobre soporte con detalle de los soportes instalados y planos comerciales de las válvulas a instalar.

PÁGINA RESERVADA PARA EL PLANO

PFC-001

PÁGINA RESERVADA PARA EL PLANO

PFC-002

PÁGINA RESERVADA PARA EL PLANO

PFC-003

PÁGINA RESERVADA PARA EL PLANO

PFC-004

PÁGINA RESERVADA PARA EL PLANO

PFC-005

PÁGINA RESERVADA PARA EL PLANO

PFC-006

PÁGINA RESERVADA PARA EL PLANO

PFC-007

PÁGINA RESERVADA PARA EL PLANO

PFC-008

PÁGINA RESERVADA PARA EL PLANO

PFC-009

PÁGINA RESERVADA PARA EL PLANO

PFC-010

PÁGINA RESERVADA PARA EL PLANO

PFC-011

8. Agradecimientos

Quisiera expresar mi agradecimiento al Departamento de Ciencia de los Materiales de la universidad EPSEVG, especialmente al Dr. Antonio Forn (Ponente del proyecto), a Isabel Espinosa (Directora del proyecto) y Sergi Menargues, sin la orientación y apoyo de los cuales hubiera sido imposible el desarrollo de este trabajo.

Agradecer la colaboración del personal de Dirección de Servicios Técnicos y resto de departamentos consultados de la Asociación Nuclear Asco-Vandellós, en especial a Angel Luis Balbas, gran compañero y mejor persona al que tengo que agradecer todo el tiempo y la ayuda prestada de forma desinteresada, durante todo el desarrollo del proyecto.

No puedo dejar de mencionar a todos mis compañeros del departamento de Garantía de Calidad y a Patricio Pinto, por su colaboración y apoyo prestado en los momentos en los que me ha sido necesario.

9. Dedicatoria

Dedico este trabajo mis padres Vicente y Araceli y a mis hermanos Dimas, Vicente y Araceli, junto ha ellos me he formado como persona y siempre me lo han dado todo. Gracias por vuestro cariño, apoyo y comprensión entregados sin esperar nada a cambio.

Dedico especialmente este trabajo a mi esposa Montse Fandos, persona con la que comparto mi vida, todos mis buenos y malos momentos. Siempre es ella la que está a mi lado cuando la necesito.

Por último, a mis hijas, Abril y Elia, esos pequeños tesoros que han llegado a mi vida para cambiarla por completo.

10. Bibliografía

Bibliografía de consulta

- R.J Landrum "*Fundamentals of Designing for Corrosion Control*" National Association of Corrosion Engineers, Ed. 1989.
- Pat. L.. Mangunon *"Ciencia de los materiales, selección y diseño"* Prentice Hall Ed. 2001.
- ASM96. "*Corrosion"* vol. 13 de ASM Handbook Ed. ASM Internacional. American Society of Materials, 1996.
- Westinghouse Nuclear Española *"Descripción del SNGV Westinghouse"* Graficas Marte, Madrid 1983.
- CSN, Guía de Seguridad 1.6 *"Sucesos notificables en centrales nucleares en explotación"* Madrid 1990.
- CSN, Guía de Seguridad 1.10 *"Revisiones periódicas de seguridad de las centrales nucleares"* Madrid 1996.
- CSN, Guía de Seguridad 1.11 *"Modificaciones de diseño en centrales nucleares"* Madrid 2002.
- CSN, Guía de Seguridad 1.13 *"Contenido de los reglamentos de funcionamiento de las centrales nucleares"* Madrid 2000.
- UNE. *"Control de cambios de diseño en centrales nucleares en explotación"* UNE 73-103-92. Madrid 1992.
- UNE. *"Garantía de calidad en el diseño de instalaciones nucleares"* UNE 73-402. Madrid 1995.
- UNE. *"Ensayos no destructivos, cualificación y certificación del personal que realiza ensayos no destructivos"* UNE-EN 473-2001. Madrid 2001.
- ASNT "*Recommended Practise, Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing*" American Society for Non destructive Testing. SNT-TC1A 2001.
- ANSI/ASNT "*ASNT Standar for Qualification and Certification of Non-destructive Testing Personal*" ASNT Standar CP-189 2001.
- EPRI. D. H. Pope "*Study of Microbiologically Influencial Corrosion in Nuclear Power Plants and Practical Guide for Countermeasurements*". EPRI. 1986.
- ANSI/ASME. *"Standards of pressure pipping, Power Piping"* ANSI B31.1 Ed. 1977.

