

EVOLUCION DE LAS INSPECCIONES EN SERVICIO POR ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

INSPECCION

Juan B. PEREZ PRAT

La Inspección en Servicio (ISI) incluye un conjunto de ensayos no destructivos, establecido según un programa previo, que se ejecuta en su totalidad antes del arranque de la central (Inspección Preoperacional) y que se va repitiendo por muestreos programados en años sucesivos, utilizando preferentemente los períodos de recarga o de parada. Mediante la Inspección en Servicio, se pretende la detección preventiva de posibles defectos originados o desarrollados durante el funcionamiento, de forma que la fiabilidad de los componentes sometidos a la ISI, en lo que a su integridad se refiere, aumenta por el hecho de estar sometidos a inspecciones periódicas, en un factor que se estimó en los estudios de Cave y Holmes, en algunos casos superior a 100. La ISI se realiza además de todas aquellas revisiones que constituyen el mantenimiento convencional de los componentes o sistemas.

ANTECEDENTES DE LA INSPECCION EN SERVICIO

En 1967 se le encargó al Comité N45 de ANSI el desarrollo de un programa para inspección en servicio, cuya necesidad había sido resaltada en la reunión de la AIEA de 1966 en Pilsen, Checoslovaquia.

El año 1970 suele tomarse como punto de partida de la práctica de la inspección en servicio en centrales nucleares, por ser el año en que aparece la primera edición de la Sección XI del Código ASME. Sin embargo, ya se estaban realizando estas inspecciones desde años atrás, siendo uno de los primeros precedentes el de la central el Elk River en 1963, utilizando un equipo mecanizado para una inspección ultrasónica, mientras que, en una fecha muy próxima a la de aparición del Código, en España, en la Central Nuclear José Cabrera, se empezaron a realizar inspecciones en servicio de los tubos del generador con corrientes inducidas, anticipándose varios años al requerimiento de esta inspección.

Si consideramos las técnicas de inspección más extensamente utilizadas, podemos observar que aunque sus orígenes se remontan a hace más de cien años (el efecto piezoeléctrico, que ha permitido el desarrollo de los ultrasonidos fue descubierto en 1880) las aplicaciones para inspección industrial no empezaron, tanto para esta técnica como para la radiografía, hasta casi 50 años

después. En 1942, Firestone añadía a la detección de defectos por ultrasonidos la determinación de su posición en profundidad.

La normativa de aceptación de soldaduras se inicia por esta época y en 1942 publica el Almirantazgo británico una de las primeras normas conocidas sobre aceptación de soldaduras por radiografía para recipientes a presión. Para la aceptación por ultrasonidos, veinte años más tarde, en 1962, DIN, AFNOR, British Standards y ASTM empiezan a publicar normas tentativas a propuestas de normas, que no pasaron a definitivas hasta 1964; es decir, que se comenzó la publicación de normas para inspección por ultrasonidos de soldaduras de fabricación, cuando ya se había empezado a utilizar esta técnica para inspección en servicio en centrales nucleares.

Debemos observar que en la industria nuclear se denomina inspección en servicio el programa que controla la integridad de los límites de presión en los diferentes sistemas. En otras industrias, como en aviación, se utiliza la expresión «Inspección de Mantenimiento», para denominar el control en servicio por ensayos no destructivos de las zonas críticas de las estructuras. El hecho de que se publique desde 1970 un Código para realizar estas inspecciones en centrales nucleares, que es aplicado en todos los países directamente o por referencia, ha producido una uniformidad de base y un impulso a la tecnología de estas inspecciones que, sin embargo, han superado continuamente al Código por la complejidad y la extensión de los controles que se realizan por iniciativa de la propia industria nuclear.

La necesidad de desarrollo y utilización de técnicas para el control no destructivo de soldaduras, se había hecho patente en los estudios de seguridad realizados sobre accidentes y fallos de los recipientes a presión no nucleares, así como en otras construcciones soldadas y de las que es obligado citar los casi 5.000 buques tipo Liberty y T2 construidos durante la Segunda Guerra Mundial, en los que durante el servicio hasta los años sesenta se desarrollaron grietas en uno de cada cinco buques, produciendo serias fracturas en 200 y llegando en 16 de ellos a partirlos en dos. En el estudio y prevención de estas fracturas en construcciones anteriores a los años cincuenta se deben considerar no sólo los defectos que hubieran podido quedar en la soldadura, sino también el comportamiento del metal base, el diseño de las uniones, el procedimiento de soldadura; es decir, que la aparición de

