

MODERNIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DE TURBINA Y DEL REACTOR EN ALMARAZ 1 Y 2

C. PULIDO - J. DÍEZ - J.A. CARRASCO - L. LÓPEZ

El proyecto de cambio de los sistemas de Control de Turbina y del Reactor forma parte del programa de modernización de los sistemas de control e instrumentación en la Central Nuclear de Almaraz. Para esta modernización se ha escogido como plataforma de Control al Sistema Ovation® que permite una arquitectura abierta, ampliable y con una amplia experiencia de uso en otras centrales nucleares y térmicas de todo el mundo.

Como principales objetivos durante el desarrollo del proyecto están el minimizar el impacto en la instalación y operación de la central para lo cual se ha ejecutado el proyecto en dos fases, sustitución del Control de Turbina y sustitución del Control del Reactor. Igualmente otra prioridad del proyecto es la de incrementar la fiabilidad de los sistemas de control haciendo que no sean susceptibles a fallos únicos.

El sistema de Control de Turbina ha sido ya instalado en las Unidades 1 y 2 mientras que el Control del Reactor tiene previsto instalarse en las recargas del 2006 y 2007.

The replacement of the Turbine Control System and Reactor Control System are part of the Almaraz modernization program for the Instrumentation and Control. For these upgrades Almaraz has selected the Ovation® Platform that provides open architecture and easy expansion to other systems, these platforms is highly used in many nuclear and thermal plants around the world.

One of the main objective for this project were to minimize the impact on the installation and operation of the plant, for that reason the project is implemented in two phases, Turbine Control upgrade and Reactor Control upgrade. Another important objective was to increase the reliability of the control systems making them fully fault tolerant to single failures.

The Turbine Control System has been installed in Units 1 and 2 while the Reactor Control System will be installed in 2006 and 2007 outages.

En Octubre del 2003 se inició el proyecto para la modernización de los sistemas de Control de Turbina y del Reactor para las Centrales de Almaraz 1 y 2. En la planificación del desarrollo e implementación de estas moderniza-

ciones se previeron dos fases, una primera que sería la sustitución del Control de Turbina con instalación en las recargas de Octubre del 2004 en Unidad 2 y Abril del 2005 en Unidad 1 y una segunda fase para la sustitución del Control del Reactor que se instalará en las recargas de Octubre del 2006 en Unidad 1 y Octubre del 2007 en Unidad 2.

La plataforma que se seleccionó para la modernización de estos sistemas de control digital fue Ovation® que proporciona una arquitectura abierta y ampliable a futuras modernizaciones de la central.

El sistema de Control de Turbina se ha instalado en las Unidades 1 y 2 siguiendo el programa previsto y cumpliendo a satisfacción con los objetivos de diseño del mismo. Actualmente se esta desarrollando el Control del Reactor para ser instalado en las próximas recargas.

OBJETIVOS DEL DISEÑO

Los principales objetivos que se fijaron al inicio del proyecto fueron:

- Diseño de un sistema de Control altamente fiable que sea inmune a fa-

llos únicos, esto se ha conseguido con el Hardware de Ovation® que es totalmente redundante y a través de la redundancia en los transmisores de campo.

- Implementación un sistema de control de fácil diagnóstico y mantenimiento, con Tiempo Medio para Reparación de menos de 0.5 horas. El sistema Ovation® dispone de herramientas de mantenimiento y vigilancia en-línea lo que permite cumplir con este objetivo.

- Diseñar una arquitectura abierta que permita una fácil integración de futuras actualizaciones en los sistemas de control y ordenador de proceso de Almaraz. Además la integración de los sistemas de Control de Turbina y del Reactor en la misma arquitectura de red permite compartir recursos en ambos sistemas manteniendo las funciones relacionadas con el control separadas.

- Minimizar los tiempos de instalación, para ello se planificó la reutilización las actuales cabinas del Control de Turbina y del Reactor manteniendo los terminales de Entradas y Salidas, lo que supone un considerable ahorro de tiempo en instalación y pruebas de cableado durante la recarga.

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA OVATION®

La arquitectura de Ovation® es esencialmente un Sistema de Control e Información Distribuido, constituido por Controladores de proceso, Estaciones de Trabajo de Operación e Ingeniería y la red de comunicaciones. El control de procesos y la adquisición de datos son aplicaciones que funcionan dentro de la infraestructura de información, por lo que el sistema de Información es el propio sistema de control.