- ANSI/ASME. *"valves flanged, threaded, and welding End"* ANSI B16.34 Ed. 1988.
- ANSI/ASME. *"Cast iron Pipe Flanges and flanged Fittings classes 25, 155 and 250"* ANSI B16.1 Ed. 1975.
- ANSI/ASME. *"Steel pipe Flanges and Flanged Fittings"* ANSI B16.5 Ed. 1981.
- ANSI/ASME. *"Forged Steel Fittings, Socket-welding and Threaded"* ANSI B16.1 Ed. 1980.
- ANSI/ASME *"Pipe sizes, inside and outside diameters, wall thickness, schedules, moment of inertia, transverse area, weight of pipe filled with water - U.S. Customary Units"* ANSI B36.10-M85 Ed. 1985.
- ASME. *"Nondestructive Examination"* ASME boiler pressure vessels, Section V, Ed.2004.
- ASME. *" Ferrorus Materials Specifications"* ASME boiler pressure vessels, Section II, subsection A, Ed. 2004.
- ASME. *"Specifications for welding rods, electrodes and filler metals"* ASME boiler pressure vessels, section II, subsection II C, Ed. 2004.
- ASME. *"Code for concrete reactors vessels and containments "* ASME boiler pressure vessels, Section III, Ed. 2004.
- ASME. "*Welding and Brazing cualifications*" ASME boiler pressure vessels, Section IX, Ed. 2004.
- ASME. "*Rules for Inservice Inspection of nuclear power plant components*" ASME boiler pressure vessels, Section XI, Ed. 2004.

Referencias:

[1] cálculos de soportación de líneas por galería de servicio C-V-EF5105 Rev.0 y C-V-EF5115 Rev. 0 realizados por Dirección de Servicios Técnicos de la central nuclear.

11. Anexos

11.1. Requisitos de Propuesta de cambio de diseño

(Según UNE-73-103-92 "control de cambios de diseño en centrales en explotación)

Conjuntamente con la solución técnica del nuevo diseño del sistema contra-incendios, se deben desarrollar todos los apartados requeridos por la normativa aplicable, UNE-EN-73-103-92 "control de cambios de diseño en centrales nucleares en explotación".

Es estos apartados incluye toda la documentación, justificaciones técnicas y comprobaciones necesarias para garantizar la integridad y funcionamiento seguro de la planta, durante la implantación y funcionamiento de la nueva modificación.

11.1.1. Solicitud de cambio de diseño

El primer paso de la modificación de diseño es realizar formalmente la propuesta de modificación de diseño. (PSD).

La propuesta puede ser emitida por cualquier técnico de las organizaciones de la central, Mantenimiento, Ingeniería, Química etc. que previamente comprobará si se han agotado todas las vías de mejora de operación y mantenimiento posibles.

Esta propuesta en la que se incluirá el Análisis Previo de Seguridad, será remitida al responsable de su organización para su aprobación. El responsable deberá comprobar que la propuesta tiene como mínimo el siguiente contenido:

- Identificación clara del problema y los sistemas afectados.
- Procedencia de la modificación. Causas que la originan.
- Definición de los datos de partida.
- Toda la documentación necesaria para su valoración.
- Propuesta de solución.
- Beneficios que aporta la modificación.

El responsable del servicio puede pedir la ayuda a Servicios Técnicos para completar la propuesta y si lo cree oportuno puede devolverla al técnico responsable para su mejora e incluso rechazarla directamente.

En el caso del anillo principal del sistema contra-incendios la necesidad de la modificación esta basada en las siguientes causas.

- Detección mediante inspecciones de tipo preventivo. Se ha comprobado que la línea presenta corrosión generalizada y puede dar lugar a fallo del sistema contra-incendio a corto o medio plazo.

- Experiencia Operativa interna. Se han producido fallos en la propia planta en sistemas en los que se utiliza el mismo tipo de tubería.

- Experiencia Operativa Externa. Consultados diferentes operadores que poseen instalaciones con este tipo de tubería manifiestan tener la misma problemática.

- Dificultad de reparación. La reparación de las línea afectadas es difícil y costosa (tubería enterrada).

- Mejora de diseño, instalar un sistema alternativo que no presente los problemas de corrosión del actual y permita un programa de inspección y mantenimiento sencillo.

- Afecta a la seguridad industrial y física de la planta.

- Puede provocar indisponibilidad de la planta.

Una vez aceptada por el responsable del servicio emisor, esta propuesta es enviada a Servicios Técnicos (Ingeniería). El jefe de ingeniería realizará una primera valoración del contenido y si el resultado es satisfactorio valida la modificación. En caso contrario puede ser devuelta para su mejora e incluso rechazada y archivada.

La propuesta aceptada es enviada al Comité de Valoración de Propuestas formado por representantes de las organizaciones de la central y el comité de gestión del explotador. Se realiza el estudio de viabilidad económica, viabilidad técnica y se realiza la valoración de la misma para determinar la importancia y plazo de implantación.