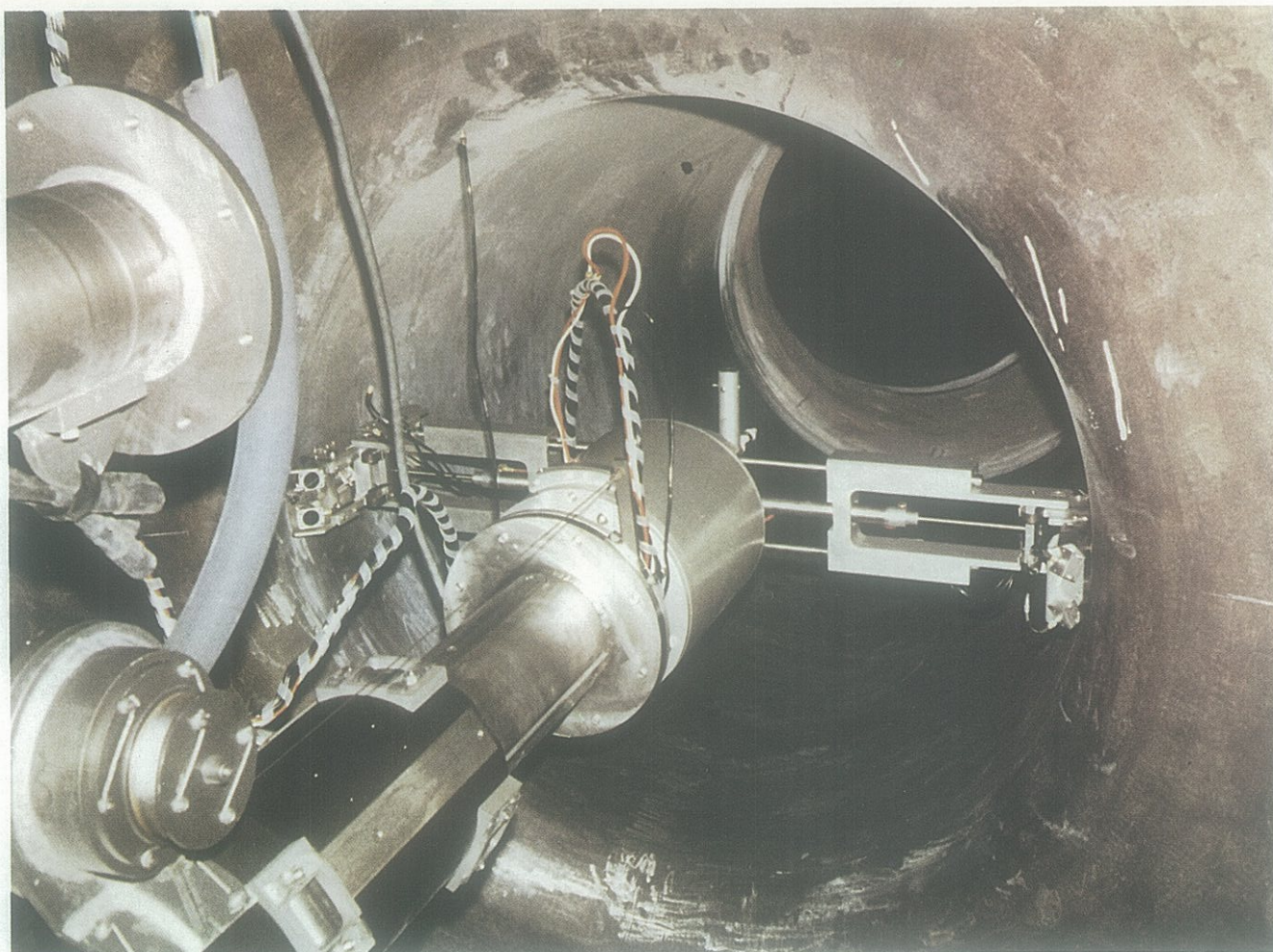
Juan Bautista PEREZ PRAT, comenzó su actividad como Ingeniero Naval (1966) en los astilleros de Sestao, primero en Inspección y Pruebas y más tarde en el Departamento de Reparaciones Navales.

En 1974, como Jefe de la Sección de Inspección de Tecnatom, S. A., acometió el desarrollo de la infraestructura técnica y operativa para la Inspección en Servicio.

Es miembro de ASME desde 1975, del Comité Técnico de Eurotest, y ha sido miembro del Task Evaluation Force del Programa PISC I y del Program Elaboration Group del PISC II.

Ha presentado ponencia en congresos y seminarios en España y en los de CSNI (1979), y Eurotest (1981) en Bruselas, de la AIEA en Copenhague (1982) y Stuttgart (1983), y en el Southwest Research Institute (1981 y 1983).





