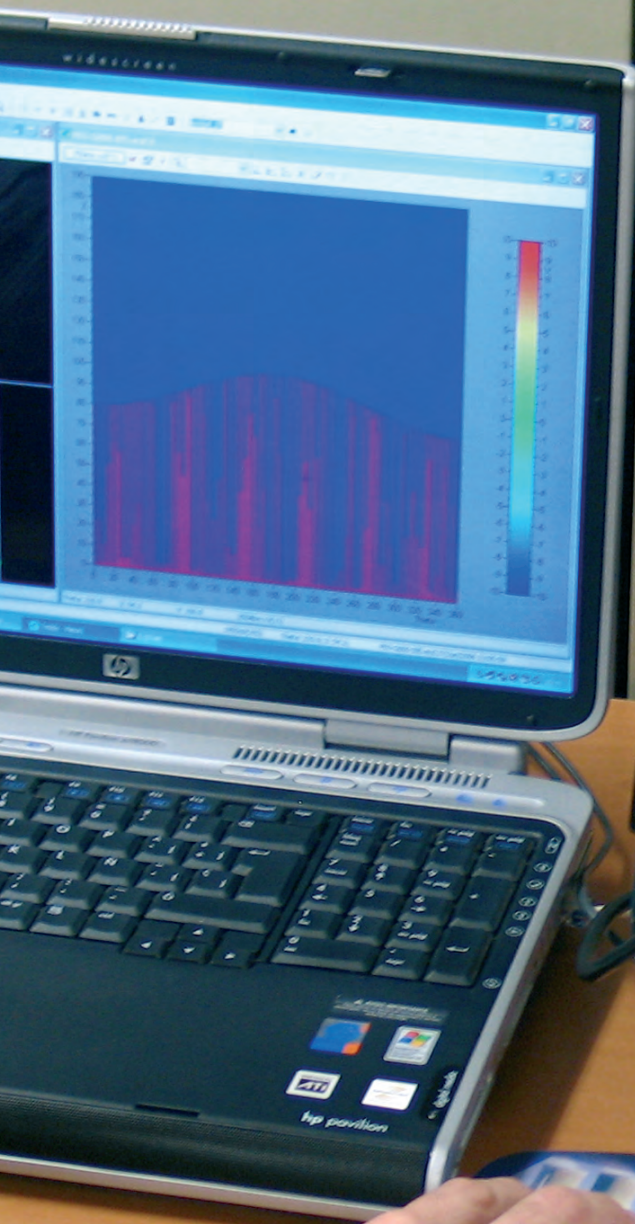




Desarrollo de Sistemas de Inspección

Development of Inspection Systems

La ejecución de inspecciones en servicio para verificar la integridad estructural de los componentes y sistemas de una central nuclear se realizan en los componentes principales mediante el uso de sistemas robotizados a control remoto y sistemas de adquisición con herramientas avanzadas de almacenamiento y procesamiento de datos. La innovación y desarrollo de estos sistemas es una actividad clave en Tecnatom para atender los requerimientos de nuestros clientes, aumentar la calidad de las inspecciones, y reducir los costes, tiempos y dosis al personal. Las líneas principales de actuación tecnológica se han concretado en los siguientes subconjuntos: sensores, equipos mecánicos, controladores y sistemas de adquisición y análisis de datos.

In-service inspections to verify the structural integrity of the components and systems of a nuclear power plant are carried out on the main components using robotized remote control systems and data acquisition systems with advanced storage and processing tools. Innovation and development of these systems is a key activity in Tecnatom to meet the needs of our customers, enhance the quality of inspections, and reduce costs, times and personnel dose. The main technological activities are aimed at the following subassemblies: sensors, mechanical equipment, controllers, and data acquisition and analysis systems.

La ejecución de inspecciones periódicas, para verificar la integridad estructural de los componentes y sistemas de una central nuclear, está asociada directamente a la utilización de sistemas robotizados a control remoto y sistemas de adquisición con herramientas avanzadas de almacenamiento y procesamiento de datos. Estos sistemas requieren continuas innovaciones y desarrollos tecnológicos, retos que Tecnatom ha afrontado con éxito, pero también con gran esfuerzo humano y material, en los últimos 30 años y que nos han permitido suministrar a nuestros clientes sistemas adaptados a sus necesidades, competitivos y de alto valor añadido, así como conseguir una elevada independencia tecnológica.

