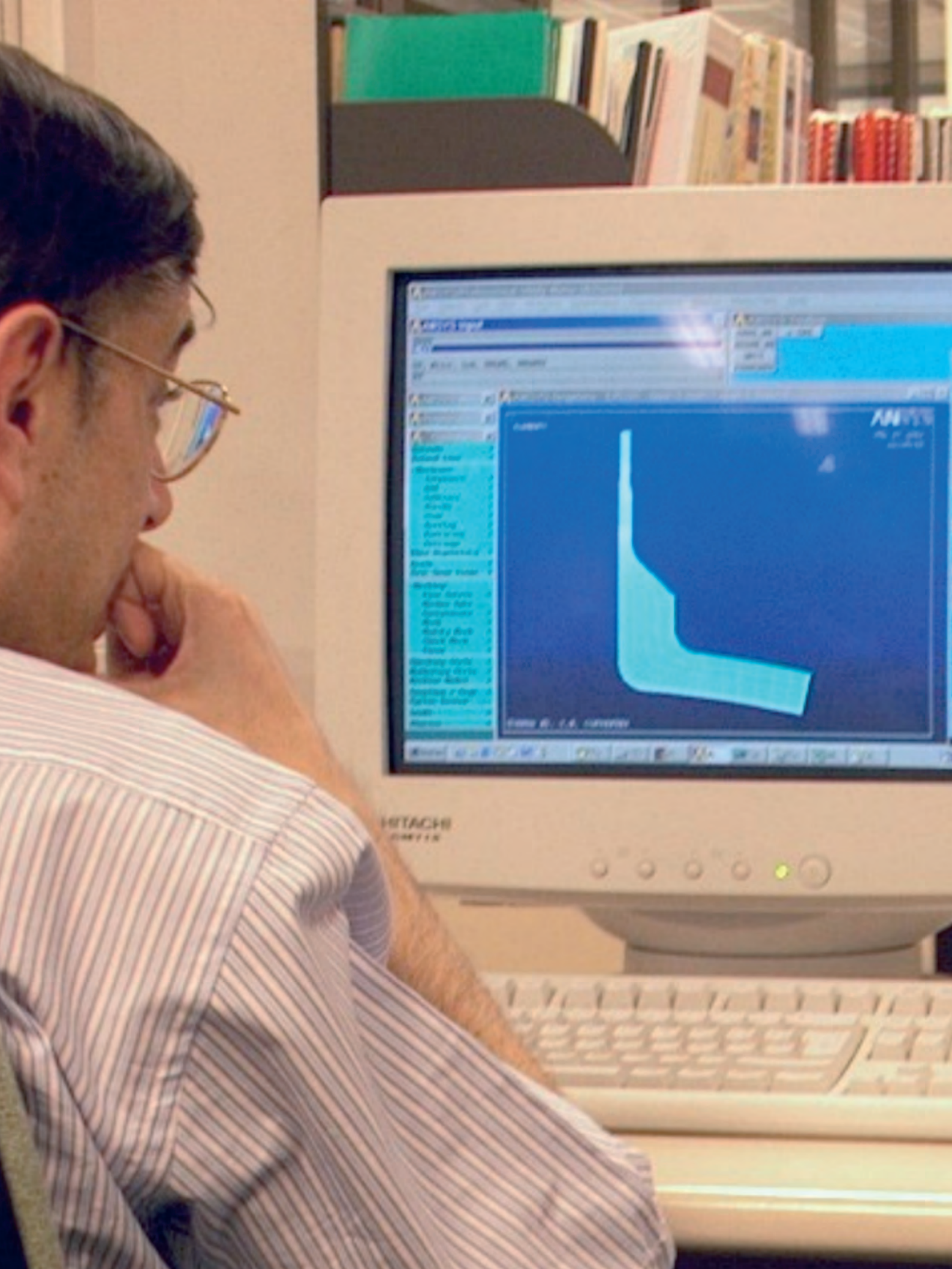




Ingeniería de inspección y operación: Ingeniería de servicios

Inspection and Operation engineering: Services engineering

Tecnatom es fundamentalmente una empresa de servicios que nació y se desarrolló con la misión de dar valor añadido a los servicios de inspección y de operación de las centrales nucleares.

Este artículo está planteado con el siguiente esquema: Se comienza con una reseña histórica que explica cómo se forjó el origen de los servicios de ingeniería de inspección y de operación; cuáles eran sus objetivos iniciales y cómo han ido evolucionado; cuál es su situación actual y cómo pensamos que será la ingeniería de inspección y de ayuda a la operación en el futuro.

Vamos a diferenciar entre dos maneras de aplicar la ingeniería de servicios: la que se ocupa de apoyar a los temas relacionados con la inspección de los componentes en servicio de las plantas nucleares y la que se desarrolla con el fin de apoyar a la propia operación de las plantas.

Tecnatom is fundamentally a services company that was founded and developed with the mission of providing added value to nuclear power plant inspection and operating services.

This article is organized as follows. It begins with a brief historical description that explains how the origins of inspection and operation engineering services were forged; what the original objectives were and how they evolved; what the current situation is; and what we believe inspection engineering and operating assistance will be like in the future.

We are going to differentiate between two ways of providing services engineering: one that focuses on support to issues related to in-service inspection of nuclear power plants components, and one that focuses on the operating support of the plant itself.