Detalle equipo mecanizado para inspección vasijas PWR.

grietas en servicio no implica necesariamente que se hayan dejado, al soldar, defectos que se puedan propagar posteriormente, sino que pueden producirse agrietamientos por concentraciones de tensiones, vibraciones, debilitamiento del metal base, corrosión, etc., lo que hace necesario, en las construcciones de responsabilidad, realizar periódicamente inspecciones por muestreo con ensayos no destructivos en las zonas más críticas, que suelen estar en las proximidades de las soldaduras. Así vemos aparecer casi simultáneamente a la Sección XI del Código ASME, en un Mineral Working Act publicado en 1971 en Inglaterra, el requerimiento sobre la inspección anual durante el servicio de plataformas marinas de un 10 % de las soldaduras.

DIFERENCIAS ENTRE SUCESIVAS EDICIONES Y ADENDAS DEL CODIGO ASME, SECCION XI

Desde su primera edición en 1970, la Sección XI ha ido ampliándose mediante sus adendas semestrales, pero también ha experimentado algunas modificaciones que reflejan un cambio de criterios:

Inspección de la vasija del reactor

Hasta 1975 se definía como alcance un 5 % de las soldaduras circunferenciales y otro 10 % de las longitudinales, por intervalo de inspección, examinando cada vez una parte diferente de estas soldaduras.

A partir de 1978 se examinan soldaduras completas cuya inspección se repite en los intervalos sucesivos.

Posteriormente la inspección se hace más intensa en las soldaduras que constituyen discontinuidades (brida vasija y brida cabeza) y en las zonas del radio interior de las toberas.

Técnicas de inspección

En 1973 se publicaron, como Apéndice I de la Sección XI, los requisitos de la técnica de ultrasonidos para la ISI de la vasija. Debido a la conflictividad que se planteaba con la Sección III, este apéndice se transfiere en 1977 a la Sección V, con lo que ya podría ser utilizado, indistintamente, para las inspecciones de construcción y en servicio.

En 1975 se publicaron, como Apéndice III de la Sección XI, los requisitos de la técnica de ultrasonidos a emplear en tuberías. En la revisión de 1978 se cambia la calibración, se definen mayores exigencias para los bloques de calibración, se omite el requerimiento para in-

vestigar las señales de menor nivel, y se reduce el material objeto de examen al tercio inferior del espesor.

Los apéndices y artículos sobre técnicas de inspección se mantienen en el Código en los últimos años sin sufrir, prácticamente, revisión alguna en el Código, aunque documentos como la Regulatory Guide 1.150 (1979) y la práctica habitual de estas inspecciones les superan en rigor en muchos aspectos.

Otros recipientes a presión

Inclusión de requerimiento de examen para las zonas de radio interior de toberas.

Tuberías

En los criterios de selección de las uniones a examinar se consideran a partir de 1978 los relativos a las solicitudes de diseño.

Las soldaduras que se examinen el primer intervalo serán las elegidas para los intervalos subsiguientes.

EVOLUCION ACTUAL

En el momento actual debemos señalar las siguientes líneas características de la evolución de la Inspección en Servicio:

DELEGACIONES

BARCELONA

Mallorca, 127, 1º
Teléf. 254 41 28

BILBAO-9

Juan Ajurriaguerra, 25, 1º
Teléf. 424 26 05

GIJON

Donato Argüelles, 4, 1º
Teléf. 35 47 62

EMPRESA ESPECIALIZADA EN SERVICIOS DE CONTROL DE CALIDAD Y PROTECCION RADIOLOGICA EN CENTRALES NUCLEARES



CIAT NUCLEAR ofrece:

CONTROL DE CALIDAD

- INGENIERIA DE CALIDAD
- INSPECCION Y SUPERVISION DE MATERIALES Y PROCESOS
- EXAMENES NO DESTRUCTIVOS
- MEDIDAS Y PRUEBAS
- INSPECCIONES EN SERVICIO
- CUALIFICACION DE PERSONAL Y PROCESOS
- ESTUDIO Y ANALISIS DE ROTURAS Y DESVIACIONES
- ASISTENCIA TECNICA EN PROBLEMAS METALURGICOS Y DE SOLDADURA
- ASESORAMIENTO EN CODIGOS Y NORMAS

PROTECCION RADIOLOGICA

- ELABORACION Y/O REVISION DE PROCEDIMIENTOS Y MANUALES DE P.R. Y EMERGENCIA
- REVISIONES ALARA
- GESTION DE DOSIMETRIA DE PERSONAL
- MONITORES PARA VIGILANCIA EN PARADAS
- CALCULO Y/O REVISION DE BLINDAJES
- GESTION DE LICENCIAMIENTO DE INSTALACIONES RADIATIVAS Y DE RAYOS X
- ENTRENAMIENTO DE PERSONAL

CIAT NUCLEAR ha intervenido en las siguientes Centrales Nucleares:

José Cabrera, Sta. M.ª de Garoña, Almaraz, Lemóniz, Ascó, Cofrentes, Valdecaballeros, Trillo, Garigliano (Italia) y Laguna Verde (México).