Red De Comunicaciones

La red de comunicaciones es la interfase con los Controladores de Procesos y las Estaciones de Trabajo, esta red de transmisión de datos se basa en Fast Ethernet con estructura redundante en doble anillo y tolerante a fallos. La red Fast Ethernet de Ovation® permite la conexión de equipos con fibra óptica y/o cobre (UTP). La velocidad de la red es de 100 Mbps garantizando la transmisión de todos los puntos de control en tiempo real sin pérdidas, degradación o retrasos, independientemente de los transitorios de planta. Esta red también permite el trabajo en

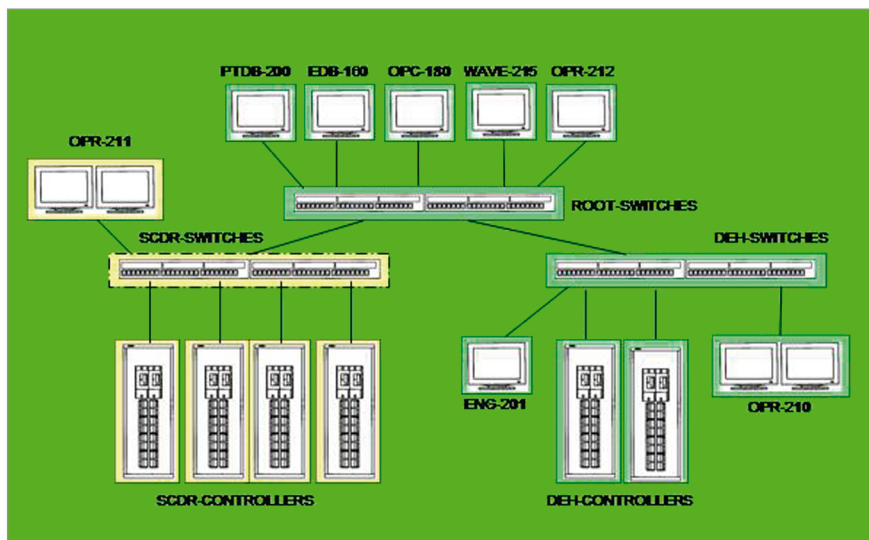


Figura 2. Esquema de la arquitectura de la red del sistema.

multi-red con la conexión de hasta 32 redes independientes a velocidades de 100 Mbps. Esta red también permite la conexión de redes de área local de planta sin la necesidad de tener que desarrollar protocolos específicos de comunicación.

Los módulos de Entradas y Salidas son totalmente modulares pueden ser remplazados con el sistema en funcionamiento y su configuración se realiza por software desde las herramientas del sistema evitando el uso de cableado.

Controladores de Proceso y Adquisición de Datos

Los controladores de proceso son totalmente redundantes con detección de fallo y cambio automático al controlador de respaldo, igualmente las fuentes de alimentación son redundantes proporcionando una configuración altamente fiable. Estos controladores pueden ejecutar estrategias complejas de control continuas o secuenciales, realizan la adquisición de datos y proporcionan la interfase a la red de comunicación y a los diferentes sistemas de Entradas Salidas del sistema.

Cada controlador tiene capacidad para generar 16.000 puntos de proceso, estos puntos de proceso son leídos de campo, convertidos a Unidades de Ingeniería, transmitidos a la red y comprobados los rangos del transmisor cada segundo. Los controladores de Ovation® están basados en tecnología de mercado utilizando procesadores Intel y tecnología de bus PCI. Los controladores permiten utilizar 5 áreas de control diferentes con tiempos de ejecución configurables de 10 milisegundos a 30 segundos. Estos Controladores pueden configurarse también en modo de simulación con lo que se pueden conectar a un simulador de planta para verificar el correcto funcionamiento del sistema de control.

Estaciones de Trabajo

La interfase para los operadores y el personal de Ingeniería y Mantenimiento de planta se realiza a través de las estaciones de Operación e Ingeniería. Estas estaciones son Ordenadores comerciales basados en el sistema operativo Windows-XP®.

La estación de Ingeniería permite el mantenimiento, configuración y programación de todo el sistema de control. Las principales herramientas de desarrollo son, Control Builder que permite la programación de la lógica de control usando AutoCAD como estándar de dibujo y programación, Graphis Builder permite la creación de gráficos dinámicos para la visualización y el control del proceso. Base de Datos del sistema desarrollada en Oracle y a la que se conectan todas las herramientas del sistema.