INGENIERÍA DE INSPECCIÓN Origen

Es siempre difícil precisar en una única fecha el origen del desarrollo de cualquier proceso de actividad. Aunque son varios los hitos importantes que mejor definen ese origen, a continuación se describe cómo se inició la ingeniería de inspección en Tecnatom.

En las especificaciones de la primera central nuclear española apenas se hacía una breve referencia a que los componentes del circuito primario deberían ser inspeccionados. Para situarnos estamos en el arranque de la década de los 70 y Tecnatom, que había participado intensamente como ingeniería de apoyo a la central José Cabrera, comenzó a analizar la mejor forma de poder llevar a cabo este requisito que ya entonces asociábamos de una forma clara con el aseguramiento de la integridad de sus componentes.

No existían experiencias en España y Tecnatom, lógicamente, tuvo que buscar referencias en otros países. Fue en Estados Unidos donde una organización, South West Research Institute, SwRI, ubicada en San Antonio (Tejas), era la empresa que entonces tenía más experien-

cia en la aplicación de servicios de inspección en centrales nucleares. Tecnatom estableció un acuerdo de cooperación técnica que le sirvió para aprender y conocer cómo se aplicaban estos servicios en un país que ya tenía un parque significativo de centrales nucleares en operación.

Fue en 1970 cuando el código publicado por la Asociación de Ingenieros Mecánicos Americanos, conocido como ASME, editó la primera edición (ver foto 1) de la que hoy es ya mundialmente famosa Sección XI, dedicada específicamente a la Inspección en Servicio de las centrales nucleares refrigeradas por agua ligera. Esta primera edición de escasas pero densas páginas fue la primera en el mundo que recogía toda la filosofía de cómo asegurar la integridad estructural de una central nuclear.

Lo que sucedió durante la década siguiente fue una intensa actividad de desarrollo de la ingeniería de inspección,

INSPECTION ENGINEERING Origins

It is always hard to precisely define a single date when the development of any activity begins. Although there are several major milestones that best define these origins, following is a description of how inspection engineering actually began in Tecnatom.

In the specifications of the first Spanish nuclear power plant, there was just a brief reference to the fact that the primary loop components had to be inspected. That was early in the decade of the 1960s and Tecnatom, which had actively participated as a support engineering firm in the Jose Cabrera power plant, started to analyze the best way to meet this requirement, which we already clearly associated with the assurance of component integrity.

No experience existed in Spain, so logically Tecnatom had to seek references in other countries. The company that back then had the most experience in the application of inspection services in nuclear power plants was South West Research Institute, SWRI, based in San Antonio (Texas) in the United States. Tecnatom reached a technical cooperation agreement that allowed it to learn and understand how these services were rendered in a country that already had a significant fleet of operating nuclear power plants.

It was in 1970 when the American Society of Mechanical Engineers, known as ASME, published

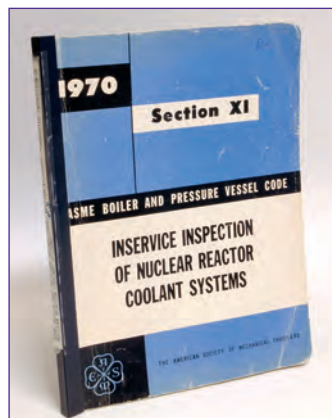


Foto 1 - Primera edición de la Sección XI del código ASME.

Photo 1 - First edition of ASME Code Section XI.

the first edition (see photo 1) of what is today the world famous Section XI of its code. This section is devoted specifically to in-service inspection of light water-cooled nuclear power plants. This first edition, with few but copious pages, was the first in the world that contained the whole philosophy of how to assure the structural integrity of a nuclear power plant.

The next decade was marked by intensive development of inspection engineering, basically in parallel with the frenetic activity of construction and start-up of the second generation of nuclear power plants in Spain, which entered into commercial operation in the decade of the 1980s.

Development and Evolution

Tecnatom has always understood that inspection engineering and in-service inspection itself are activities whose ultimate goal is to help assure the structural integrity of the pressure barrier of nuclear power plants.

As mentioned above, the Zorita plant was already operating and what was demanded of inspection engineering was the proper application of inspection services. The plant systems and equipment had to be inspected, including the most important piece of equipment: the reactor pressure vessel.

At that time, inspection of the reactor vessel was a very special, complex service that was rendered by the state-owned English enterprise UKAEA. In Tecnatom we had a lot of work ahead of us; we had to learn what parts of the vessel should be examined, to what extent, how often, with what technique, and with what kind of equipment. In short, there was an enormous amount of know-how that we gradually acquired over the years.

At the same time, and with the plants under construction, we began to include in the different projects the concepts of inspection engineering that would be applied to operating plants. The first design guidelines were prepared to specify criteria for providing access to the areas subject to examination, and not only the spaces required to carry out the inspection operations but also other criteria: location of stationary platforms; where to use dismountable thermal insulations; the surface finishes welds should have; the edge preparation to be used; requirements of the corresponding calibration blocks, etc. The objective was always that the inspections to be carried out in the future would be executed in the most effective, reliable way. Almost 30 years later, the understanding and application of these concepts seems very obvious and elemental to us, but back then they were very innovative, pioneering ideas that in the end have saved an enormous number of man-hours and doses during plant lifetime.