Ejecución ISI de soldaduras brida-vasija en C. N. José Cabrera con dispositivo accionado a distancia.

Estudios de fiabilidad de las técnicas de inspección

Con anterioridad a la aplicación de inspección en servicio, las inspecciones no eran más que, en casos muy aislados, repetidas o comprobadas con técnicas diferentes. Con la inspección en Servicio se empezaron a realizar inspecciones preoperacionales ultrasónicas, en fabricaciones que no habían sido controladas por ultrasonidos. Tras algunos casos de discrepancia notable como el de la tobera de Hatch, se llegó a la práctica de emplear también ultrasonidos en fabricación como inspección complementaria, para evitar que pudieran pasar defectos no aceptables a la fase preoperacional. Sin embargo, esto acarree dos inconvenientes: el primero era que los criterios de aceptación de códigos y normas estaban preparados y experimentados para control radiográfico y no resultaban adecuados para ultrasonidos; el segundo era que dos inspecciones ultrasónicas pueden dar resultados diferentes, en función del procedimiento y equipo empleado, así como también debido a circunstancias relativas al com-

ponente inspeccionado. Por ello, se iniciaron programas en algunos países y más tarde a escala internacional, consistente en rondas de ensayos con unas probetas con espesores típicos de vasijas (el peso de estas probetas puede alcanzar las 20 Tm), que contienen soldaduras con defectos implantados sobre las que las empresas y organizaciones de ISI realizaban inspecciones con equipos y técnicas diferentes. El contraste de los informes entre sí y entre los mismos y el seccionamiento metalográfico de las probetas ha sido objeto de varias publicaciones y conferencias, como consecuencia de las cuales se ha producido a la vez una congelación de las especificaciones técnicas de inspección del Código y unas mejoras sustanciales en las técnicas, equipos y criterios empleados en la práctica, con lo que la normativa de la Nuclear Regulatory Commission en U.S.A. se está planteando en vez de sobre requerimientos técnicos concretos sobre la técnica de inspección, sobre el cumplimiento de unos objetivos de eficacia y fiabilidad de las técnicas particulares de inspección que se emplean.

Los problemas especiales, como la

inspección de aceros austeníticos, o a través de los recubrimientos de inoxidable, son objeto de extensos programas de investigación, mediante los cuales se desarrollan nuevas técnicas de laboratorio que van siendo implantadas en servicio.

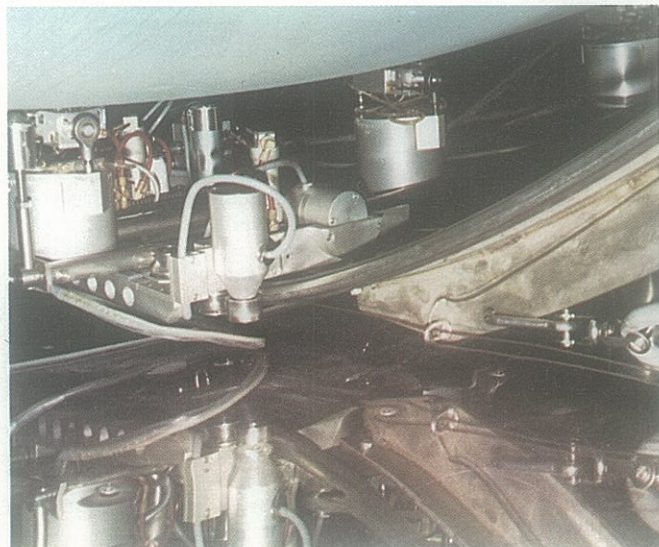
Hoy día es práctica corriente en la inspección en servicio probar las técnicas y procedimientos con defectos reales similares a los que pueden producirse en el componente. La implantación de defectos controlados en probetas soldadas se realiza mediante técnicas que son fruto de laboriosas investigaciones y con las que no se contaba en los primeros balbuceos de los códigos de inspección.