La estación de Operación permite la visualización de los gráficos, tendencias, sistema de alarmas y Base de Datos del sistema.

La estación Histórica (EDB) almacena los datos de proceso y puede ser conectada a múltiples redes, proporcionando capacidad para generar Informes por petición o automáticos.

Además existen estaciones de Cálculo, servidores de OPC, Internet, etc. que pueden combinarse con otra Estación.



Figura 1. Ejemplo de Controladores y Módulos de Entradas/Salidas de Ovation®

ARQUITECTURA DEL SISTEMA

La arquitectura implementada en el sistema de control de Turbina (DEH) y del Control del Reactor (SCDR) ha sido pensada para una fácil expansión de la red de control de Ovation®.

Es una arquitectura distribuida con red en doble anillo que se ha dividido en dos subredes, una para el DEH con un par de Concentradores de Ethernet (DEH Switches) y la otra para el SCDR con otros dos concentradores (SCDR Switches), estas dos subredes están unidas por los Concentradores Raíz (Root Switches). Esta configuración permite que los controladores del DEH o del SCDR puedan funcionar en modo isla si hubiera algún fallo en la red (ver figura 2). La distribución de los controladores y Estaciones de Trabajo es la siguiente:

Existen tres Estaciones de Operación, una dedicada exclusivamente al DEH y montada en el panel de sala de control con dos monitores (opr-212), otra dedicada al SCDR e igualmente montada en el panel de sala de control con dos monitores (opr-211) y una tercera de sobremesa que en principio esta dedicada al DEH pero pudiera utilizarse para el SCDR.

Además existen dos Estaciones de Ingeniería, la primera montada sobre los Concentradores Raíz que es igualmente el Servidor de la Base de Datos del Sistema (ptdb-200) y otra montada sobre un carrito móvil que puede conectarse a los concentradores del DEH o del SCDR.

Otras Estaciones en el sistema son, La Consola Histórica (edb-160), el Servidor de OPC (opc-180) que realiza las comunicaciones con el Ordenador de Proceso de Planta y el Servidor de Internet (wave-215) que permite la transferencia de datos de control y gráficos a la red local de planta.

Para la comunicaciones entre los diferentes componentes de la red se ha utilizado Fibra óptica excepto en el cableado de red dentro de las cabinas del DEH y del SCDR.

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE CONTROL DE TURBINA (DEH)

El actual sistema de control de turbina, DEH MOD II, se sustituye por el nuevo diseño de Westinghouse, DEH MOD III Level 3. Los objetivos específicos para el diseño de este control de turbina fueron:

- Mantener las actuales cabinas del

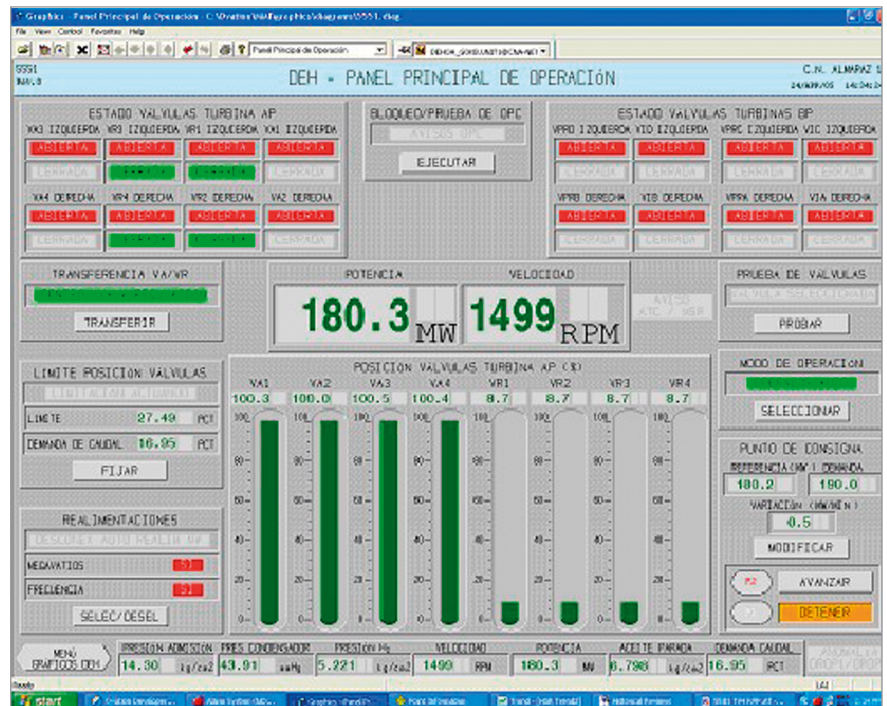


Figura 3. Gráfico del Panel Principal de Operación del DEH.