Also in the 1970s and the early 1980s, as Section XI was being developed, Tecnatom's inspection engineering began to provide inspection program preparation services. It was not an easy task, as it required a thorough knowledge of how the plant and its systems worked. We began to study and learn in depth the preliminary and Final Safety Assessment Reports (FSAR), as well as the Technical Operating Specifications and all associated standards – both those derived from part 10 section 50 (10 CFR 50) of the American Code of Federal Regulations and those issued by the U.S. Nuclear Regulatory Commission (US-NRC) and our own Junta de Energía Nuclear (later the Consejo de Seguridad Nuclear).

The inspection limits were established on the basis of classification of the code classes, down to the level of unequivocally identifying each and every one of the areas subject to inspection through the corre-

básicamente en paralelo con la frenética actividad de construcción y puesta en marcha de la segunda generación de centrales nucleares en España, que comenzaron su operación comercial en los años ochenta.

Desarrollo y evolución

Tecnatom siempre entendió la ingeniería de inspección y la propia inspección en servicio como una actividad cuyo objetivo último era ayudar a asegurar la integridad estructural de la barrera de presión de las centrales nucleares.

Como se ha dicho antes, la central de Zorita estaba ya en fase de operación y la ingeniería de inspección lo que demandaba era la correcta aplicación de los servicios de inspección. Había que inspeccionar los sistemas y equipos de la planta. Entre ellos el equipo más importante: la vasija del reactor.

En aquella época la inspección de la vasija del reactor era un servicio muy especial y complejo que prestaba la compañía inglesa estatal UKAEA. En Tecnatom teníamos mucho trabajo por delante: conocer qué partes de la vasija debían ser examinadas, con qué alcance, con qué frecuencia, con qué técnica y con qué tipo de equipos. En definitiva, una enorme cantidad de conocimientos que fuimos adquiriendo a lo largo de los años.

Al mismo tiempo, y con las centrales en construcción, se comenzó a introducir en los diferentes proyectos los conceptos de la ingeniería de inspección que serían aplicables a las centrales en operación. Se prepararon las primeras guías de diseño que daban criterios para dejar accesibilidad a las áreas sujetas a examen; no solo los espacios necesarios para realizar las operaciones de inspección sino también otros criterios: situación de las plataformas permanentes; dónde utilizar calorifugados desmontables; qué acabados superficiales debían tener las soldaduras; qué preparación de bordes; requisitos de los correspondientes bloques de calibración, etc., siempre con el objetivo de que las inspecciones que se realizasen en el futuro fuesen ejecutadas de la forma más eficaz y fiable. Estos conceptos, su conocimiento y su aplicación, ahora, a casi 30 años vista, nos parecen obvios y muy elementales, pero entonces fueron muy innovadores y pioneros y han ahorrado una enorme cantidad de horas hombre y de dosis durante la operación de la planta.

En esos mismos años 70 y primeros de los 80, a medida que la Sección XI se iba desarrollando, la ingeniería de inspección de Tecnatom comenzó a prestar los servicios de preparación de los programas de inspección. No era una tarea fácil. Exigía conocer el funcionamiento de la central, sus sistemas y su operación. Los informes preliminares y finales de seguridad (Final Safety Assessment Report, FSAR) así como las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento y toda la normativa asociada, tanto la americana, que emanaba de la Regulación del Código Federal americano en su parte 10 apartado 50 (10 CFR 50), como la que emitía la Comisión Reguladora Nuclear americana (US-NRC) y nuestra propia Junta de Energía Nuclear (después Consejo de Seguridad Nuclear), comenzaron a ser estudiados y conocidos en profundidad.

Se establecían los límites de inspección en función de la clasificación de las clases de código, se descendía hasta el nivel de identificar de forma inequívoca todas y cada una de las áreas sujetas a inspección a través de los correspondientes diagramas de flujo de los sistemas y de sus isométricos. Asimismo, se realizaban periódicas revisiones de diseño en las plantas, de forma que se evitasen los errores propios de un montaje tan complejo, yendo con frecuencia por delante de la documentación disponible. Estas revisiones demostraron su utilidad, ya que al recorrer “in situ” los sistemas montados se detectaban muchas mejoras que eran implementadas y se depuraban errores que se reflejaban en los planos.

La ingeniería de inspección con un objetivo aparentemente tan sencillo como definir qué, cómo y cuándo se debe inspeccionar, fue acumulando año tras año un enorme volumen de trabajo. Aunque se mantenía una cierta homogeneidad de conceptos aplicables a todas las centrales, se requería una especialización debido a las características de diseño específicas de cada central, lo que derivó en la asignación de jefes de proyecto para cada emplazamiento.

Los documentos que se iban emitiendo en relación con la ingeniería de inspección comenzaban a ser muchos, muy extensos y con numerosas revisiones. Dado que nuestros clientes se encontraban con dificultad para su adecuado seguimiento, a principios de los años 80 surgió la idea de incluir, en un único documento, toda la información en



Foto 2. Revisando el manual de inspección en servicio.
Photo 2. Working on in-service inspection manual.

relación con la inspección en servicio. Este documento, que estructuraba toda la normativa aplicable, describía los límites de clase nuclear e incluía todos los planos e isométricos con todas las áreas sujetas a examen y los procedimientos aplicables, se convirtió en el Manual de Inspección en Servicio y que hoy todos conocemos por MISI. (Ver foto n° 2)

De esta manera, en Tecnatom ya habíamos empezado a desarrollar una metodología propia, gracias a que nuestros clientes nacionales nos proporcionaron la oportunidad de poder participar en todos los proyectos que se acometieron. Esto supuso una fuente de experiencia enorme de la que finalmente nuestros clien-

tes eran los principales beneficiarios. Tecnatom ya no necesitaba un soporte técnico exterior sino que comenzaba a darse a conocer como experto en ingeniería de inspección en servicio (ISI) en los foros internacionales.