En España se ha participado activamente en los Programas PISC I y PISC II para el estudio de la fiabilidad de la inspección de vasijas y además está en marcha en Tecnatom un programa propio con la misma finalidad.

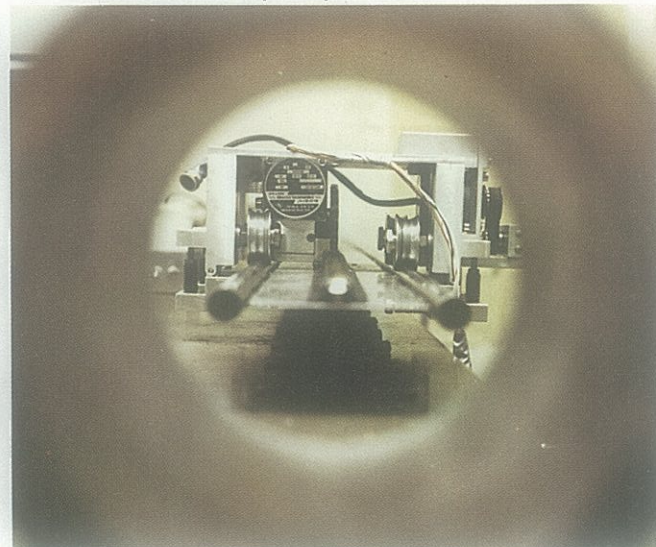
Mecanización de las inspecciones

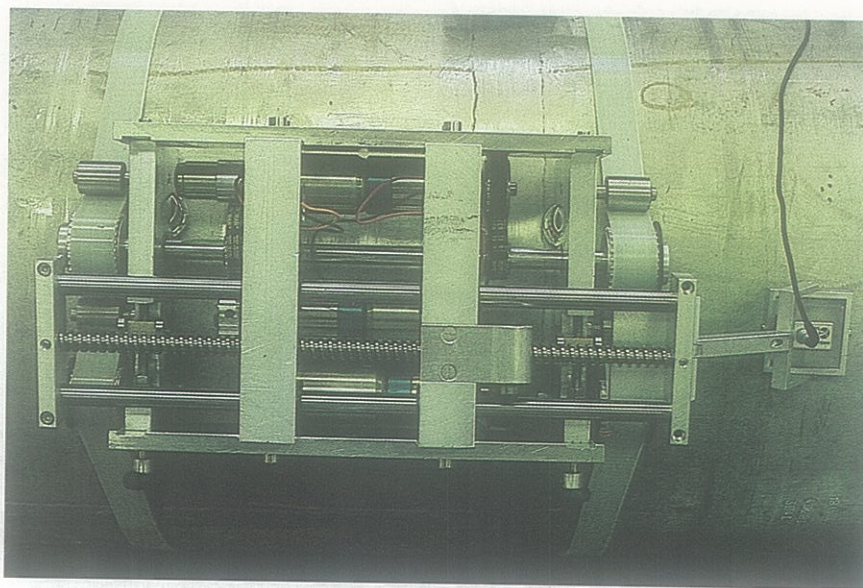
En el caso de la vasija del reactor, la mecanización es la única alternativa para una inspección completa por causa

Detalle equipo mecanizado para inspección vasijas BWR por el exterior mediante carriles.



Posicionador diseño propio para inspección de soldaduras en recipientes por el exterior.





Dispositivo con control remoto para inspección de soldaduras en tuberías.

de la radiación y acceso. El precedente de la Inspección en Servicio en la vasija de Elk River, en 1963, consistió en una inspección mecanizada para el seguimiento de un defecto de fabricación. La inspección de la vasija y de los tubos de los generadores de vapor han sido hasta hace poco los únicos objetivos de mecanización de inspecciones; sin embargo, el alcance de la mecanización se extiende ya a otros componentes.

La mecanización no solamente es ventajosa para reducir las dosis que el personal de inspección recibe, sino que al ir unida a sistemas de posicionamiento y registro de señales, permite constatar la cobertura de todas las zonas requeridas a examen y permitir además el registro de los datos de la inspección correspondiente a las diferentes coordenadas; es decir, que en el caso de los ultrasonidos se registra la información sobre la señal que aparece en la pantalla del osciloscopio, para cada posición del transductor, produciendo una evidencia de la inspección realizada y de los resul-

tados de la misma, comparable a la de la radiografía y en muchos casos superior a ésta en la detección y dimensionamiento de defectos.

