

Diseño Asistido por Computadora (DAC) para Mejorar la Electrónica de los Canales Nucleares del Reactor TRIGA MARK III del ININ.

**González Marroquín José Luis, Rivero Gutiérrez Tonatihu,
Aguilar Hernández Fortunato**

*Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares
Apartado postal 18-1027, Col. Escandón, 11801, México, D. F.
jlqm@nuclear.inin.mx, trg@nuclear.inin.mx, fah@nuclear.inin.mx*

Resumen

Los 4 canales de medición neutrónica de la consola de control digital (CCD) del Reactor TRIGA MARK III (RTMIII) del ININ, fueron diseñados y construidos con el programa de Garantía de Calidad correspondiente, lográndose el licenciamiento para reemplazar la vieja consola. Con el tiempo se realizaron algunos cambios para mejorar y resolver algunos problemas no detectados en las pruebas, verificación y validación, requiriéndose modificar los circuitos originalmente diseñados. En este trabajo se presentan las acciones correctivas realizadas para eliminar la No Conformidad generada por estos problemas, mencionándose las ventajas de utilizar herramientas modernas, como el software aplicado a la Ingeniería Asistida por Computadora, y los resultados obtenidos.

1. Introducción.

El constante cambio en las tecnologías utilizadas en el diseño de equipos y sistemas electrónicos ha hecho que los desarrollos previos sean rápidamente obsoletos. Aunado a esto, los diseños y desarrollos electrónicos en funcionamiento generalmente son susceptibles a mejora, por lo que en muchas ocasiones una vez que los sistemas se encuentran en operación, se les agregan otros circuitos para hacerlos más eficientes o simplemente para eliminar defectos no detectados, con la salvedad que los nuevos circuitos tienen que ser empalmados o alambrados externamente a los circuitos a modificar requiriéndose en muchos casos realizar un nuevo diseño que contemple los cambios realizados.

Los 4 sistemas de medición neutrónica de la consola de control digital (CCD) del Reactor

TRIGA MARK III (RTMIII) del ININ, fueron diseñados, construidos y puestos en operación con el programa de Garantía de Calidad correspondiente, siendo supervisado por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardas, CNSNS, con lo que se logró el licenciamiento para reemplazar la vieja consola. Los diseños fueron probados en el laboratorio y en el Reactor en paralelo con los originales, no detectándose problemas ni discrepancias de funcionamiento, por lo que se procedió a diseñar y ensamblar los circuitos electrónicos finales en las tarjetas de circuitos impresos (TCI) correspondientes. Los sistemas nucleares ensamblados fueron verificados y validados en paralelo con los canales originales. Una vez en funcionamiento se realizaron algunas modificaciones menores para mejorar el funcionamiento y para facilitar la calibración. Estas modificaciones fueron empalmadas en las TCI elaborándose los

informes correspondientes. Con el tiempo se empezaron a detectar algunos problemas esporádicos de cortes al estar en funcionamiento el reactor, determinándose por los operadores que eran ocasionados por problemas electrónicos de la instrumentación y del control. Al analizar estos cortes se determinó que fueron ocasionados principalmente por las siguientes causas:

- a) Por periodo, y por rebasar el 110% de potencia del canal lineal en la escala más baja de potencia del reactor (1 W), el cual maneja un nivel de corriente muy pequeña, (del orden de 10^{-9} A).
- b) Falsos contactos ocasionados por diferentes movimientos de los componentes del Reactor.
- c) Cortes diferentes sin alguna causa aparente.

Ante esto se genera en Junio del 2005 la No Conformidad del Producto No. T.NCP.UR-1/05, procediéndose a resolverla.

2. Análisis del problema.

A continuación se hace un análisis de la situación, mencionándose algunas de las propuestas de solución y sus conclusiones.

2.1 Respecto a los cortes ocasionados por periodo y el rebase del 110% de potencia del canal lineal.

Se observó que estos cortes se manifiestan principalmente cuando el reactor deja de operar una semana o más tiempo, por lo que se determinó que cuando el reactor se encuentra frío, el nivel de ruido en la cámara de ionización compensada se incrementa, lo que altera la señal electrónica. Estas alteraciones son interpretadas como rebase del 110% de potencia en la escala más baja (1 watt) generándose el corte. Estos tipos de corte no afectan la operación del reactor, ya que de acuerdo con [1], al inicio de la operación

del reactor el Sistema de Razón de Conteo es el que monitorea la potencia del reactor, entrando en funciones el Sistema Lineal hasta arriba del nivel fuente. Cabe mencionar que una vez que el Reactor se pone en funcionamiento, este problema ya no se presenta.

2.2 Respecto a los falsos contactos ocasionados por diferentes movimientos.

Estos problemas se manifestaban particularmente cuando se movía el puente, ya que los cables de conexión que van de las cámaras a la consola son largos y son arrastrados con el movimiento. A pesar de que se tuvo cuidado de fijar correctamente los conectores, el problema persistía. En general, estos problemas se resolvían con la revisión y reconexión de los cables.