¿Por qué sistemas robotizados?

La inaccesibilidad física o motivada por la alta radiación de los componentes a inspeccionar como es el caso de la vasija del reactor y sus internos, los tubos de los generadores de vapor, los elementos combustibles, las barras de control, etc., condicionan la imposibilidad de posicionar y mover los sensores de inspección de forma manual, haciendo necesario el empleo de equipos robóticos teleoperados para realizar estas funciones.

La cantidad de información que se adquiere en una inspección hace

inviabile la detección y el dimensionamiento en tiempo real de las posibles indicaciones de defecto, así como el análisis de su evolución mediante la comparación de los resultados de inspecciones consecutivas. Por este motivo se hace necesario el empleo de sistemas de adquisición y evaluación con registro, procesado y almacenamiento de los datos.

La necesidad de innovar

El desarrollo de nuevos sistemas de inspección o la mejora de los sistemas existentes vienen condicionados tanto por la necesidad de inspeccionar nuevos componentes o áreas como por el objetivo de aumentar la calidad de las inspecciones, reducir los tiempos, costes y dosis al personal.

El caso de la vasija de reactor y sus internos es un ejemplo claro de la necesidad de utilización de nuevos sistemas respecto a los previstos inicialmente, orientados estos únicamente a la inspección de las soldaduras principales del cuerpo de la vasija y sus toberas. La aparición de defectos no postulados en las penetraciones de las barras de control y de la instrumentación intranuclear ha requerido el desarrollo de nuevos sistemas de inspección. Igualmente ha sucedido con los internos de la vasija, donde inicialmente se requerían inspecciones visuales con herramientas sencillas, y en donde hoy en día es

The execution of periodic inspections to verify the structural integrity of the components and systems of a nuclear power plant is directly associated with the use of robotized remote control systems and data acquisition systems with advanced storage and processing tools. These systems require continuous technological innovation and development, challenges that in the last 30 years Tecnatom has confronted with success but also with a great human and material effort. As a result of these endeavors, we are able to supply competitive, high value added systems tailored to the needs of our customers, and we have achieved a high level of technological independence.

Why Robotized Systems?

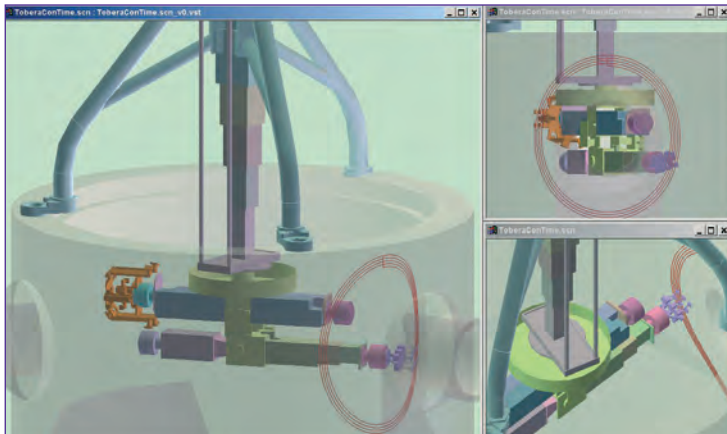
Physical inaccessibility or inaccessibility motivated by the high radiation of the components to be inspected, e.g. the reactor vessel and internals, steam generator tubes, fuel assemblies, control rods, etc., make it impossible to manually position and move the inspection sensors and thus require the use of remotely operated robotic equipment to perform these functions.

Because of the amount of information acquired in an inspection, the real-time detection and sizing of possible signs of defects is not feasible, nor is the analysis of their evolution by comparison with the results of consecutive inspections. For this reason, it is necessary to use data acquisition and evaluation systems with recording, processing and storage.