Por ello, en Alemania se han comenzado a instalar en las nuevas centrales, carriles fijos para la inspección mecanizada de recipientes y tuberías del sistema primario. En EE. UU. también han empezado a utilizar sistemas mecanizados para la inspección de tuberías, no sólo con ultrasonidos, sino con líquidos penetrantes y radiografía.

Los equipos para la inspección de vasijas desde el interior se han diseñado y aplicado principalmente en EE.UU., Alemania, Francia y Suecia. Para inspección desde el exterior se utilizan equipos sobre carriles fijos y desmontables y también existe un equipo sin carriles sobre ruedas con sujeción magnética, capaz de trabajar sobre la pared vertical de la vasija.

Para la inspección de los tubos de los generadores de vapor por corrientes inducidas, se ha llegado ya a la tercera ge-

neración de equipos: la primera consistía en los posicionadores de tipo XY que requerían varias entradas del personal para cubrir todos los tubos de la placa; la segunda consiste en el empleo de posicionadores polares que cubren la casi totalidad de la placa con una sola instalación; en la actualidad se están empleando ya equipos denominados «araña» (o finger walker) que permiten además la instalación de herramientas para efectuar reparaciones y pueden llegar a ser instalados desde el exterior de la cámara del circuito primario.

En España se han diseñado y utilizado unos sistemas de accionamiento remoto para inspección de pernos, zonas roscadas y soldaduras brida vasija en ISI. Desde 1981 se han diseñado y construido equipos de control remoto para determinadas zonas de la vasija y soldaduras de recipientes y tuberías en general, el primero de los cuales ya ha sido utilizado con éxito en la vasija de C. N. Santa María de Garoña.

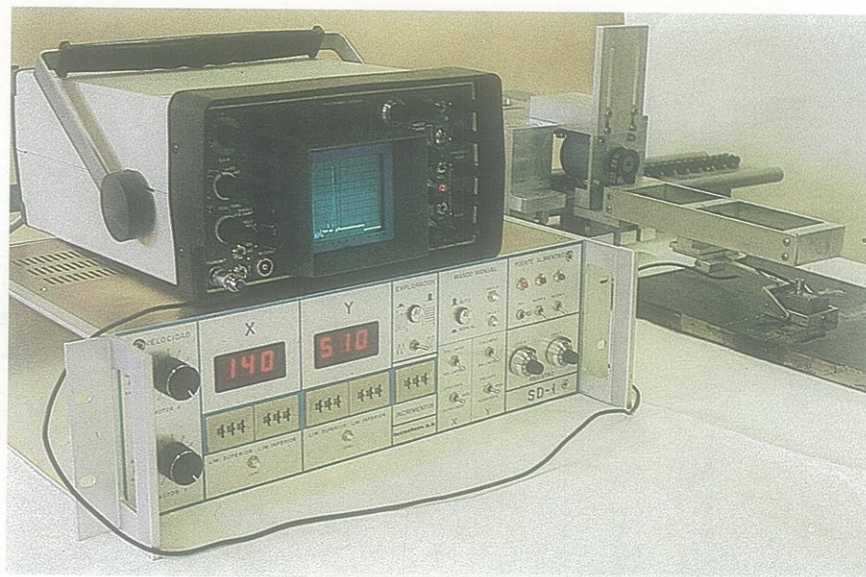
La mecanización de la Inspección en Servicio es de difícil implementación, tanto por las limitaciones de acceso, como por la gran variedad de configuraciones geométricas a las que deben adaptarse los equipos. Estos deben ser versátiles y de montaje sencillo, ya que el montaje, ajuste y desmontaje de los mismos pueden llegar a requerir un tiempo superior al de la inspección manual.

Desarrollo de equipos especiales para adquisición y evaluación de datos

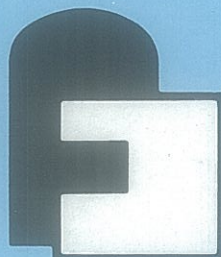
Ha sido práctica corriente en inspecciones mecanizadas con ultrasonidos, grabar en vídeo la pantalla o pantallas de los equipos y además, la amplitud máxima de las señales en un registro gráfico continuo sobre papel. La grabación con cinta magnética, también se ha utilizado en ultrasonidos, mediante un sistema auxiliar para medir la amplitud máxima y el recorrido (que pueden pertenecer a señales diferentes). Para la inspección por corrientes inducidas de tubos de cambiadores de calor, donde no se emplea el posicionamiento en avance (con la excepción de Alemania), también es práctica corriente el registro de las señales en cinta magnética y en papel.