2.3 Respecto a los cortes sin causa aparente.

De la bitácora de operación y por la información de los operadores, se determinó que estos cortes se realizaban esporádicamente por las siguientes causas:

- Por los diferentes sistemas sin alguna causa aparente, por lo que se sospechó de ruido por interferencia Electromagnética (EMI). Si bien en el diseño original este problema fue considerado tomándose las providencias correspondientes, como utilizar cables trenzados con malla metálica para la tierra cuando la distancia de conexión es larga, no se descarta que estos cortes fueran ocasionados por este tipo de ruido.
- Por movimientos ligeros de los gabinetes que contienen la instrumentación, por lo que se supuso que los cortes eran originados por movimientos de las TCI, las cuales se diseñaron con peines para ranuras conectadas en bus común.

- Por cortes esporádicos sin ninguna justificación, indicándose en la bitácora electrónica mensajes diversos.

3. Metodología.

3.1 Acciones correctivas.

Se determinó que los problemas mencionados se debían principalmente a los 4 sistemas de medición neutrónica, por lo que se planteó rediseñar las TCI tomando en cuenta entre otros los siguientes requerimientos:

- Las nuevas TCI deberían contener los circuitos empalmados.
- Se debía eliminar el peine de conexiones al bus común de todas las TCI, sustituyéndolos por conectores tipo header o de tornillo.
- Se debían sustituir los relevadores de mercurio de la TCI del Comparador por otros que fueran comerciales.
- Se debían seleccionar cajas metálicas que contuvieran las TCI de cada sistema, y que eliminaran la EMI, tomando en consideración las dimensiones de los bastidores que contienen los sistemas en la CCD.

Para resolver la problemática planteada se llevaron a cabo las siguientes acciones:

- Se seleccionaron las cajas que contendrían los nuevos sistemas y que cumplieran con las dimensiones especificadas para ser alojadas en los gabinetes de la consola de control, y que tuvieran las dimensiones adecuadas para alojar las nuevas TCI. Estas cajas deberían contar con diseño para protección contra polvo y humedad, y contra interferencias electromagnéticas EMI/RF. Las cajas seleccionadas están hechas de aluminio troquelado y su maquinado evita estas interferencias electromagnéticas. Las dimensiones de

las cajas seleccionadas son de 260X159X70 mm y fue necesario adquirirlas en el extranjero.

- En paralelo, se elaboró el listado y se adquirieron los componentes requeridos para las nuevas TCI de los cuatro sistemas.
- Al mismo tiempo se buscó un programa actualizado para utilizarse en el diseño de las TCI. Se decidió utilizar la versión DXP 2004 de PROTEL, ya que presenta ventajas sobre las versiones previas y otros paquetes de software similares.
- Se adquirió el software a utilizar, se instaló y se aprendió a utilizar.
- Se genera el Informe Técnico mencionado en la referencia 1 con el objeto de estandarizar los diseños de TCI en el Departamento de Automatización.
- Se buscó al fabricante de las TCI y una vez que se terminaba el rediseño de alguna tarjeta, se enviaban los archivos correspondientes para su maquinado.

3.2 El Diseño Asistido por Computadora, DAC, utilizado en el rediseño de las TCI de los sistemas de medición neutrónica del RTMIII.

El Protel DXP 2004 utilizado en el rediseño de las TCI de la consola de control del RTMIII es un programa CAD de la empresa Altium [4] para el diseño de circuitos electrónicos desde su fase esquemática hasta el diseño de la TCI. Suministra a los ingenieros y diseñadores electrónicos una aplicación única que incorpora todas las tecnologías y capacidades para desarrollar productos electrónicos completos. Trae consigo hardware, software, simulación de circuitos y desarrollo de hardware programable dentro de un medio ambiente unificado permitiendo que todos los aspectos de un producto sean diseñados y administrados dentro de un solo medio ambiente.

Manufacturar un producto electrónico implica generar una gran cantidad de

archivos de salida, como los de los esquemas de los circuitos eléctricos, dibujos de ensamble, archivos de fabricación, archivos de perforación, archivos de tomar y colocar, reportes de puntos de prueba y reporte de componentes. Protel DXP administra todos los archivos de forma centralizada ahorrando mucho tiempo en la organización de estos documentos, lo que permite al ingeniero diseñador trabajar en múltiples proyectos simultáneamente, administrando los archivos de cada proyecto en forma separada.

El software utilizado para el rediseño de las nuevas TCI se seleccionó considerando además los siguientes aspectos principales:

- a) Es un software que en una versión antigua (1994) fue utilizado por el departamento para el diseño de las TCI.
- b) Para el maquinado de las nuevas TCI, los fabricantes requieren los archivos Gerber generados por el software de Protel que se menciona.
- c) Cuenta con un generador de esquemas eléctricos conteniendo una biblioteca extensa de modelos de circuitos lo que hace el diseño rápido y eficiente. Permite establecer reglas de diseño (espacio entre pistas, tamaño de pistas y perforaciones, etc.), y supervisa que no se violen durante el diseño. Cuenta con un generador inteligente para la creación de las TCI, realizando la transmisión automática de los componentes especificados en el esquema eléctrico a la TCI. Permite la simulación de los circuitos. Administra la gran cantidad de documentos que se generan, como los listados de: componentes, rutas de pistas, perforaciones, vías, etc.). Realiza el enrutamiento automático de la TCI basado en redes neuronales. Genera automáticamente los esquemas finales de las diferentes capas y de componentes, de taladrado, etc. Realiza en línea el análisis de la integridad de las señales mediante simulación; y permite

la visualización del diseño en tercera dimensión pudiéndose rotar en los tres ejes lo que ayuda a tener una idea clara de lo que se obtiene como producto final, etc.