The Need to Innovate

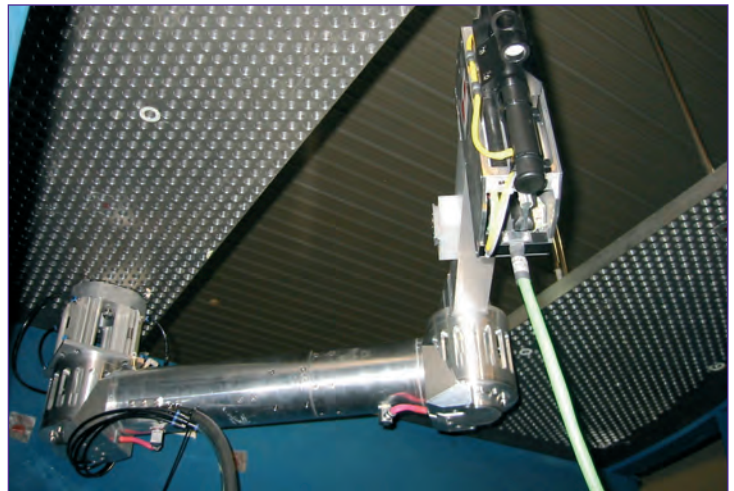
New inspection systems need to be developed or the existing systems improved due to the need to inspect new components or areas and also to increase the quality of inspections and reduce times, costs and personnel dose.

The case of the reactor vessel and its internals is an obvious example of the need to use new systems instead of those originally designed, which focus exclusively on inspection of the main welds



SIROCO 3D-TIME

GV Manipulador / SG Manipulator ▶



of the vessel body and its nozzles. The appearance of unpredicted flaws in the control rod and intranuclear instrumentation penetrations has required the development of new inspection systems. The same has occurred with the vessel internals, which initially only required visual inspections with simple tools but today must be inspected with additional techniques that require more accurate, complex systems.

As mentioned above, inspection system innovation focuses primarily on achievement of the following goals: improve quality, reduce times and costs, and minimize the radiation dose to job personnel.

Improvement of inspection quality focuses on optimization of the detection and sizing of incipient flaws, so as to implement as soon as possible corrective measures that will decrease the speed of growth and evaluate the need for repair.

Time reduction should be planned on a comprehensive basis, considering not only the execution time on the component but also the in-plant equipment assembly and disassembly times, the usage times of hoisting and transport equipment, reduction of equipment failures, and interferences with other operations that are performed or may be performed coincidentally with the inspection.

Cost reduction should target not only those costs that directly impact the plant, as indicated above, but also the reduction of personnel in terms of number and qualification, as well as preparation, maintenance and transport costs.

Finally, the reduction of radiation doses that may be received by job personnel is another objective of inspection system innovation. Remote control systems are used to this end, so that the personnel can operate the equipment from radiation-free zones.

Courses of Action

The courses of action of technological innovation and development have focused on the four sub-assemblies that make up an inspection system: the non-destructive test sensors, the mechanical equipment, the mechanical equipment controller, and the data acquisition and analysis system.

The most commonly used sensors are the ones associated with ultrasonic and eddy current techniques. Because sensors are essential in inspections, Tecnatom has paid special attention to their application and development, as it has the means to design and also manufacture them. This is the case of the design of UT multi-array probes or the manufacture of EC sensors, for which the following models are being built: simple circular sensors for tube inspec-

necessary inspection with techniques additional that require systems more precise and complex.

Tal como se ha mencionado anteriormente, la innovación en los sistemas de inspección se realiza para conseguir principalmente los siguientes objetivos: mejorar la calidad, reducir los tiempos y costes, y minimizar la dosis radiológica del personal ejecutor.

La mejora de la calidad de las inspecciones está orientada a la optimización de la detección y dimensionamiento de defectos incipientes, para aplicar lo antes posible medidas correctivas que disminuyan la velocidad de crecimiento y evaluar la necesidad de su reparación.

La reducción de tiempos se debe plantear de forma global considerando no sólo el tiempo de ejecución sobre el componente, sino también los tiempos de montaje y desmontaje de los equipos en planta, los tiempos de utilización de equipos de elevación y transporte, la reducción de las averías de los equipos y las interferencias con otras operaciones que se realizan o puedan realizarse coincidentes con la inspección.

La reducción de costes debe estar orientada no sólo a los que impactan directamente sobre la planta y que se han indicado anteriormente, sino también a la reducción de personal tanto en número como a su capacitación, a los costes de preparación, mantenimiento y transporte.