Sin embargo, la interpretación y evaluación de estos registros es farragosa y los datos no pueden ser condensados, por lo que podemos imaginar la dificultad de realizar revisiones o informes a base de decenas de horas de cinta o ki-

Controlador para dispositivos de inspección ultrasónica



FRAMATOME



LIDER EUROPEO DE LA CONSTRUCCION DE CENTRALES NUCLEARES PWR

- 60.000 MWe INSTALADOS O EN CURSO DE CONSTRUCCION.

- UNA CENTRAL
EN SERVICIO CADA SEIS SEMANAS
RESPETANDO LOS PLAZOS
DE REALIZACION.

FRAMATOME ES TAMBIEN

- UNA GRAN CAPACIDAD DE ADAPTACION Y DE COMPLEMENTARIDAD CON LA INDUSTRIA LOCAL PARA:

- El montaje de centrales nucleares
 - La puesta en marcha
 - El mantenimiento
 - La vigilancia en servicio
 - La calificación de equipos
 - Los análisis de seguridad
 - El almacenamiento del combustible
 - El cálculo de estructuras
 - Etc.

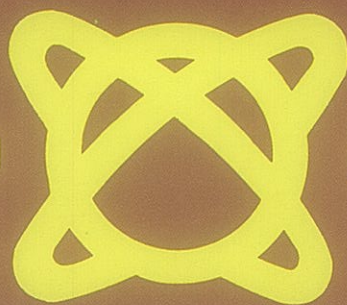
- UN POTENCIAL HUMANO Y GRANDES MEDIOS PARA REALIZAR UN GRAN NUMERO DE TRABAJOS RELACIONADOS CON LA CONSTRUCCION DE LAS CENTRALES NUCLEARES.

Division Internationale

Tour Fiat - Cedex 16 - 92084 PARIS

LA DEFENSE

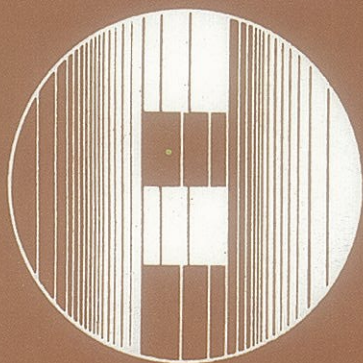
Téléfono: 796 04 06



CENTRAL NUCLEAR DE ASCÓ



ASCO I. 930 MW.



FECSA

ASCO II. 930 MW.



FUERZAS ELECTRICAS DE CATALUÑA, S.A.



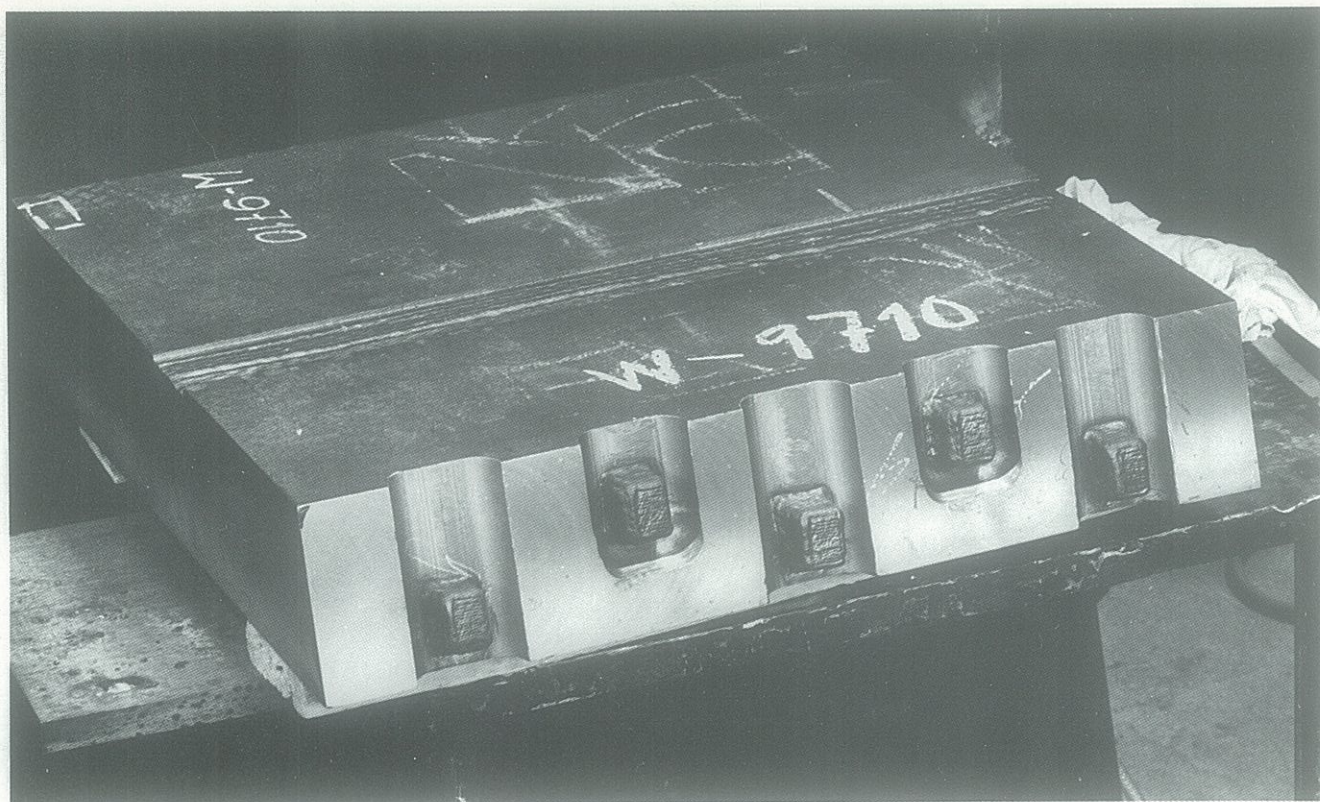
EN HIDROELECTRICA DEL RIBAGORZANA, S.A.