Aprobada la propuesta por el comité es enviada de nuevo a Servicios Técnicos donde se le asigna un Técnico responsable. Este Técnico conjuntamente con desarrollará los siguientes datos de partida de la modificación de diseño:

- Estudio del sistema, parámetros, normativa aplicable, materiales, señales de control, operaciones, medios de proceso etc.

- Planteamiento de diferentes soluciones y la solución más adecuada.

- Realizar diseño conceptual.

- Análisis económico (presupuesto estimado).

- Medidas a tomar mientras no se implanta la modificación etc.

Los proyectos singulares autorizados por el Comité de explotación que dan lugar a modificaciones de diseño, entran en el circuito de gestión de modificaciones en este punto, sin pasar por los pasos previos.

Finalmente tras realizar este estudio la propuesta definitiva es examinada de nuevo por el jefe de ingeniería, que la aprueba y envía al director de central. Este acepta la solicitud de cambio o la rechaza. Cuando es aceptada, la Solicitud de Cambio de Diseño se convierte en Paquete de Cambio de Diseño. (PCD) y sigue los pasos posteriores hasta su implantación.

11.1.2. Descripción del cambio

El objeto de esta modificación es la realización de un trazado alternativo al existente situado alrededor del núcleo de potencia, transcurriendo por la galería subterránea de canalización de tubería ya existente, a diferencia del antiguo sistema que circulaba enterrado.

La base del nuevo anillo principal estará compuesta por tubería de acero al carbono tipo A-106 grado B de diámetro 12". Cada tramo contará con válvulas de tipo manual de bola marca Ringo modelo BE40-1-2D de diámetro 1" para el drenaje y venteo de las líneas.

Contará con válvulas de seccionamiento de compuerta manual, marca Belgiscast, modelo 1H50-12-2D, diámetro 12", que permitan aislar cada uno de los tramos por separado, garantizando el suministro de agua a los diferentes sistemas aún en el caso de que se produjera alguna avería en alguna parte del anillo.

Se trata de un diseño de tipo convencional (no clase nuclear), aunque debe cumplir con los requisitos sísmicos de acuerdo a las Bases de Diseño aplicables al sistema principal.

Se ha utilizado el cálculo de flexibilidad y soportes existente para justificar y validar el montaje del nuevo anillo de tubería aérea por la galería incluido en los isométricos entregados en este proyecto.

Se ha montado tubería de diámetro equivalente al sustituido lo que permite adaptar el nuevo anillo al sistema de impulsión existente y a la instalación contra incendios sin modificar los parámetros de servicio especificados en la base de diseño.

Se incluirán los planos del suministrador de las válvulas utilizadas específicamente el diseño del sistema contra-incendios.

11.1.3. Registros afectados

Emitida la modificación de diseño es la a Oficina de Planificación de Mantenimiento la encargada de notificar a los diferentes departamentos los procedimientos y gamas afectados por la modificación.

Cada uno de los departamentos será responsable de analizar el impacto de la modificación en sus procedimientos y las modificaciones necesarios para adaptarlos a la nueva situación de la planta. Tras la implantación de la modificación se dispone de un año para revisar los apartados de los procedimientos afectados por el nuevo sistema contra-incendios.

Por su parte Dirección de Servicios Técnicos será responsable de actualizar la documentación correspondiente a los Manuales de Inspección Reglamentaria, Manual de inspección en Servicio, Manual de Protección contra-incendios y realizar el Análisis de Riesgo contra-incendios en los apartados afectados por la modificación.

Revisados todos estos documentos, se hará la correspondiente distribución a todos los servicios y se configurarán en los sistemas de consulta internos. Los originales de los documentos son enviados al departamento de Logística, responsable del archivo de la nueva revisión y todas las anteriores que pudieran existir, durante toda la vida operativa de la central.

11.1.4. Análisis Previo de Seguridad

La realización de este análisis es necesario para estudiar el impacto en el contenido de los Documentos Oficiales de Explotación y resto de documentos Básicos provocados por la modificación. Determina si esta afecta de manera directa o indirecta a la seguridad de la central.

El Análisis Previo se desarrolla como parte de la Propuesta de cambio de diseño, ya que el resultado de esta evaluación puede repercutir directamente en el desarrollo de la modificación e incluso provocar su retirada.

Del resultado del Análisis previo depende la realización de la Evaluación de seguridad. Si el resultado es negativo, es decir, no afecta a la seguridad, no será necesaria la Evaluación de Seguridad.

Si por el contrario el resultado es positivo, la modificación afecta a la seguridad, será necesario realizar la Evaluación. Si el alcance del proyecto afecta a la seguridad de forma clara, como es el caso de este proyecto, no será necesario realizar este paso intermedio y se pasa directamente a realizar la Evaluación de Seguridad correspondiente.

