

## **Diseño del HMI para la Operación de un Reactor Nuclear de Investigación**

***Francisco Javier Bucio Valdovinos, Lina Celis del Ángel Centeno, Javier C. Palacios Hernández***

*Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares*

*Carr. México-Toluca S/N. La Marquesa, Ocoyoacac. Estado de México. C.P. 52750  
francisco.bucio@inin.gob.mx; lina.celis@inin.gob.mx; javier.palacios@inin.gob.mx*

### ***Resumen***

El Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) participó en una licitación internacional publicada por el Servicio Geológico Colombiano para realizar la modernización de su Consola de Control del Reactor Nuclear IAN-R1, las instituciones participantes fueron, General Atomics (Estados Unidos de América), INVAP (Argentina) y el ININ (México). La propuesta hecha por el ININ, tuvo una característica importante, la independencia del fabricante, dada que era un proyecto basado en elementos modulares. Uno de los elementos fue el HMI (Human-Machine Interface), donde se propuso el desarrollo bajo el esquema "Software Libre (GNU-GPL)". Java fue el lenguaje de programación sobre la que fue desarrollado el HMI para operar el reactor nuclear en Bogotá, Colombia. La instrumentación que permite la interacción con los sensores y/o actuadores está basado en el uso de PLCs (Controladores Lógicos Programables, por sus siglas en inglés) con los cuales las computadoras del HMI se comunican a través de una red local haciendo uso del protocolo Modbus sobre Ethernet.

### **1. INTRODUCCIÓN**

En el año 2012 el ININ participó en la licitación internacional para desarrollar el proyecto de modernizar la Consola de Control (y su Instrumentación) del Reactor Colombiano IAN-R1 perteneciente al entonces INGEOMINAS (actualmente, Servicio Geológico Colombiano) en la ciudad de Bogotá, Colombia. Los países que participaron en la licitación fueron: Estados Unidos, Argentina y México. Las tres propuestas incluían el uso de equipo digital. Sin embargo, la propuesta de México fue la ganadora, ya que desarrollaría el proyecto de modernización realizando la transferencia tecnológica de todo el proyecto y con ello Ingeominas contara con la independencia del fabricante.

El HMI como parte de la propuesta que incluía la transferencia tecnológica fue entregar el 100% de código generado para esta tarea, por lo que se propuso el desarrollo bajo el esquema GNU-GPL, y entre otros lenguajes se propuso el uso de Java (Java SE), dada su característica multiplataforma o WORA (Write Once Run Anywhere). Para el desarrollo del HMI, Java como tal no era capaz de cubrir el 100% de los elementos requeridos, por lo que se utilizaron librerías Java de terceros bajo el mismo esquema GNU-GPL para la generación de reportes y la manipulación del protocolo Modbus. Por otro lado, un requerimiento solicitado fue almacenar los últimos 5 minutos de operación del reactor previo a un SCRAM para un posterior análisis, por lo que se hizo uso de un

DBMS (Sistema Administrador de Bases de Datos), y el servidor de bases datos utilizado fue MySQL Server.

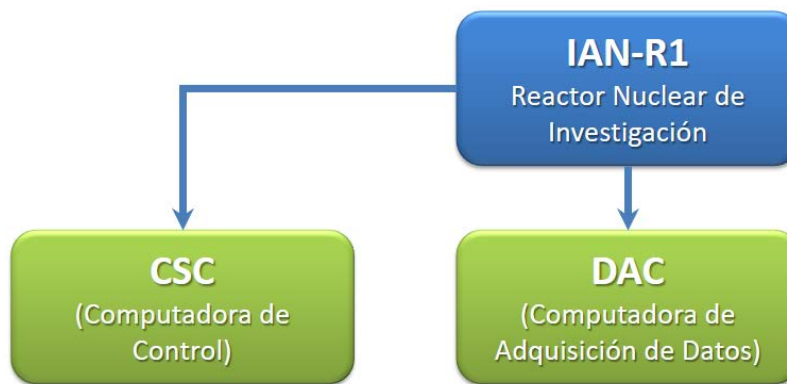
El uso de las herramientas de desarrollo basados en *software libre* eliminó la adquisición (compra) de licencias, y como parte de los lineamientos es la entrega del código fuente junto a la aplicación desarrollada. Y con ello lo anterior se cumplió como parte de la transferencia tecnológica.