Una vez realizados los MISI's de las centrales y comenzadas las inspecciones preoperacionales o PSI's, surgió una nueva actividad de la ingeniería de inspección motivada por la necesidad de controlar los cientos de registros que se producían durante la inspección y de controlar los complejos requisitos de la normativa en cuanto a los distintos porcentajes que era necesario cumplir a lo largo de los correspondientes 3 periodos en que se dividían los intervalos de

sponding system flow diagrams and isometrics. In addition, periodic design reviews were carried out in the plants to prevent the errors inherent in such a complex assembly, often being one step ahead of the available documentation. These reviews proved to be useful, since an "in-situ" walkthrough of the mounted systems helped to detect many improvements that were implemented and to eliminate errors from the drawings.

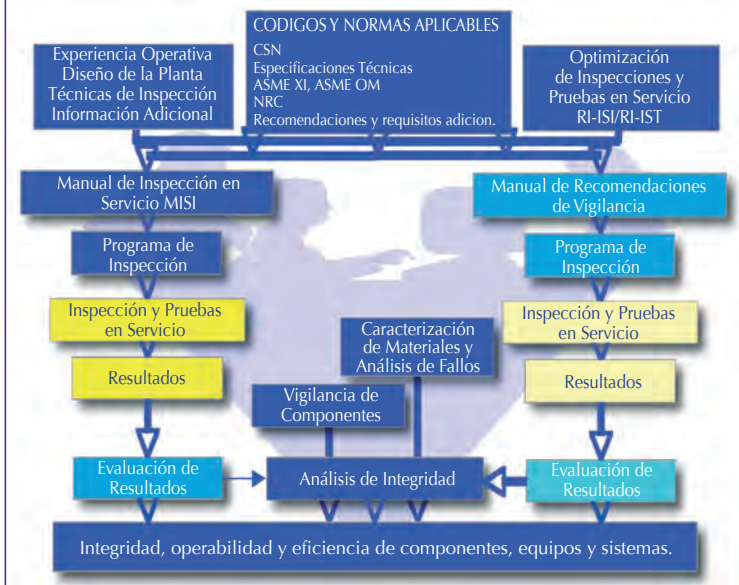
The inspection engineering work, with an objective as apparently as easy as defining what inspection should be and how and when, eventually began to pile up. Although there was a certain homogeneity of concepts applicable to all the plants, specialization was required because of the specific design features of each individual plant. This led to the appointment of project directors for each site.

The documents that were being issued in relation to inspection engineering began to multiply, and there were numerous revisions. Since it was hard for our customers to adequately track this documentation, the idea was conceived in the early 1980s to include all the information related to in-service inspection in a single document. This document, which provided a structure for all the applicable standards, described the nuclear class limits and included all the drawings and isometrics with all areas subject to examination and the applicable procedures, eventually became the In-Service Inspection Manual which we know today by the name of MISI. (See Photo n° 2)

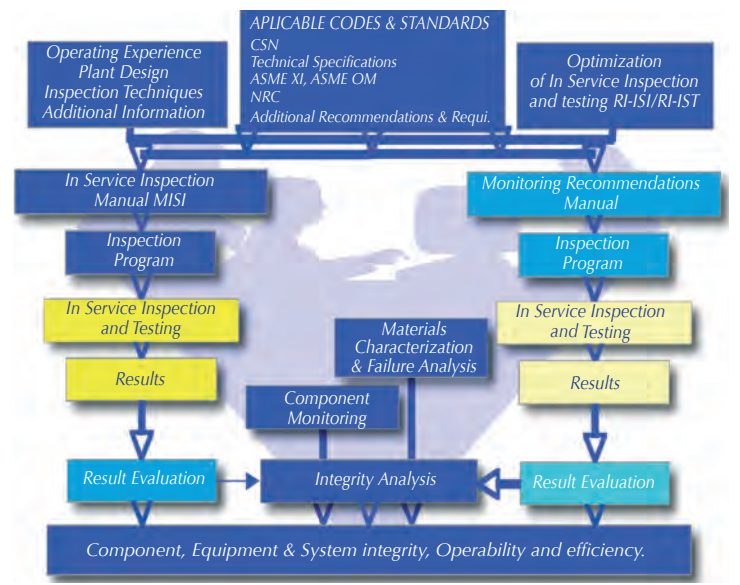
Thus, in Tecnatom, we had started to develop our own methodology, thanks to the fact that our national customers provided us with the opportunity to take part in their projects. This for us was an enormous source of experience, and in the end our customers were the main beneficiaries. Tecnatom no longer needed outside technical support, but rather began to be known as an expert in in-service inspection (ISI) engineering in international forums.

Once the MISI was completed for each plant and the preoperational inspections (PSI) had begun, a new inspection engineering activity was launched owing to the need to control the hundreds of records produced during the inspection, and also to control

INGENIERÍA DE INSPECCIÓN



INSPECTION ENGINEERING



Gestión integral de la Inspección en Servicio. *Integral In-Service Inspection Management.*

the complex regulatory requirements concerning the different percentages that had to be met in each of the 3 periods into which the 10-year intervals were divided. Tecnatom started to develop an ISI database to facilitate this task which, years later, has proved to be extremely useful and offers innumerable possibilities to our customers.