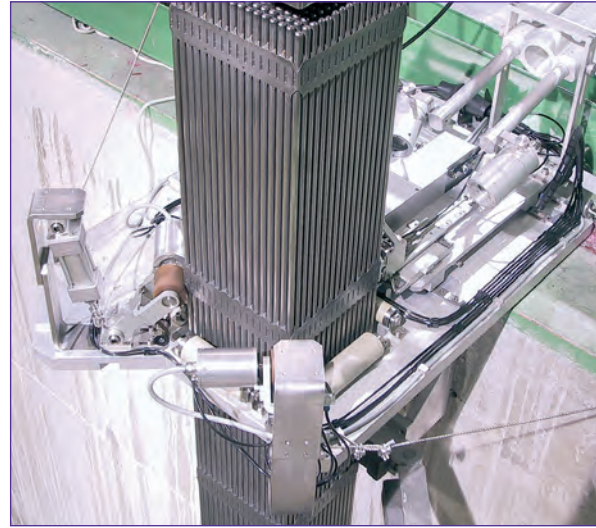
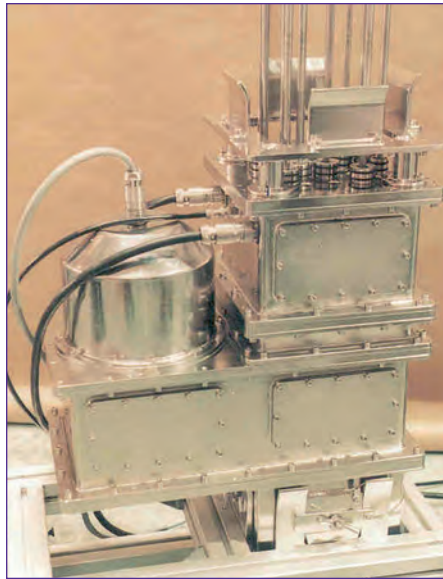
Por último, la reducción de la dosis radiológica que pudiera recibir el personal ejecutor es otro de los objetivos en la innovación de los sistemas de inspección, empleando para ello sistemas a control remoto de forma que el personal pueda operar los equipos desde zonas libres de radiación.

Líneas de actuación

Las líneas de actuación de la innovación y desarrollo tecnológico se han centrado en los cuatro subconjuntos que forman un sistema de inspección: los sensores de ensayos no destructivos, el equipo mecánico, el controlador del equipo mecánico, y el sistema de adquisición y análisis de datos.

Los sensores que más se emplean son los asociados con las técnicas ultrasónicas y de corrientes inducidas. Debido a que los sensores son básicos en las inspecciones, Tecnatom ha venido prestando una especial atención a su aplicación y desarrollo, al disponer de medios para el diseño de los mismos, así como para su fabricación. Tal es el caso del diseño de palpadores UT tipo multielemento o arrays, o la fabricación de sensores de CC.II., de los que se están fabricando modelos tales como: sensores simples tipo circular para inspección de tubos o sensores bastante más complejos como los de tipo array flexibles, los cuales permiten adaptar el sensor a las variaciones geométricas de la superficie a inspeccionar. Las características y tamaño de los sensores depende principalmente de la geometría del componente, del tipo de materiales, tanto del componente como de la soldadura si existiese, y de los tipos de defectos esperados o postulados. Para cubrir la inspección de todos los componentes de una central hay que disponer de más de 150 sensores de ultrasonidos distintos y 50 sensores de corrientes inducidas.

Las características y dimensiones de los equipos mecánicos dependen claramente del componente a inspeccionar y de sus condiciones ambientales tales como la radiación o contaminación del componente,



◀ IBACO

STAR SICOM Corrosión / SICOM Corrosion

zonas de acceso, trabajo bajo agua, temperatura, etc. En el diseño de estos equipos se deben tener en cuenta la alta fiabilidad y mantenibilidad que son requeridos para intervenir en un corto periodo de tiempo y en camino crítico de las paradas para recarga. Otro aspecto a tener en cuenta es el tiempo necesario para el montaje y desmontaje, la transportabilidad dentro de los edificios en la central y la interferencia o no intrusividad con otros trabajos.

De los equipos mecánicos, los que más esfuerzo han requerido en el desarrollo de nuevos equipos o actualización de los existentes han sido y serán los empleados en las vasijas de los reactores y en los tubos de los generadores de vapor, por ser los componentes más críticos desde el punto de vista de seguridad. Podríamos comentar la gran variedad de equipos desarrollados, desde equipos de pequeño tamaño y gran portabilidad como el **PET** o el **WIND** para tuberías, a equipos como el **TIME** para las vasijas de los reactores.