DEH, ahorrando tiempo durante la instalación.

- Implementar un sistema de control capaz de controlar la velocidad de turbina con una precisión de ± 1 rpm y de controlar la carga con una precisión de $\pm 0,1$ Mw.
- Mejorar la prueba de válvulas de turbina reduciendo el tiempo de la prueba y la pérdida de Mw.
- Implementar un nuevo sistema de Control automático de los Recalentadores y Separadores de Humedad (MSRs).
- Implementar un nuevo sistema de Control automático del Vapor de Cierres de Turbina.

El DEH Mod III consiste en dos pares de controladores redundantes, uno realiza las funciones de Operador Automático (OA) y Protección Sobrevelocidad que es el usado para el control de la velocidad y carga de la turbina. El segundo controlador realiza el Control de los MSRs, Control del Vapor de Cierres y el Control Automático de Turbina (ATC).

El sistema también está diseñado para responder a la pérdida total de los controladores redundantes, durante este modo de funcionamiento se utilizan dos estaciones de control Auto/Manual que se han instalado en sala de control para que los operadores puedan controlar directamente la posición de las válvulas de turbina con la ausencia de controladores. También se instalaron

por este motivo en el panel de sala de control señales vivas de velocidad de turbina y potencia eléctrica (Mw).

El sistema también posee un modo Manual que funciona con los controladores, en este modo de operación los operadores seleccionan la posición de las válvulas de turbina directamente desde los gráficos de control instalados en las estaciones de operación.

El modo de operación Operador Auto (OA) proporciona el control velocidad y carga de la turbina siendo el operador quien fija los valores de objetivo de velocidad y carga de turbina. Este modo de operación también sirve para seleccionar el resto de los modos de control. ATC, Sincronización, Manual.

En el modo de control Automático (ATC) el sistema realiza el arranque y sincronización de la turbina de forma automática, eligiendo la rampa de subida de velocidad más adecuada al estado de la turbina. El sistema ATC también proporciona alarmas y avisos a los operadores cuando se encuentran en el modo de Operador Automático.

La protección de sobrevelocidad se realiza con lógica de 2 de 3 directamente cableado a las solenoides de disparo o a través de los controladores lo que proporciona redundancia en la protección.

La interfase para el operador de turbina es la estación montada en el panel de sala de control, desde ella puede realizar todas las acciones de control y

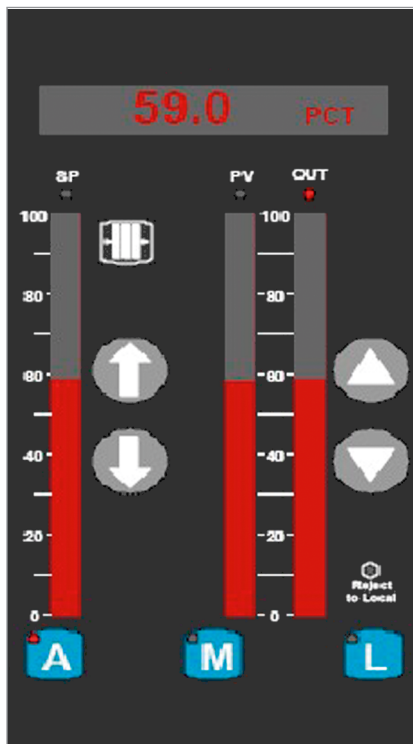


Figura 4 – Ejemplo de las nuevas controladoras Auto/Manual.

supervisión, para ello se han desarrollado gráficos de control y supervisión, como respaldo también se puede utilizar la estación de sobremesa que tiene las mismas capacidades que la instalada en el panel.