Current and Future Situation

Now in the 21st century, Tecnatom supplies integral in-service inspection management to its customers. The Inspection Manuals are drawn up not only to meet the minimum requirements stipulated by the standards, but also to include all those components that could be of interest from the standpoint of plant availability.

We provide support to our customers not only by tracking regulations and their possible impact on the MISIs and inspection programs throughout the cycle, but also with an on-site presence during refueling outages in order to resolve possible incidents that require an enlarged scope of the ISI, keep the database updated, and issue the corresponding result reports.

Structural integrity analysis capabilities have been developed. These include a wide range of activities, e.g. the monitoring programs of embrittlement due to vessel irradiation to control possible neutron flux damage to the vessel wall. The indications detected during the inspections are evaluated and characterized in order to provide solutions when these exceed the acceptance standards or, if these do not exist, to help our customers prevent situations that would delay plant startup.

Inspection activities have not been limited to the Spanish power plants. We have also taken part in numerous international projects, which has allowed us to enrich our knowledge and improve our work methods. In recent years, due to the natural aging of the plants, life management programs and process management-based INPO (Institute of Nuclear Power Operations) methodologies have been implemented. This focus responds to the need to adequately monitor possible processes of degradation to which the different systems, components and structure may be subjected, and it facilitates the assessment of long-term plant operation. In addition, we have recently added the broad capabilities that Tecnatom has acquired in operating experience management by participation in INPO WANO (World Association of Nuclear Operators).

In the future, we believe that inspection engineering services will tend to become integrated into and complemented by plant lifetime management services. Their scope will extend not only to the areas subject to code, but also to areas related to plant efficiency. They will address safety issues as well as operability aspects. Moreover, we think that the service will be locally provided and not remotely, as is now the case, and that it will be more integrated into the day-to-day activity of the plant to project this day-to-day on a long-term basis.

In any event, of what we are certain is that we will be prepared to serve our customers, nuclear and otherwise, to meet their needs and demands.

10 años. Tecnatom comenzó a desarrollar una base de datos ISI que facilitase esta labor y que, años después, ha demostrado su enorme utilidad y las innumerables posibilidades que ofrece a nuestros clientes.

Situación actual y Futuro

Situándonos en el siglo 21, Tecnatom suministra a sus clientes una gestión integral de la inspección en servicio. Los Manuales de Inspección no solo se preparan para cumplir con los requisitos mínimos que exige la normativa sino que recogen también todos aquellos componentes que pueden ser de interés desde el punto de vista de la disponibilidad de la planta.

El apoyo a nuestros clientes se presta no solo con el seguimiento de la normativa y su posible impacto en los MISI y en los programas de inspección durante todo el ciclo sino con la presencia "in situ" durante las paradas para recarga con el fin de resolver posibles incidencias que obliguen a aumentar el alcance de la ISI, mantener actualizada la base de datos y emitir los correspondientes informes de resultados.

Se han desarrollado capacidades de análisis de integridad estructural que abarcan un amplio espectro de actividades, como los programas de

exceder los estándares de aceptación o bien, en el caso de que éstos no existiesen, posibilitando a nuestros clientes evitar situaciones que demoren el arranque de la planta.

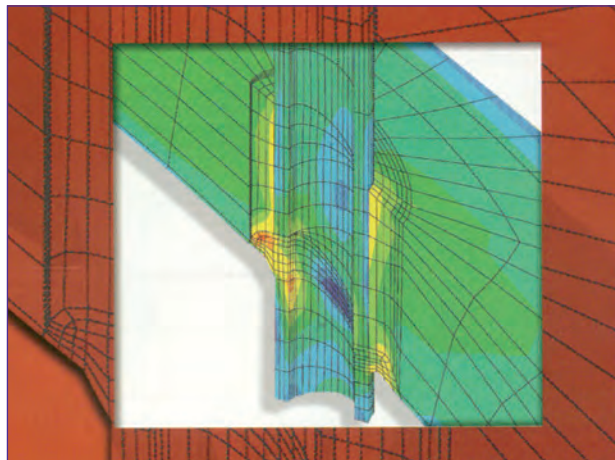
Las actividades de inspección no se han limitado a las plantas españolas. Se ha participado también en numerosos proyectos internacionales, que han permitido enriquecer nuestros conocimientos y mejorar los métodos de trabajo. Hay que reseñar que en los últimos años, y como consecuencia del envejecimiento natural de las plantas, se han acometido trabajos de gestión de vida e implantación de metodologías INPO basadas en la gestión por procesos. Este enfoque responde a una monitorización adecuada de los posibles procesos de degradación a los que pueden estar sometidos los distintos sistemas, componentes y estructuras, y facilita la evaluación de una operación a largo plazo de la planta. Además, recientemente se han añadido las enormes capacidades que Tecnatom aporta en cuanto a la gestión de la experiencia operativa obtenida mediante la participación en INPO WANO.

En el futuro creemos que los servicios de ingeniería de inspección tendrán a integrarse y complementarse con los relativos a la gestión de la vida de las centrales. Su alcance se extenderá, no sólo a las áreas sujetas a código, sino a las áreas relacionadas con la eficiencia de la central. Contemplarán aspectos de seguridad y también de operabilidad. Además, pensamos que la prestación del servicio se realizará desde la planta, no a distancia como ahora, y más integrado con el día a día de la central para proyectar este día a día con el largo plazo.