En los años 80 la inspección preservio de una vasija de reactor de una central PWR duraba unos 15 días. En la actualidad la inspección de la misma vasija con el nuevo equipo (**TIME**) dura alrededor de 5 días. Asimismo, se ha desarrollado un nuevo equipo (**TENIS**), para la inspección de las toberas, así como otros equipos para nuevas áreas entre las que cabe destacar los sistemas para las penetraciones de tapa (**STAR**) y del fondo (**PIV**), pines guías de los internos superiores, de los pernos de los internos, etc.

Igualmente ha sucedido en las vasijas de las centrales BWR, en

donde ha sido necesario desarrollar nuevos equipos para la inspección por el interior, para las penetraciones de los accionamientos de las barras de control (**TEMIS**) y de la instrumentación en el fondo de la vasija (**ICMH**), para el barrilete soporte del núcleo (familia de equipos **TEIDE**), bombas de chorro (**TEJET**), tuberías de aspersión, etc.

Para la inspección de los elementos combustibles y barras de control se han desarrollado varios equipos como son los de la familia **SICOM**, el **IBACO** y el **TEFRIS**.

En consecuencia, Tecnatom ha desarrollado más de 50 tipos de equipos mecánicos, existiendo alguno de ellos en varias versiones dependiendo de la características geométricas de los componentes y de las innovaciones realizadas.

Los controladores de los movimientos de los equipos mecánicos deben tener características específicas de acuerdo a los accionamientos eléctricos, neumáticos o hidráulicos, los indicadores de posición de cada eje y a los elementos auxiliares de iluminación, suministro de agua, protección de entrada de agua, transportabilidad dentro de las zonas de inspección, etc. De acuerdo a la gran diversidad de equipos mecánicos, Tecnatom decidió disponer de un controlador universal de equipos mecánicos, denominado **SIROCO** como acrónimo de **Sistema Robotizado de Control**.

Los objetivos del diseño del **SIROCO** fueron, entre otros, la reducción de costes y plazos en el desarrollo de nuevos equipos, pues se partía de un desarrollo previo y probado,

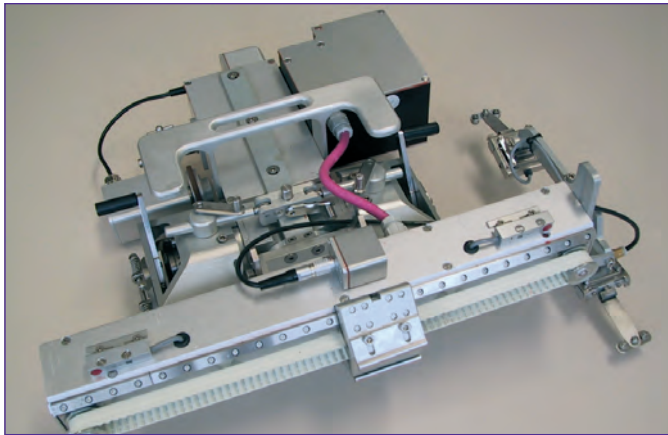
or more complex sensors such as the flexible array type, which make it possible to adapt the sensor to the geometric variations of the surface to be inspected. The specifications and sizes of the sensors primarily depend on the component geometry, on the type of material of both the component and the weld, if any, and on the types of expected or postulated flaws. More than 150 different ultrasonic sensors and 50 eddy current sensors must be provided to cover the inspection of all the components of a plant.

The specifications and dimensions of the mechanical equipment obviously depend on the component to be inspected and its environmental conditions, such as component radiation or contamination, access zones, underwater work, temperature, etc. The design of this equipment should account for the high reliability and maintainability that are required for intervention in a short period of time and in the refueling outage critical path. Other aspects to be considered are the time required for assembly and disassembly, transportability inside the plant buildings, and interference or non-intrusiveness with other work.