HIDROELECTRICA DE CATALUÑA, S.A.



FUERZAS HIDROELECTRICAS DEL SEGRE, S.A.



Probeta con grietas implantadas en la preparación de soldadura para el programa I 8-80 de TECNATOM, en la segunda fase de soldadura en ENSA.

lómetros de registro en papel. Por ello, tanto en ultrasonidos como en corrientes inducidas, se considera conveniente disponer de un sistema que permita, con la ayuda de un micro o miniordenador, realizar algunas operaciones de sintetización y hasta evaluación de resultados.

En este camino se han movido varios centros extranjeros desarrollando, tanto en sistemas mecanizados como en otros en los que el transductor de ultrasonidos es movido a mano, el tratamiento de la información de la posición y de la señal ultrasónica correspondiente, que es analizada y representada gráficamente con la ayuda de un microprocesador.

En este campo estamos desarrollando, ya en España, en sendos programas de Acción Concertada, un sistema de equipos mecanizados de ultrasonidos que podrá realizar resúmenes de datos en forma digital, y representaciones gráficas de los defectos mediante miniordenador. También en el campo de las corrientes inducidas, se está elaborando un banco de datos metalográfico, correlacionado con las señales de corrientes inducidas, con el software necesario para la digitalización y parametrización de las señales, como primer paso para poder realizar una evaluación preliminar de forma automática.

Investigación y experiencia sobre el comportamiento de los materiales y soldaduras

La ejecución de inspecciones repetitivas, durante años consecutivos en todas las centrales actualmente en servicio, ha proporcionado una experiencia en cuan-

to a problemas de ejecución, repetibilidad y evaluación y dimensionamiento de indicaciones. Los problemas ocasionados por indicaciones debidas a la geometría de la superficie inaccesible que se presentan principalmente en tuberías, así como los debidos al comportamiento de los aceros inoxidables austeníticos, siguen gravando el tiempo necesario para realizar las inspecciones en servicio.

Los trabajos orientados a simulación y fabricación de defectos especialmente por corrosión intergranular, con objeto de contrastar y mejorar las técnicas de inspección y de dimensionamiento están siendo de gran utilidad para la preparación de las inspecciones, ya que para completar la experiencia de ejecución se debe disponer de la que proporciona el estudio de los defectos potenciales.

Podemos concluir que la investigación, que permite la mejora de la Ins-

pección en Servicio, comprende disciplinas tan diversas como el estudio metalográfico de los materiales, soldaduras y sus defectos, la medida de la sensibilización de los aceros inoxidables, la determinación de la influencia de su estructura en la inspección ultrasónica, la influencia de los recubrimientos de acero inoxidable, y de las tensiones en la detectabilidad y dimensionamiento de fisuras, la normalización de características de los transductores y de los equipos de ultrasonidos, el desarrollo de transductores, equipos y técnicas especiales, los dispositivos auxiliares, los sistemas de registro y proceso de datos. Además, la mecánica de fractura y los estudios para aceptación de defectos en función de la sollicitación (fitness for purpose) y los de propagación de corrosión intergranular, deberán ofrecer nuevos criterios más ajustados a los diferentes casos reales.

Probetas con grietas de fatiga para desarrollo de técnicas de dimensionamiento.