11.1.5. Evaluación de Seguridad

Evaluación encaminada a determinar el impacto sobre los Documentos Oficiales de explotación y resto de Documentos Básicos de la central, provocados por la modificación del anillo principal del sistema contra-incendios. También determinará si la modificación requiere autorización por parte de la Administración para su implantación.

La evaluación se divide en tres partes, en la primera se ha analizado si la modificación requiere autorización por parte de la administración:

Requisitos administrativos asociados al cambio.	**No**	**Si**
Requiere aprobación previa de un cambio del Plan de Emergencia Interior	**X**	
Requiere aprobación previa de un cambio del Manual de Garantía de Calidad.	**X**	
Requiere aprobación previa de un cambio del Manual de Protección Radiológica.	**X**	
Requiere aprobación previa de un cambio del Plan de Gestión de Residuos Radiactivos	**X**	
Supone ampliar los límites de vertidos al exterior (MCDE)	**X**	

Requisitos administrativos asociados al cambio.	**No**	**Si**
Supone interferencias significativas con la Operación normal de la planta.	**X**	
Implica incremento de dosis colectiva ≥ 1 Sv.p.	**X**	
Requiere aprobación previa de un cambio de Especificaciones Técnicas de funcionamiento.	**X**	
Requiere aprobación previa de un cambio de Reglamento de Funcionamiento.	**X**	

Si respuesta a alguna de estas primeras nueve preguntas es afirmativa se requeriría la aprobación por parte de la Administración de la modificación de diseño (Análisis de Diseño).

Resultado. En nuestro caso, la modificación del anillo no necesita de la aprobación de la Administración para su implantación ni la realización del correspondiente Análisis de seguridad.

En la segunda se ha comprobado si la modificación afecta a Documentos de explotación y resto de documentación Básica de la central:

Documentos afectados por el cambio.	**No**	**Si**
Requiere un cambio de Especificaciones Técnicas de Funcionamiento	**X**	
Requiere un cambio del Reglamento de Funcionamiento.	**X**	
Requiere un cambio del Plan de Emergencia Interior	**X**	
Supone un cambio al Estudio de Seguridad	**X**	
Supone un cambio al Manual de Garantía de Calidad	**X**	
Supone un cambio al Manual de Protección Radiológica	**X**	
Supone un cambio al Programa de Gestión de Residuos Radioactivos	**X**	
Supone un cambio al Manual de Control de Dosis Exterior	**X**	
Supone un cambio al Manual de Inspección en Servicio	**X**	

Documentos afectados por el cambio.	**No**	**Si**
Supone un cambio al Dossier de calificación de Vandellós II	**X**	
Supone un cambio al Manual de Protección contra-incendios		**X**
Supone un cambio al Manual de inspección Reglamentaria		**X**
Supone un cambio al Manual de Erosión-Corrosión	**X**	
Supone un cambio al Manual de Requisitos de vigilancia	**X**	
Supone un cambio al Manual de Aspectos Medio-ambientales	**X**	
Supone un cambio a las Bases de Diseño	**X**	
Supone un cambio al Informe de Límite de Operación del Núcleo	**X**	
Supone cambios al Análisis de Riesgo de Incendios		**X**
Supone cambios al Análisis de Riesgo por Inundación	**X**	
Supone cambios al Análisis de Riesgo por Riesgo de Rotura de Tuberías	**X**	
Supone cambios al Análisis de Riesgo de Proyectiles	**X**	
Supone cambios al Análisis de Riesgo de Cargas Pesadas	**X**	
Supone cambios al Análisis de Riesgos por interacción con otros elementos (II sobre I)	**X**	

Resultado. Todos los apartados en los que la respuesta ha sido afirmativa se deben incluir en el desarrollo del presente proyecto.

En el tercer y último apartado se revisan específicamente los puntos en los que la modificación puede afectar al Estudio de Seguridad, documento donde se evalúan todos los factores que pueden provocar un accidente y las herramientas para su gestión. A su vez se divide en diversas partes

En el primer punto del apartado se ha chequeado si el contenido de la modificación que puede aumentar la frecuencia de accidente analizado en el Estudio de Seguridad de la central.

Aumento de Frecuencia de Ocurrencia de accidente respecto a los dispuesto en el E.S.	**No**	**Si**
Se dejan de cumplir Códigos y Normas aplicables al sistema afectado	**X**	
Se introduce instrumentación con nuevas características o se modifican las existentes	**X**	
Se introducen condiciones de operación del sistema fuera de sus límites de diseño o prueba	**X**	
Se generan efectos adversos (vibración, transitorios hidráulicos o térmicos, fatiga, corrosión etc.) en algún ESC relacionado con la seguridad que exceda los límites de su diseño	**X**	
Cambia la interfase con otros ESC´s de forma que aumenta la frecuencia de ocurrencia de accidente	**X**	
Aumenta la frecuencia de algún accidente previamente analizado en el Estudio de Seguridad.	**X**	
Se usan consideraciones de Análisis Previo de Seguridad para tomar decisiones	**X**	
Son necesarias medidas compensatorias	**X**	

En el segundo se ha revisado la posibilidad de que aumente la probabilidad de ocurrencia de alguna malfunción de estructuras, sistemas o componentes importantes para la seguridad previamente estudiada en el Estudio de Seguridad.