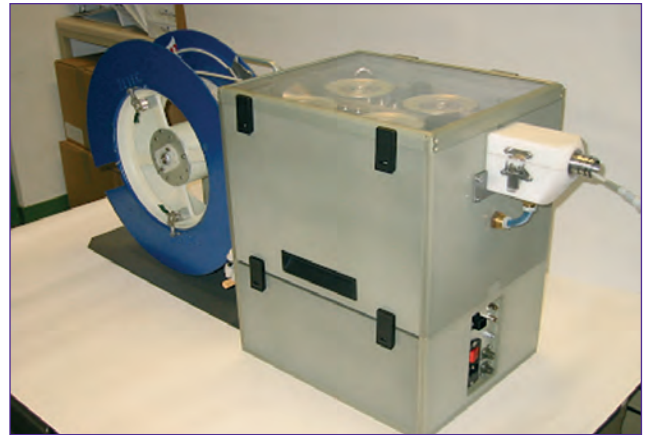
The mechanical equipment that has and will require the greatest amount of work, in terms of developing new equipment or upgrading existing equipment, is the equipment used in the reactor vessels and steam generator tubes, as these are the most critical components from the standpoint of safety. A wide range of equipment has been developed, from very portable, small equipment such as the **PET** or **WIND** for piping to equipment such as the **TIME** for reactor vessels.

In the 1980s, the pre-service inspection of a PWR plant reactor vessel lasted around 15 days. At present, inspection of the same vessel with the new equipment (**TIME**) lasts around 5 days. New equipment (**TENIS**) has also been developed to inspect nozzles, along with other equipment for new areas, including the systems for the head penetrations (**STAR**) and bottom penetrations (**PIV**), upper internals guide pins, internals bolts, etc.

The same is true of the vessels of BWR plants, where it has been necessary to develop new equipment for inspection through the interior for the control rod drives (**TEMIS**) and the vessel bottom instrumentation (**ICMH**) penetrations, core support barrel (**TEIDE** equipment family), jet pumps (**TEJET**), spray pipes, etc.



WIND



Impulsor sondas / Probe driver

For inspection of the fuel assemblies and control rods, several kinds of equipment have been developed, e.g. the **SICOM** equipment family, **IBACO** and **TEFRIS**.

Consequently, Tecnatom has developed more than 50 types of mechanical equipment, with several versions of some of them depending on the geometric features of the components and the innovations made.

Mechanical equipment motion controllers should have specific characteristics according to the electric, pneumatic or hydraulic drives, the position indicators of each shaft, and the auxiliary elements of lighting, water supply, water inlet protection, transportability inside the inspection zones, etc. Because of the large diversity of mechanical equipment, Tecnatom decided to develop a universal mechanical equipment controller, the so-called **SIROCO**, which is the acronym for **Sistema Robotizado de Control** (Robotized Control System).

The **SIROCO** design objectives included reduced costs and times in the development of new equipment, as it was based on a preliminary, proven development which is tailored to each piece of equipment in accordance with needs, and cutting the costs of operating and maintenance personnel training and of stocking spare parts. Different versions with evolving features have been developed, from the early **SIROCO 3U** and **6U**, based on electromechanical switches, to **SIROCO PC**, **VME**, **INSIDE** and **PMAC** on PCs. In **SIROCO**'s 20-year lifetime, more than 130 controllers have been developed and supplied for Tecnatom's own equipment and for third parties.

Data acquisition and analysis systems are those that excite the non-destructive test sensors and acquire, process, store and display the signals received, together with the sensor position on the inspected area. Just as in the case of controllers, the goal for data acquisition and analysis systems was to have the same software environments for all applications, regardless of the electronics used, number of sensors, channels, etc. The same objectives set for controllers, in terms of reducing costs and times, have been applied to these systems.

For ultrasonic-based inspections, system **MIDAS**, which is the English acronym for **Multichannel Inspection Data Acquisition System**, has been developed. This system is based on a high performance software applicable to different electronics in accordance with technological evolution, from single-channel, single-probe equipment to multichannel applications with 2 to 128 probes. The latest developments can work with phased array electronics, making it possible to vary the main inspection parameters by

que se particulariza para cada equipo de acuerdo a sus necesidades; la reducción de costes en la formación del personal de operación y mantenimiento y del stock de repuestos. Distintas versiones con evolución de sus características se han sucedido desde los primeros **SIROCO 3U** y **6U**, basados en pulsadores electro-mecánicos, a los **SIROCO PC**, **VME**, **INSIDE** y **PMAC** sobre ordenadores personales. En los 20 años de vida del **SIROCO**, se han desarrollado y suministrado más de 130 controladores tanto para equipos propios de Tecnatom como para los suministrados a terceras empresas.