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE CONTROL DEL REACTOR (SCDR)

La modernización del Sistema de Control del Reactor consiste en la sustitución del control realizado en las cabinas del 7300 de Westinghouse, cabinas 5, 6, 7 y 8. Los principales lazos de control que se controlan en estas cabinas y serán sustituidos son los siguientes:

- Cabina 5, lazos de supervisión de Caudales de sellos de las bombas principales, COMS, Control del Tanque de Control de Volumen, Acido Bórico, etc.
- Cabina 6, Control de Agua de Alimentación lazo 1, supervisión de Caudales de sellos de las bombas principales, Acumuladores, Temperatura RHR, etc.
- Cabina 7, Control de Agua de Alimentación lazo 2, Control Presión y Nivel del Presionador.
- Cabina 8, Control de Agua de Alimentación lazo 3, Control Turbo bombas agua de alimentación, Control del

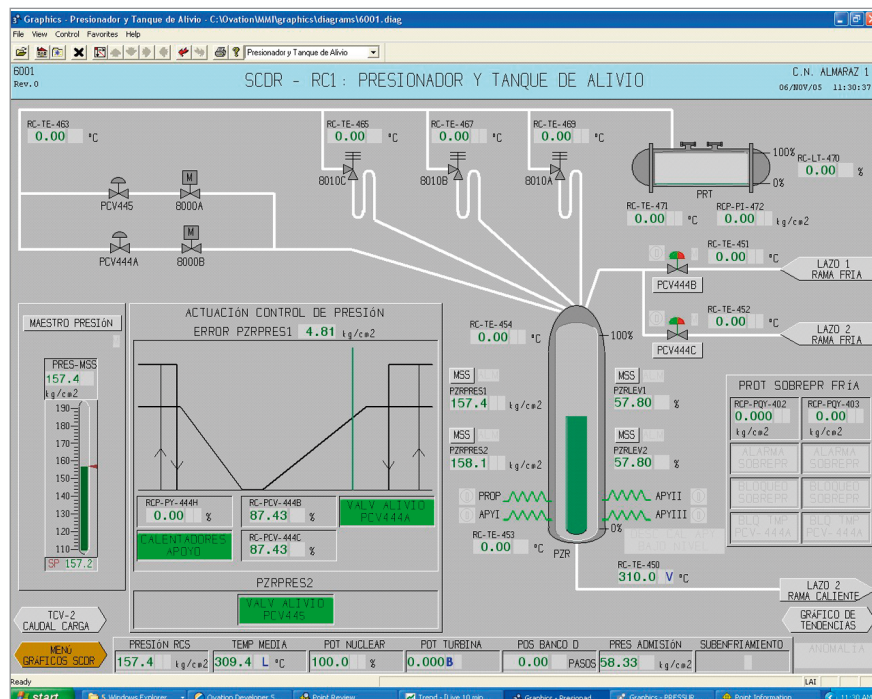


Figura 5. Gráfico del Control de Presión del Presionador

Steam Dump, Control de Temperatura del Reactor.

Dentro del diseño del sistema de Control se ha realizado la separación funcional en Controladores de los lazos de control, con ello se han definido el número de controladores necesarios en cada cabina para mantener los mismos requisitos de separación funcional que hoy en día tiene Almaraz, esto conlleva que no es necesario la revisión de los Análisis de Accidente del Informe Final de Seguridad.

De igual manera que en el Control de Turbina las actuales cabinas del 7300 serán reutilizadas, pero se han diseñado las siguientes mejoras, nuevos paneles de distribución de potencia con interruptores individuales para los controladores, ventiladores y cargas auxiliares, nuevos ventiladores y paneles de ventilación con filtros EMC, nuevas protecciones de sobrecorriente con interruptores para las alimentaciones redundantes de entrada a las cabinas, nuevos paneles 26 de conexionado multicable y nuevas puertas para los cuerpos centrales de las cabinas.

Las principales mejoras introducidas en el diseño funcional del control del reactor se basan en la implementación del nuevo sistema de control avanzado del Agua de Alimentación (ADFC) que proporciona un control automático del nivel de los generadores de vapor en todo el rango de operación, este rango va desde la transición de agua

de alimentación auxiliar a agua de alimentación principal hasta la operación a plena potencia. El sistema realiza la transición desde un control a bajas potencias, que usa la señal de nivel de rango ancho como anticipación de los cambios de nivel, al modo de altas potencias donde la anticipación se calcula en función de desequilibrio entre caudales de vapor y agua alimentación, esta transición se realiza sin saltos en las funciones de control.