En cualquier caso lo que tenemos seguro es que estaremos preparados para atender a lo que nuestros clientes, nucleares o no, necesiten y demanden.

INGENIERÍA DE OPERACIÓN Origen

La experiencia en ingeniería de operación se inició con la puesta en marcha de la C.N. José Cabrera. Para esta central se desarrollaron los manuales de operación que tratan situaciones normales, anormales, de alarmas y de emergencia. También se participó en las pruebas de puesta en marcha y se prepararon manuales de mantenimiento.



Modelización de una penetración de la cabeza de la vasija del reactor.

Modeling of a Reactor Vessel Head Penetration.

vigilancia de fragilización por irradiación de la vasija para controlar los posibles daños en la pared de la vasija por el flujo neutrónico. Cabe destacar la evaluación y caracterización de las indicaciones detectadas durante las inspecciones, que permiten aportar soluciones cuando pudieran

A final de los años setenta, Tecnatom adquirió **simuladores de alcance total** (C.N. Cofrentes y C.N. Lemoniz), que permitieron la formación de los equipos de operación y explotación de las centrales de segunda y tercera generación, así como la formación especializada de técnicos en operación de la propia plantilla de Tecnatom. También se empezaron a utilizar dichos simuladores como herramientas de pruebas y evaluación de nuevos procedimientos de operación, así como de las nuevas interfaces que se empezaban a desarrollar.

Durante los años ochenta, y como consecuencia de las lecciones aprendidas a raíz del incidente de TMI (Three Mile Island), se empezaron a analizar en detalle y de forma sistemática los aspectos relacionados con la operación de centrales y, en particular, el triángulo formado por: El Operador - La Sala de Control - Los Procedimientos; que anteriormente habían estado en segundo lugar relegados por una mayor orientación a la construcción.

Los estudios del mencionado suceso determinaron que las actuaciones de los operadores de la sala de control y, en una palabra, lo que hoy denominamos **Factores Humanos**, constituyen un elemento fundamental en la prevención y mitigación de accidentes e incidentes en centrales nucleares.

Como consecuencia de lo anterior, aparecieron nuevas normas y requisitos que imponían a todas las centrales en operación, una revisión detallada del diseño de las salas de control, la modificación de los procedimientos de operación así como la actualización de los planes de formación de los operadores.

Desarrollo y Evolución

Ingeniería de Operación de Tecnatom participó, a partir de 1985, muy activamente en esta actividad, en estrecha colaboración con los operadores de las centrales, intentando identificar y mejorar todos los criterios de interfase hombre-máquina (factores humanos y operacionales) identificados por la normativa, y teniendo también en cuenta las experiencias operativas relacionadas, procedentes de la industria nuclear mundial. Adicionalmente, se modificaron los planes de entrenamiento de los operadores de la sala de control y se diseñaron y desarrollaron nuevos procedimientos de operación de emergencia que incluyeron entre

otras mejoras: formatos más sencillos, operación por síntomas (sin diagnóstico del suceso) y operación ante fallos múltiples.

Como complemento de lo anterior y de la aparición de las nuevas tecnologías informáticas, Ingeniería de Operación empezó a trabajar en el diseño y desarrollo de nuevas ayudas



Maqueta virtual del puesto de operador de turbina.

Virtual Mockup of the Turbine Operator Station.

a la operación, comenzando por los denominados SPDS (sistemas de vigilancia de parámetros de seguridad).

Situación actual y Futuro

En la actualidad, las actividades realizadas en el área de la ingeniería de operación se centran fundamentalmente en el suministro de servicios y productos relacionados con:

- Desarrollo de **procedimientos de operación**. Estos procedimientos cubren la operación normal y anormal de las Centrales, operación en emergencia, respuesta a alarmas y vigilancia de requisitos de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento de las Centrales.
- **Ingeniería de factores humanos**. Estas actividades son las contempladas en los programas de factores humanos descritos en estándares internacionales. Su objetivo es el diseño y desarrollo de interfaces hombre-máquina que garanticen la suficiencia y calidad de la información y controles requeridos por el operador. Algunos ejemplos son la revisión de experiencias operativas, realización de análisis funcionales, asignación de tareas hombre-máquina, análisis de tareas del operador, y

Operation Engineering Origins.

The experience in operation engineering began with the startup of Jose Cabrera NPP. Operating manuals were developed for this plant that dealt with normal, abnormal, alarm and emergency situations. We also took part in the startup tests and prepared maintenance manuals.

In the late 1970s, Tecnatom acquired full-scope simulators (Cofrentes and Lemoniz NPPs) to train the operation and management teams of the second- and third-generation plants, and also to provide specialized training to the operation technicians on Tecnatom's own staff. These simulators also began to be used as tools for testing and evaluating new operating procedures and the new interfaces that were in the early stages of development.

During the 1980s, and as a result of the lessons learned from the TMI (Three Mile Island) incident, the issues related to plant operation began to be systematically analyzed in detail, and in particular the triangle formed by: Operator - Control Room - Procedures, the latter having previously been relegated to second place because of their more construction-oriented focus.