Aumento de frecuencia de Ocurrencia de malfunción en ESC´s respecto al E.S.	**No**	**Si**
Se dejan de cumplir los criterios de redundancia, diversidad, separación física e independencia	**X**	
Modifica el comportamiento de equipos en condiciones de accidentes internos	**X**	
Aparecen nuevas cargas mecánicas, térmicas, eléctricas, etc. no analizadas	**X**	
Se modifican elementos de protección contra efectos postulados (fuego, chorro, látigo etc.)	**X**	
Se modifica la frecuencia de actuación de sistemas o componentes	**X**	
Se degrada el comportamiento de sistemas de soporte necesarios para la operación fiable de equipos o componentes de seguridad	**X**	
Cambian los requisitos o condiciones de pruebas de ESC´s	**X**	

Aumento de frecuencia de Ocurrencia de malfunción en ESC´s respecto al E.S.	**No**	**Si**
Se sustituyen acciones manuales por automáticas o viceversa	**X**	
Aumenta la posibilidad de ocurrencia de alguna malfunción de ESC´s importantes palra la seguridad previamente analizadas el en Estudio de Seguridad.	**X**	
Se usan consideraciones de Análisis Previo de Seguridad para la toma de decisiones	**X**	
Son necesarias medidas compensatorias	**X**	

En el tercero se ha comprobado si los cambios introducidos por la modificación pueden aumentar las consecuencias de algún accidente respecto a lo analizado en el Estudio de Seguridad.

Aumento de las consecuencias de accidentes respecto a lo dispuesto en el E.S.	**No**	**Si**
Cambian, se degradan o se eliminan acciones descritas o supuestas en el análisis de accidentes	**X**	
Cambian las hipótesis u otros postulados usados para evaluar las consecuencias radiológicas de accidentes analizados	**X**	
Se alteran elementos que desempeñan una función directa en la mitigación de consecuencias radiológicas de los componentes relacionados	**X**	
La modificación incide en las barreras de retención de productos de fisión	**X**	
Aumentan las consecuencias de algún accidente respecto a lo analizado en el Estudio de Seguridad	**X**	
Son necesarias medidas compensatorias	**X**	

En el siguiente punto se ha analizado si los cambios pueden aumentar las consecuencias de alguna malfunción de ESC´s importantes para la seguridad analizados en el Estudio de Seguridad.

Aumento de las consecuencias de alguna malfunción respecto a lo dispuesto en el E.S.	**No**	**Si**
La modificación altera el comportamiento del sistema de forma que aumenta las consecuencias radiológicas de algún accidente	**X**	
Aumentan las tasas de dosis o condiciones adversas de algún cubículo o zona de acceso de áreas vitales o impide realizar acciones que mitiguen las consecuencias de una accidente	**X**	
Aumentan las consecuencias de alguna malfunción de ESC´s importantes para la seguridad, previamente analizada en el E.S	**X**	
Son necesarias medidas compensatorias	**X**	

Se ha estudiado la posibilidad de que se produzca algún accidente de tipo distinto al previamente analizado en el Estudio de Seguridad

Posibilidad de nuevo accidente respecto a lo dispuesto en el E.S.	**No**	**Si**
La modificación crea la posibilidad de que se produzca una accidente de frecuencia y de importancia similares a los considerados en el Estudio de Seguridad o otros según normativa	**X**	
La modificación incrementa la frecuencia de ocurrencia de accidentes ya analizados previamente y que fueron descartados por poca probabilidad	**X**	
Se crea la posibilidad de que se produzca algún accidente de tipo distinto a los previstos previamente analizados en el Estudio de Seguridad	**X**	
Son necesarias medidas compensatorias	**X**	

En este punto se ha evaluado si se crea la posibilidad de que se produzca alguna malfunción de ESC´s importantes con resultado diferente previsto a los dispuestos en el Estudio de Seguridad.

Posibilidad accidentes con resultado diferentes respecto a lo dispuesto en el E.S.	**No**	**Si**
Se introducen nuevos modos de fallo o malfunción con resultados diferentes y que no esten cubiertos por los descritos explícitamente en el Estudio de Seguridad.	**X**	
La modificación añade una nueva posibilidad de fallo único	**X**	
Se introducen nuevos modos de fallo en ESC´s relacionados con la seguridad por modificaciones de ESC´s no relacionados con la seguridad.	**X**	
Se crea la posibilidad de que se produzca alguna malfunción de ESC´s importantes para la seguridad, con resultados diferentes a los previamente analizados por el Estudio de Seguridad.	**X**	
Son necesarias medidas compensatorias	**X**	

Se ha revidado si se has excedido o alterado las Bases de Diseño de las barreras de productos de fisión descritos en el Estudio de Seguridad y las Especificaciones Técnicas de Diseño.