Para aumentar la fiabilidad del Sistema de Control del Reactor se utilizan algoritmos de selección de señal mediana en todos los lazos principales de control, Presión del Presionador, Nivel del Presionador, Caudal de Carga, Nivel de Rango Estrecho de los Generadores de Vapor, Caudal de Agua de Alimentación, Caudal de Vapor, Presión línea Vapor, Temperatura del Agua de Alimentación, Potencia Nuclear y Presión en la cámara de impulsos de la turbina. Para cada una de estas funciones se tendrán disponibles tres señales de transmisores por lazo, para cumplir este requisito se instalarán transmisores adicionales a los actualmente existentes en Caudal de carga, Presión cámara de Impulso, Caudal de Agua de Alimentación, Presión línea Vapor, Temperatura Agua de Alimentación y Potencia Nuclear.

En el Control del Agua de Alimentación a los Generadores de Vapor se instalarán salidas redundantes a las válvulas de control principal y de bypass.



Figura 6. Instalación del Control de Turbina.

La interfase principal para los operadores seguirá siendo el panel de control y en el las controladoras Auto/Manual, como respaldo y ayuda a los operadores se instalará una Estación de Operación con dos monitores en el panel. Esta decisión se tomó para minimizar el impacto en la operación de la central por el cambio del sistema. Las estaciones de control Auto/Manual actuales serán reemplazadas por nuevas estaciones que proporcionan control directo sobre los elementos de campo con el fallo de los controladores.

Para la nueva Estación de Operación se han diseñado gráficos de control y supervisión desde los cuales se podría realizar el Control del sistema del Reactor, estos gráficos integran información sobre alarmas del sistema, control y supervisión, un ejemplo del control de presión del presionador se encuentra en la figura 5.

INSTALACIÓN

La instalación del sistema de control de turbina se ha realizado en ambas unidades de Almaraz, en las recargas de Octubre 2004 y Abril 2005. En ambos casos se han reutilizado las antiguas cabinas del sistema de control, igualmente se ha mantenido el cableado original de campo. La instalación se ha realizado en 14 días incluyendo las pruebas de señales de Entradas y Salidas y modificación de los paneles de sala de control.

La turbina se ha arrancado en ambas unidades según el programa previsto y las pruebas de las válvulas de turbina se han realizado con una considerable disminución de tiempo y de pérdida de potencia.

La instalación del Sistema del Control del Reactor está previsto realizarla en las recargas de Octubre del 2006 y Octubre del 2007.



Carlos PULIDO es Ingeniero de Minas por la Universidad Politécnica de Madrid. Comenzó su carrera profesional con Westinghouse hace 15 años en España, durante los últimos 6 años ha trabajado en

Westinghouse Estados Unidos, dedicándose a proyectos de sustitución de Sistemas de Control Digitales y de Aumentos de Potencia. Actualmente es el Jefe de Proyecto de Westinghouse para la Modernización de los Sistemas de Control de Turbina y del Reactor de C.N. Almaraz.

Juan DÍEZ DE LOS RÍOS es Ingeniero Industrial y diplomado en Ingeniería Nuclear. Desde 1975 a 2000, Responsable de la Ingeniería Eléctrica y de I&C en C.N. Almaraz. Desde 2000 a 2005, Responsable de la Ingeniería de I&C en C.N. Almaraz-Trillo, asumiendo la dirección del Proyecto del Cambio de Instrumentación y Control en C.N. Almaraz.



Juan Atanasio CARRASCO es Ingeniero de ICAI, executive MBA del Instituto de Empresa y doctor en ingeniería informática. Ha trabajado diez años en Tecnatom, liderando múltiples proyectos relacionados con la instrumentación y control. Desde principios de año se ha incorporado a Almaraz-Trillo con el objetivo de trabajar en la modernización de sus sistemas de instrumentación y control.

Lucio LÓPEZ CASTAÑO es Ingeniero Técnico de Telecomunicaciones. Especialidad Equipos Electrónicos. Universidad Politécnica de Madrid. Experiencia Profesional: 1981/1983 Empresarios Agrupados (Almaraz, Cáceres). Supervisión de Pruebas y Puesta en Servicio de Sistemas en Central Nuclear de Almaraz, Sistema 7300(Westinghouse) de Control Primario (NSSS) y Sistema de Instrumentación Nuclear (NIS) (Westinghouse). 1983/88 Empresarios Agrupados (Almaraz, Cáceres). Supervisión y apoyo Mantenimiento del departamento de Instrumentación y Control de Central Nuclear de Almaraz. 1988/. Empresarios Agrupados (Madrid)..Ingeniero de Sistemas de Instrumentación y Control para el Proyecto TRIAL (Centrales Nucleares Trillo-Almaraz), Ingeniería de Modificaciones de Diseño.