*The studies of the TMI event determined that the actions of the control room operators and what we today call **Human Factors** constitute a fundamental element in the prevention and mitigation of accidents and incidents in nuclear power plants.*

As a result of the above, new standards and requirements were issued that called for a detailed review of the control room design, modification of the operating procedures, and a reworking of the operator training plans.

Development and Evolution.

As of 1985, Tecnatom Operation Engineering Staff participated very actively in this activity, in close collaboration with the plant operators, to identify and improve all the man-machine interface criteria (human and operational factors) identified by the standards, and also to take into account the related operation experiences of the worldwide nuclear industry. In addition, the control room operator training plans were modified, and new emergency operating procedures were designed and developed. These included the following improvements: simpler formats, symptom-based operation (with event diagnostics), and operation in the event of multiple failures.

As a complement to the above and as a result of the emergence of new computing technologies, Operation Engineering began to work on the design and development of new operating aids, beginning with the so-called SPDS (safety parameter monitoring systems).

Current and Future Situation

At present, the activities carried out in the area of operation engineering primarily focus on the supply of services and products related to:

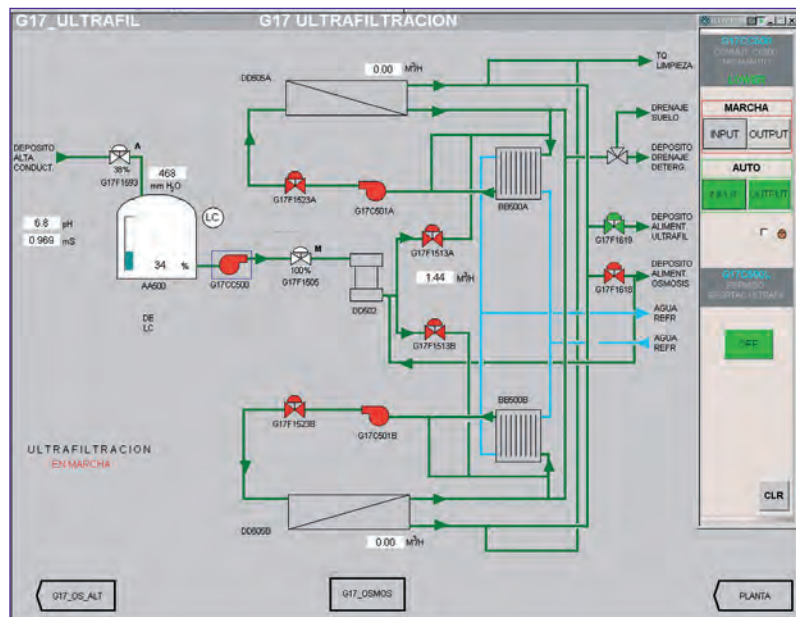
- **Development of operating procedures.** These procedures cover normal and abnormal operation of the Plants, emergency operation, alarm response, and monitoring of Technical Plant Operation Specification requirements.
- **Human factors engineering.** These activities are those specified in the human factors programs described in international standards. Their purpose is the design and development of man-machine interfaces that assure the sufficiency and quality of the information and controls required by the operator. Some examples are the review of operating experiences, execution of functional analyses, assignment of man-machine tasks, analysis of operator tasks, and design, development, verification and validation of man-machine interfaces. All these activities are developed in the framework of projects for the **upgrading** of control rooms and design of **new control rooms**.
- **Computerized Operating Assistance Systems.** Examples of these systems are the SPDS, alarm filtering and prioritization systems, incident diagnostic systems, signal validation systems, and plant performance monitoring systems.
- **Modernization of supervision and control systems.** The projects to replace analog supervision and control systems with digital control systems include operation engineering activities such as a **viability study** of the change and **integration of the new system** into the plant. A very important tool for optimizing integration into the plant are the **full-scope simulators**, where the new control system is previously installed. The use of these simulators optimizes processes such as adjustment and testing of the control loops, verification of their performance, and familiarization of the operators with the new systems before the system is put into service.

All the above mentioned activities related to operation engineering are also characterized by the need to have a very direct relationship with the customers, and by flexibility when focusing the work and faithfully meeting the specific requirements.

Tecnatom has undertaken operation engineering activities in all the Spanish nuclear power plants and also in foreign plants.

Some examples of foreign projects are the design, verification and validation of all the supervision and control screens for the Lungmen ABWR plant (Taiwan), the verification and validation of the alarm systems and computerized procedures of the Beznau PWR plant (Switzerland), and the modernization of the process computer of the Kalinin VVER plant (Russian Federation). The operating procedures were also prepared for all these plants.

The experience gained, the close contact maintained



Pantalla de supervisión y control de sistemas.
System Supervision and Control Screen.

diseño, desarrollo, verificación y validación de interfases hombre-máquina. Todas estas actividades se desarrollan en el marco de proyectos de **modernización** de salas de control y diseño de nuevas salas de control.

- **Sistemas computarizados de ayuda a la operación.** Ejemplos de estos sistemas son los SPDS (sistemas de vigilancia de parámetros de seguridad), sistemas de filtrado y priorización de alarmas, sistemas de diagnóstico de incidentes, sistemas de validación de señales y sistemas de vigilancia del rendimiento de las Centrales.
- **Modernización de sistemas de supervisión y control.** En los proyectos de sustitución de los sistemas

de supervisión y control analógicos por sistemas de control digitales, se realizan actividades de ingeniería de operación como el **estudio de viabilidad** del cambio y la **integración del nuevo sistema** en la central. Una herramienta muy importante que permite optimizar la integración en la central son los **simuladores de alcance total**, en los que se instala previamente el nuevo sistema de control. Mediante el uso de estos simuladores se optimizan procesos como el ajuste y pruebas de los lazos de control, verificación de su comportamiento, así como la familiarización de los operadores con los nuevos sistemas de forma anticipada a la puesta en servicio del sistema.