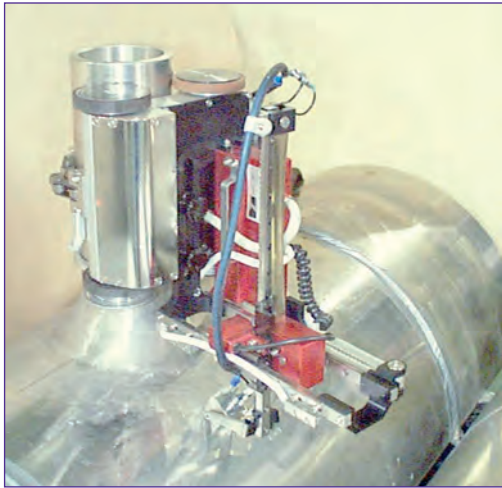
Los sistemas de adquisición y análisis de datos son los que: excitan los sensores de ensayos no destructivos, adquieren, procesan, almacenan y representan las señales recibidas junto con la posición de sensores sobre el área inspeccionada. Al igual que en el caso de los controladores, en los sistemas de adquisición y análisis de datos, se apostó por disponer de unos entornos software iguales para todas las aplicaciones, independientemente de: la electrónica utilizada, número de sensores, canales, etc. Los mismos objetivos que se fijaron para los controladores, en cuanto a reducción de costes y plazos, han sido aplicables para estos sistemas.

Para las inspecciones basadas en ultrasonidos se ha desarrollado el sistema **MIDAS**, acrónimo en inglés de **Multichannel Inspection Data Acquisition System**, basado en un software de altas prestaciones aplicable a diversas electrónicas de acuerdo a la evolución tecnológica, desde equipos monocanal, un solo palpador, a aplicaciones multicanales, de 2 a 128 palpadores. Los últimos desarrollos han permitido trabajar con electrónicas "phased array" con las

que es posible variar los parámetros principales de inspección utilizando un solo palpador multicristal, con el fin de conseguir distintos ángulos, orientaciones y focalizaciones del haz ultrasónico, como si fuera un conjunto de palpadores. Esta técnica permite utilizar menos palpadores simplificando los equipos mecánicos correspondientes y el tiempo de inspección, evitando el cambio de palpadores. El sistema **MIDAS** incluye herramientas especiales de ayuda al análisis y evaluación de las inspecciones con algoritmos para procesar y representar la información en materiales y configuraciones geométricas complejas.

Para las inspecciones basadas en corrientes inducidas se ha desarrollado el sistema **TEDDY**, acrónimo en inglés de **Tecnatom Eddy Current**, basado en un software de altas prestaciones aplicable a diversas electrónicas, desde un sensor con una sola frecuencia, un canal, a 32 sensores y 32 frecuencias, 1.024 canales. Cuenta con dos conjuntos de aplicaciones software: una de carácter general válida para cualquier tipo de inspección (inspección de superficies, inspección de grandes tuberías, tubos, etc) y una específica orientada a la inspección masiva de tubos de pequeño diámetro (Generadores de Vapor, Condensadores, etc.). Esta última dispone opcionalmente de un módulo de detección y clasificación automática de defectos que permite efectuar el análisis de un tubo en menos de un segundo.

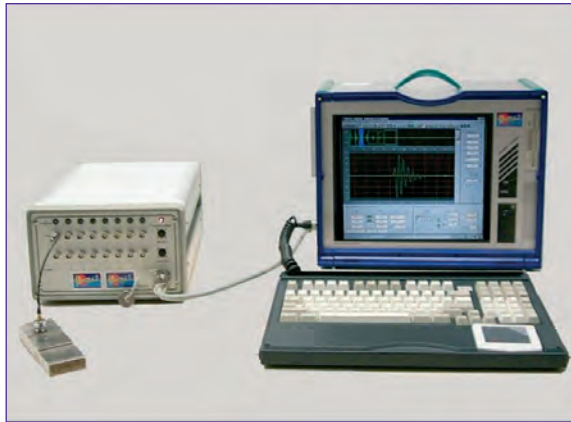
Cada aplicación está compuesta por dos procesos bien diferenciados: adquisición de datos y análisis de datos disponiendo cada uno de ellos de herramientas específicas que hacen del sistema **TEDDY** un equipo potente a la vez que un producto de fácil manejo.