Se modifican limites de Bases de Diseño o barreras de fisión respecto a lo dispuesto en el E.S. y ETF´s.	**No**	**Si**
Se modifican criterios de aceptación de algún parámetro de las barreras de productos de fisión o valores numéricos utilizados en los análisis de accidentes	**X**	
Se modifican parámetros cuyo cambio puede provocar efectos sobre el diseño de barreras	**X**	
Es la respuesta de la planta menos conservadora que algún límite base de diseño descrito en el E.S o ETF´s	**X**	
Se exceden o se alteran los límites bases de diseño de las barreras de los productos de fisión que se describen en el E.S	**X**	
Son necesarias medidas compensatorias	**X**	

Por último se comprueba si se han modificado los criterios de evaluación descritos en el Estudio de Seguridad para establecer las Bases de Diseño o realizar el Análisis de Seguridad.

Se modifican criterios de evaluación para establecer Bases de diseño o Análisis de Seguridad respecto a lo descrito en el E.S.	**No**	**Si**
Se utiliza plataforma o sistema informático distinto para realizar los cálculos de seguridad a los utilizados para el actual E.S	**X**	
Se utiliza un método distinto de evaluación nuevo o distinto no aprobado de forma expresa por el CSN para la aplicación que se pretende realizar	**X**	
Se modifican los métodos de evaluación descritos en le Estudio de seguridad que se ha utilizado para establecer las Bases de Diseño o realizar el Análisis de seguridad	**X**	
Son necesarias medidas compensatorias	**X**	

11.1.6. Estudio de Seguridad

En este apartado se incluyen, en el caso de que existan, las modificaciones al Estudio de Seguridad de la planta causados por la modificación del sistema, incluidos en el apartado del documento *"9.5.1 Sistema de protección contra-incendios".*

En nuestro caso, como se ha detallado anteriormente en la Evaluación de Seguridad, la modificación no afecta al Estudio de Seguridad en sus apartados de cálculo probabilístico, únicamente se deben realizar las modificación correspondientes a la descripción del sistema y los planos funcionales del anillo principal y ramales de conexión a edificios.

Detalle de los puntos incluidos en el Estudio de Seguridad para el sistema contra-incendios:

- *"9.5.1.1 Bases de diseño ".* No se modifica.

- *"9.5.1.2 Descripción del Sistema".* Se sustituirán la descripción general del sistema para incluir la nueva configuración del sistema, dividida en dos partes, anillo principal para edificios de potencia y sub-anillo para edificios auxiliares y zona exterior. Se modificarán las referencias incluidas en el apartado de descripción de componentes a la tubería hormigonada de acero por la nueva tubería de acero al carbono y tubería de polietileno para el nuevo sub-anillo.

- *"9.5.1.3 Evaluación de Seguridad".* No se modifica.

- *"9.5.1.4 Entrenamiento y cualificación del personal ".* No se modifica.

- *"Anexos".* Una vez implantado el sistema, con la configuración definitiva, se deberán incluir los Diagramas Funcionales de Tubería, Equipos e Instrumentación (TEI´s) definitivos y el listado de componentes instalados.

11.1.7. Regla de Mantenimiento / Simulador SGI

Regla de Mantenimiento

Una vez implantada la modificación se deberá evaluar en un plazo no superior a un año la incorporación a la Regla de Mantenimiento de los nuevos equipos y componentes instalados.

En este estudio se evalúan los nuevos componentes y en función de sus características y funcionalidad se les asignará la correspondiente tarea de mantenimiento. Estos equipos o componentes quedan incluidos en las correspondientes gamas de mantenimiento existentes o se emiten nuevas para recoger los equipos con nuevos requisitos.

En estas gamas se describe de forma precisa la intervención a realizar en los equipos y componentes y la frecuencia de aplicación de este mantenimiento preventivo.

Simulador SGI

En la modificación realizada no se incluyen modificaciones en la instrumentación y señalización en Sala de Control principal y Sala de Control Remota que deban incorporarse en el simulador de entrenamiento.