Todas las actividades relacionadas con la ingeniería de operación mencionadas anteriormente, se caracterizan además de por la necesidad de tener una relación muy directa con los clientes, por una flexibilidad a la hora de enfocar los trabajos, y cumplir exactamente los requisitos específicos.

Tecnatom ha realizado actividades de ingeniería de operación en todas las centrales nucleares españolas así como en centrales extranjeras. Algunos ejemplos de proyectos realizados en el extranjero son el diseño, verificación y validación de todas las pantallas de supervisión y control de la central ABWR de Lungmen (Taiwan), la verificación y validación de los sistemas de alarmas y de procedimientos computarizados de la central PWR de Beznau (Suiza) y

Sala de control de la central de Lungmen.
Lungmen Power Plant Control Room.



la modernización del computador de proceso de la central VVER de Kalinin (Federación Rusa). En todos ellos, también se realizaron los procedimientos de operación.

La experiencia adquirida, el intenso contacto mantenido con las centrales a lo largo del tiempo, la amplia experiencia en la realización de servicios, tanto técnicos como docentes, y la participación en numerosas actividades internacionales han llevado a consolidar las actividades actuales de ingeniería de operación.

A través de la participación de Ingeniería de Operación de Tecnatom en proyectos internacionales de investigación, se tiene acceso a las últimas tendencias y experiencias de la industria, así como a los avances tecnológicos que se van produciendo en el área de dicha ingeniería. Un ejemplo de ello es la participación en el Proyecto Halden-OCDE, en el que Tecnatom es el representante español en el área MTO (Man-Technology-Organisation). Los resultados de este Proyecto en áreas relacionadas con la Actuación Humana en Sala de Control, diseño y evaluación de interfases hombre-máquina y salas de control, realidad virtual aplicada al diseño de salas de control, nuevas técnicas y herramientas para optimizar la operación de las centrales nucleares e ingeniería de sistemas software fiables, se aplican directamente en los servicios y productos desarrollados en la ingeniería de operación.

Aspectos tales como el diseño de las nuevas salas de control, diseño de interfases hombre-máquina innovadoras, sistemas avanzados de alarmas, nuevos sistemas computarizados de apoyo a la operación, licenciamiento de sistemas software de seguridad, comportamiento humano en los nuevos entornos computarizados, son un reto importante que Ingeniería de Operación de Tecnatom, a través de la experiencia y conocimientos acumulados así como por la participación en proyectos internacionales de investigación, está preparada para abordar.



Laboratorio de Interfase Hombre-Máquina de Halden.
Halden Man-Machine Interface Laboratory.

Es un objetivo continuar participando en los proyectos de modernización de salas de control y de sistemas de supervisión y control y en los proyectos de centrales avanzadas. En reactores avanzados, la experiencia y metodologías adquiridas en los años 90, a través de la participación en los proyectos AP-600, ABWR y EPR, es un factor que facilita la realización de actividades de ingeniería de operación en los proyectos AP-1000 y ESBWR.

El futuro vendrá marcado por criterios de optimización de la operación, manteniendo y mejorando los niveles de seguridad alcanzados, teniendo en cuenta además los avances tecnológicos que han aparecido durante los últimos años, fundamentalmente con la introducción de la tecnología digital y los nuevos diseños de centrales nucleares avanzadas y pasivas.

with the plants over time, the extensive experience in the provision of technical and educational services, and participation in numerous international activities have all helped to consolidate the current operation engineering activities.

Participation by Tecnatom Operation Engineering in international research projects has provided access to the latest industry trends and experiences, as well as to the technological breakthroughs being made in this area. An example of this is participation in Project Halden-OECD, in which Tecnatom is the Spanish representative in the MTO (Man-Technology-Organisation) area. The results of this project in areas related to Human Control Room Performance, design and evaluation of man-machine interfaces and control rooms, virtual reality applied to control room design, new techniques and tools to optimize nuclear power plant operation, and engineering of reliable software systems are directly applied to the services and products developed in operation engineering.

Aspects such as the design of new control rooms, design of innovative man-machine interfaces, advanced alarm systems, new computerized operating support systems, licensing of safety software systems, and human performance in the new computerized environments all pose a major challenge that Tecnatom Operation Engineering is prepared to confront through the experience and know-how gained through participation in international research projects.

Tecnatom plans to continue taking part in control room and supervision and control system modernization projects and in advanced plant projects. In relation to advanced reactors, the experience and methodologies acquired in the decade of the 1990s through participation in projects AP-600, ABWR and EPR are factors that support the execution of operation engineering activities in projects AP-1000 and ESBWR.

The future will be marked by operation optimization criteria while maintaining and improving the safety standards achieved so far, and also including the technological breakthroughs that have emerged in recent years, primarily with the introduction of digital technology and the new designs of advanced and passive nuclear power plants.



Emilio González, Jefe División de Ingeniería de Inspección.
Inspection Engineering Division Director.

Alfonso Jiménez, Jefe División de Ingeniería de Operación.
Operating Engineering Division Director.