Todas estas ventajas ayudan a obtener un producto final de calidad en un menor tiempo y costo.

El DAC es el uso de un amplio rango de herramientas computacionales que asisten a ingenieros, arquitectos y a otros profesionales del diseño en sus respectivas actividades.

Los usos de estas herramientas varían desde aplicaciones basadas en vectores, puntos, líneas, arcos, splines, superficies y sólidos para obtener un modelo, y sistemas de dibujo en 2 dimensiones (2D) hasta el modelado en 3 dimensiones (3D) a través de una interfaz gráfica. La base de datos asocia a cada entidad sus propiedades como color, capa, estilo de línea, nombre, definición geométrica, etc., que permiten manejar la información de forma lógica, asociando además otro tipo de propiedades como el costo, material, etc., lo que permite enlazar el diseño CAD a los sistemas de gestión y producción.

La figura 1 muestra los aspectos principales en Ingeniería Asistida por Computadora para el diseño de TCI.



Figura 1. Principales aspectos en el Diseño de una TCI.

4. Resultados y Discusión.

Con el uso del paquete de software seleccionado, se logra el rediseño y construcción de las siguientes TCI de los 4 sistemas de medición neutrónica:

Sistema de % de Potencia:

- 1 tarjeta de comparación.
- 1 tarjeta para el sistema de % de Potencia.

Sistema de Razón de Conteo:

- 1 tarjeta para el Transmisor.
- 1 tarjeta para el receptor.
- 2 tarjetas de comparación.

Sistema Lineal:

- 1 tarjeta para el Transmisor.
- 2 tarjetas de comparación.

Sistema Logaritmico:

- 1 tarjeta para el Transmisor.
- 2 tarjetas de comparación.

Estas TCI fueron probadas e instaladas en la consola de control del RTMIII, y se encuentran operando en forma satisfactoria.

Desde el punto de vista de ingeniería de diseño electrónico, es de vital importancia para el profesional en esta área estar actualizado en la tecnología y técnicas de diseño lo que es crucial para ser competitivos en la industria de hoy en día.

El uso de programas como el utilizado en el rediseño de las TCI de los sistemas del Reactor ayudan a proponer la realización de proyectos de diseño más complicados como el utilizar dispositivos actuales como FPGA's, permitiendo aprovechar todos los beneficios que estos dispositivos programables pueden ofrecer, abriendo la puerta a una nueva forma de diseño de alto impacto y de bajo costo, lo que permite que las partes inteligentes del diseño abarquen no únicamente el software en el sentido tradicional, sino los bloques alambrados en forma suave implementados dentro de un FPGA.

Cabe mencionar que la experiencia ganada en el diseño de las TCI de los sistemas de

medición neutrónica del RTMIII, sirvió para hacer eficiente el diseño y construcción de las TCI del proyecto de Servicio DI-03S, "*Actualización de la Estación Meteorológica de Laguna Verde*", (Sot: ININ. SC-035/07).

5. Conclusiones.

La utilización del software de Protel DXP 2004 en el rediseño de las nuevas TCI de los sistemas de medición neutrónica, ha permitido utilizar herramientas actualizadas para resolver problemas reales desde el diseño virtual en la PC. Con los diseños obtenidos se logró evitar principalmente problemas de diafonía y de EMI, que no sería sencillo resolver con el diseño tradicional. Podemos concluir que el valor agregado en el desarrollo de este proyecto es el aprendizaje logrado del software utilizado, lo que será de beneficio para el desarrollo de futuros proyectos más complicados de diseño electrónico, permitiendo entregar los productos finales en forma más eficiente y en menor tiempo.

6. Agradecimientos.

Agradecemos el apoyo incondicional que nos brindaron los operadores del RTMIII; a Paulino Rojas N., Simón Cárdenas M. y Miguel P. Salinas A. técnicos electrónicos del departamento de Automatización; y al Ing. Raúl Ramírez S. por la realización de la serigrafía de las cajas.

7. Referencias.

1. Nielsen D. L., 1970, GA-7275, "*Instruction Manual for the Torrey Pines TRIGA Reactors*".
2. González Marroquín J. L., 2005, Informe Técnico IT.AU-05-06, "*Normativa y Consideraciones para el Diseño de TCI*".
3. Torres Portero M., Torres Portero M. A., 2005, "*Diseño e ingeniería electrónica asistida con PROTEL DXP*", Alfaomega, Ra-Ma editores.
4. <http://www.altium.com/Home/>