11.1.8. Gestión Medio-Ambiental

Dentro del desarrollo del proyecto se debe realizar el estudio de impacto medioambiental del proyecto en el funcionamiento de la planta. se comprobará si la modificación afecta al Manual de Aspectos Medio-ambientales incorporando algún aspecto nuevo en los siguientes puntos:

Lista de comprobación Manual Medio-Ambiental	No	Si
La modificación supone un cambio en las emisiones atmosféricas establecidas en el manual.	X	
La modificación supone un cambio en los vertidos líquidos establecidos en el manual.	X	
La modificación genera residuos especiales no contemplados en el manual.	X	
La modificación genera modificaciones en los suelos no contemplados en el manual.	X	
La modificación supone un aumento significativo del consumo de agua/energía/papel.	X	
La modificaciones supone un cambio en los aspectos generales del manual	X	

En el caso de que alguno de los puntos modificara la evaluación contenida en el Manual, se debería realizar el consiguiente estudio de viabilidad. En el caso de la modificación del anillo principal del sistema contra-incendios evaluado, no se ha producido, por lo que no será necesaria.

Una vez comprobado que la modificación no incide en el manual, en aplicación de las normas administrativas vigentes el proyecto debe contemplar el cumplimiento del plan genérico de gestión de residuos industriales de la planta. Este se divide en las siguientes actividades:

Recogida selectiva

Los residuos generados durante la modificación se depositarán en los contenedores de recogida selectiva correspondientes dispuestos en la plana y en las áreas especiales acondicionadas para residuos de gran volumen y/o tratamiento especial.

Estos materiales serán retirados y trasladados al almacén temporal de residuos para su posterior tratamiento.

Acondicionamiento

En el almacén temporal de residuos, aquellos materiales no envasados en origen serán tratados y preparados para su etiquetado.

Etiquetado

Todos los contenedores y envases deberán ser identificados, incluyendo el código europeo de residuo (CER), origen, fecha de generación y aquellas observaciones que se crea pertinente. En este punto se diferenciarán residuos inertes, especiales y no especiales de acuerdo a la normativa aplicable.

Almacenamiento temporal

Los residuos especiales deberán se depositarán en el Almacén Temporal para su valorización y tratamiento por el gestor externo autorizado por la Administración, en este caso la Junta de Residuos de la Generalitat de Cataluyna.

Registro

Se deberá registrar y controlar todos los residuos generados por la instalación y dispuestos en los almacenes temporales. El inventario será emitido trimestralmente para su gestión exterior diferenciando residuos especiales y no especiales.

Envío a gestores autorizados

Los residuos incluidos en el catálogo de Residuos de Cataluña emitido por la Generalitat de Catalunya. Estarán debidamente identificados, acompañados por la ficha de aceptación de residuos correspondiente y retirados por los gestores externos autorizados por la administración.

Los residuos no especiales serán retirado por los correspondientes autorizados por la administración para su gestión.

Declaración anual de residuos

los residuos generados por la modificación se incluirán en la Declaración Anual de Residuos Industriales con el correspondiente formato oficial y será enviada al Junta de Residuos de la Generalitat de Catalunya.

11.1.9. Gestión dosimétrica. Evaluación ALARA

Aplicando la máxima que a la hora de realizar un trabajo la mejor dosis de radiación recibida es aquella tan baja como sea razonablemente posible.

Definida como ALARA, acrónimo del inglés "As Low As Reasonable Achievable" se estudia la dosis colectiva, dosis que recibe el total de personas que realiza el trabajo, prevista para la implantación de la modificación.

Para ello se cumplimenta el siguiente cuestionario para la modificación:

Lista de comprobación Evaluación ALARA	No	Si
La dosis colectiva prevista para la implantación de la modificación es superior a 1mSv.persona	X	
Se puede ocasionar contaminación radioactiva del aire durante la realización del cambio de diseño.	X	
Se modifican o instalan componentes en zonas en radiación igual o superior a las condiciones de operación normal o recarga.	X	
La modificación introduce nuevos materiales que están en contacto con el refrigerante del reactor.	X	
Se introduce una nueva fuente de radiación no considerada en el diseño.	X	
Se modifican sistemas de purificación de fluidos contaminados o sistemas de tratamiento de desechos que pueden afectar a blindajes o efluentes.	X	
La modificación implica la generación de residuos radioactivos en cantidad considerable (por encima de 10 bidones de residuos de media y baja intensidad).	X	

En el caso de que alguna de las respuestas fuera positiva se debe realizar el correspondiente estudio de la modificación por parte del Comité ALARA de la central del que forman parte la Dirección de la central, el responsable de los Servicios Técnicos y el responsable del departamento de Protección Radiológica, para estudiar las posibles modificaciones a realizar en la modificación y las correspondientes medidas de protección y minimización de dosis.

En el caso de la modificación del anillo principal del sistema contra-incendios la respuesta es negativa. De todos modos durante la implantación de la modificación se deberán cumplir las normas generales de protección radiológica aplicables en la instalación.

11.1.10. Manual de Inspecciones en Servicio. MISI

Este apartado no aplica directamente a la modificación del anillo principal del sistema contra-incendios, ya que por su función no esta incluido este sistema dentro del Manual de Inspección en Servicio de la Central.