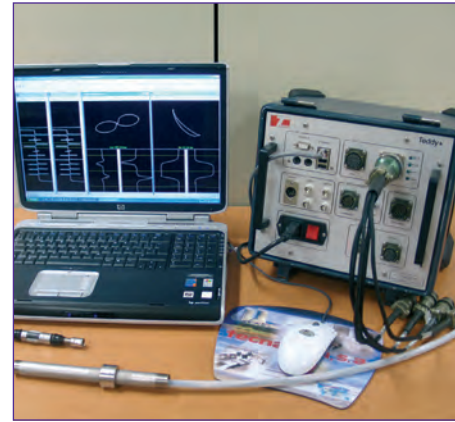
PET

El futuro

Tecnatom ha apostado de manera decidida, durante toda su trayectoria empresarial, por la innovación y el desarrollo tecnológico en todos sus productos y servicios, y de manera muy especial en los sistemas de inspección, al considerarlos una herramienta clave para garantizar la integridad de los componentes críticos de las centrales nucleares. Al desarrollo de estos sistemas se han dedicado los mayores esfuerzos humanos, técnicos y económicos de la empresa y, gracias a éstos, Tecnatom ha dado en cada momento la adecuada respuesta a las necesidades de sus clientes, manteniendo siempre la competitividad y la independencia de sus actuaciones. De cara al futuro, nos disponemos a afrontar, con la ilusión de siempre, nuevos e interesantes retos tecnológicos, que a buen seguro nos permitirán seguir mejorando nuestros sistemas de inspección, haciéndolos más eficaces, menos intrusivos, fáciles



MIDAS



TEDDY



Sondas especiales para tubos de inspección.
Special probes for tube inspection.



Sondas especiales de corrientes inducidas.
Special eddy current probes.

de usar..., y en definitiva ofrecer a nuestros clientes una respuesta tecnológica competitiva y acorde a sus necesidades.

using a single multi-crystal probe in order to obtain different angles, orientations and focuses of the ultrasonic beam, as if it were a set of probes. With this technique, it is possible to use fewer probes, thus simplifying the corresponding mechanical equipment and inspection time and avoiding a change of probes. System **MIDAS** includes special tools to assist in inspection analysis and evaluation with algorithms to process and display the information on complex geometric configurations and materials.

System **TEDDY**, the English acronym for Tecnatom **Eddy Current**, has been developed for eddy current inspections. This system is based on high performance software applicable to different electronics, from a sensor with a single frequency and one channel to 32 sensors, 32 frequencies and 1024 channels. It has two software application packages: one general purpose package that is valid for all kinds of inspections (inspection of surfaces, large pipes, tubes, etc.) and a specific package intended for mass inspections of small diameter tubes (Steam Generators, Condensers, etc.). The latter is optionally provided with an automatic flaw detection and classification module that can analyze a tube in less than one second.

Each application is composed of two clearly differentiated processes: data acquisition and data analysis, each provided with specific tools that make the **TEDDY** system a powerful and easy to use product.

The Future

Throughout its corporate history, Tecnatom has decisively invested in technological innovation and development of all its products and services, and particularly its inspection systems, as these are considered as key tools to assure the integrity of the critical components of nuclear power plants. The company has made a great human, technical and economic effort to develop these systems and, as a result, Tecnatom has at all times been able to adequately meet its customers' needs while always maintaining the competitiveness and independence of its activities. Looking to the future, we are ready to confront new and interesting technological challenges with our usual enthusiasm, and this will surely allow us to continue to improve our inspection systems to make them more efficient, less intrusive, easier to use, etc. – in short, to offer our customers a competitive technological solution in tune with their needs.



Esteban Cabrera, Responsable de Informática de Procesos; **M^a Teresa Aguado**, Responsable de Producción; **José L. Rembado**, Jefe División de Desarrollo Tecnológico y **Jesús Vázquez**, Responsable de Desarrollo.

Esteban Cabrera, Head of Process Computing; **M. Teresa Aguado**, Head of Production; **Jose L. Rembado**, Head of Technological Development Division, and **Jesus Vazquez**, Head of Development.