Al tratarse de un sistema convencional, no relacionado con la seguridad nuclear, no está sometido a los requisitos del código ASME sección XI "Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plants Components", subsecciones IWA/B/C/D-5000, de aplicación para las pruebas funcionales de presión e hidrostáticas a realizar tras la instalación a tubería clase nuclear C1, C2 y C3.

Tampoco lo están las válvulas instaladas en el anillo, a las que no aplican los requisitos del mismo código, en este caso los artículos IWV, ASME ANSI "OM Part 10" , para pruebas de presión y fugas a realizar tras la instalación de válvulas de clase nuclear, categorías A, B, C y D.

Si se deberán incluir los nuevos planos funcionales de disposición de tubería, equipos e instrumentación (TEI´s) en el apartado de prueba de las bombas del sistema, ya que estas sí están incluidas en el manual y para su prueba funcional requieren del anillo principal contra-incendios.

11.1.11. Manual de Inspecciones Reglamentarias. MIR

Este apartado lo desarrollan de forma conjunta la empresa explotadora y la empresa colaboradora con la administración responsable de la legalización de instalaciones contratada en la central.

Todos los sistemas y componentes sometidos al vigente reglamento de aparatos a presión están incluidos en el Manual de Inspecciones Reglamentarias, MIR.

Tras la implantación de la modificación, se deberá reorganizar los periodos de prueba del sistema contra-incendios, ya que las nuevas fechas del programa de pruebas reglamentarias se deberá regir por la fecha de puesta en servicio de la modificación.

Administrativamente, a nivel oficial, toda nueva instalación, adecuación, modificación o cambio en el emplazamiento seguirá el siguiente proceso:

- Realización del proyecto oficial, con el correspondiente visado
  - Realización de los cálculos justificativos
- Ejecución de la instalación
- Certificado del instalador
- Certificado de final de obra
- Presentación a una entidad independiente colaboradora con la administración
  - Certificado de constructor
  - Dossier de fabricación
  - Manual de uso y mantenimiento
  - Acta de prueba hidráulica
  - Certificado de inscripción
- Puesta en servicio de la instalación.

11.1.12. Prueba Funcional

Tras la implantación de la modificación, se debe realizar la prueba funcional del sistema. Esta prueba permite al departamento de Operación declarar el sistema operable e incorporarlo al conjunto de la planta.

Los requisitos de esta prueba serán especificados por el departamento de Operación en función de los parámetros de servicio y deberán ser recogidos en el correspondiente Procedimiento de Prueba Funcional (PPF) específico, que debe emitir el mismo departamento.

Este documento suele estar basado en los procedimientos ya existentes para la realización de pruebas periódicas que se realizan en los sistemas. En muchos casos, como ocurre en la modificación del anillo contra-incendios, la preparación de la prueba se limita a incluir los cambios introducidos en el sistema o componente y actualizar el documento ya existente.

El documento final constará, al menos, de los siguientes apartados:

- Objetivo de la prueba
- Referencias (documentación aplicable)
- Alcance de la prueba
- Aplicabilidad
- Condiciones de la prueba
- Prerrequisitos y precauciones
- Equipos de medida y prueba necesarios
- Instrucciones
- Criterios de aceptación
- Documentación de prueba
- Registros y acta de prueba
- Diagrama de prueba

11.1.13. Entrega de la modificación

Cuando se implanta físicamente la modificación y se han realizado las correspondientes pruebas funcionales con resultado satisfactorio, el departamento de Mantenimiento deberá emitir la denominada Hoja de Control de Implantación.

Este documento incluye toda la documentación de primer orden, de tipo funcional, en el que se detalla el estado real en el que ha quedado la planta, incluida la prueba funcional. Se considera documentación de primer orden o tipo "A" toda aquella documentación necesaria para poder operar la planta de forma segura.

Esta documentación funcional deberá haber sido aprobada anteriormente por Dirección de Servicios Técnicos y se deben haber aprobado todas las modificaciones realizadas durante la implantación. Una vez revisada, se entrega al departamento de Operación que, tras su estudio, asume la modificación y declara el sistema modificado operable.

Posteriormente, toda la documentación generada, de primer y segundo orden, es enviada a Dirección de Servicios Técnicos, este la revisa de nuevo, modifica las posibles discrepancias o errores y cierra la modificación. Toda esta documentación es enviada al archivo de Logística y debe permanecer custodiado durante toda la vida operativa de la planta nuclear.

El resto de documentación afectada, procedimientos, gamas, planos constructivos etc. deben estar listos en el plazo de tiempo no superior a un año desde la fecha de implantación de la modificación y deben ser enviados al archivo de Logística, responsable de su custodia durante toda la vida operativa de la central.