## 2. ARQUITECTURA DE FUNCIONAMIENTO

En el apartado 2.1 se describirá brevemente la arquitectura y funcionamiento de la consola anterior, mientras que en la sección 2.2 se describe la arquitectura de la nueva consola (arquitectura modular).

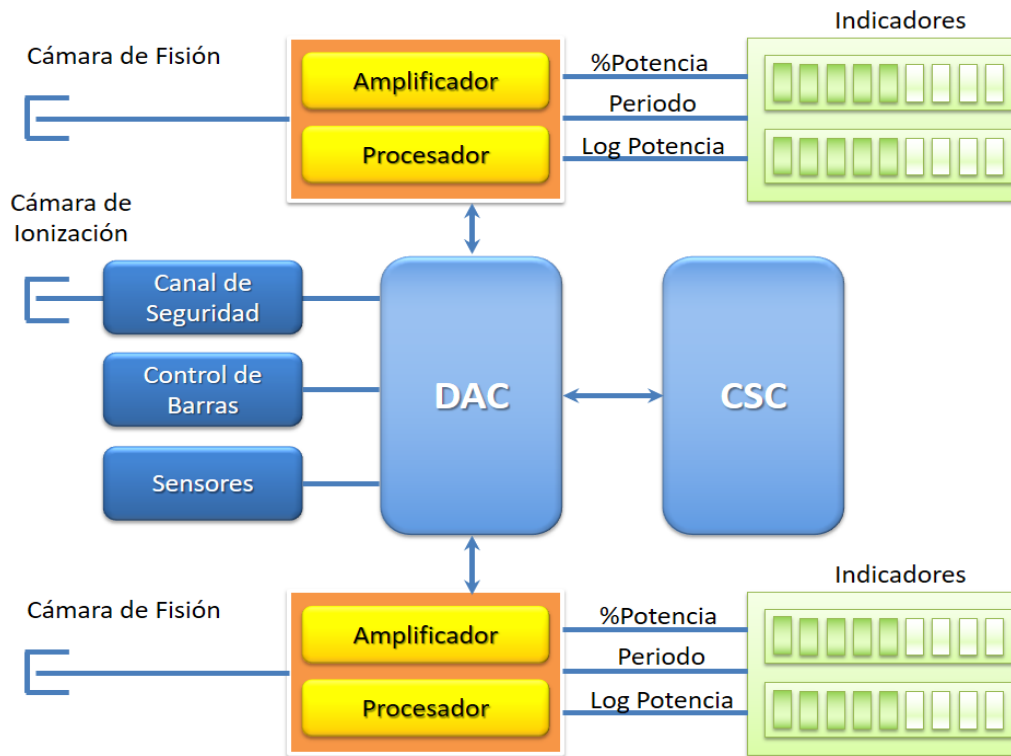
### 2.1. Arquitectura de la Consola Anterior

La arquitectura estaba basada principalmente en el uso de 2 computadoras encargadas del control y adquisición de datos conectados a dos canales nucleares. En la figura 1 se muestra la arquitectura general.



**Figura 1. Arquitectura General de la Consola Anterior.**

Dando una visión más detallada de la arquitectura anterior, se puede apreciar que la arquitectura cuenta con dos canales nucleares (de General Atomics, Modelo NM-1000), a través de los cuales obtenemos información como lo es, Porcentaje de Potencia, Periodo, así como el logaritmo de potencia. Estos canales se encuentran conectados a la computadora de Adquisición de Datos; a esta misma computadora se encuentran enlazados la Computadora de Control, así como el canal de seguridad, el sistema de control de barras y los diferentes sensores asociados. En la computadora de control se encuentran conectados los interruptores (switches) de las barras de control, los interruptores de modos de operación, una impresora y los monitores de texto y gráfico. La figura 2 muestra gráficamente la arquitectura a mayor detalle de los diferentes elementos que la conforman.



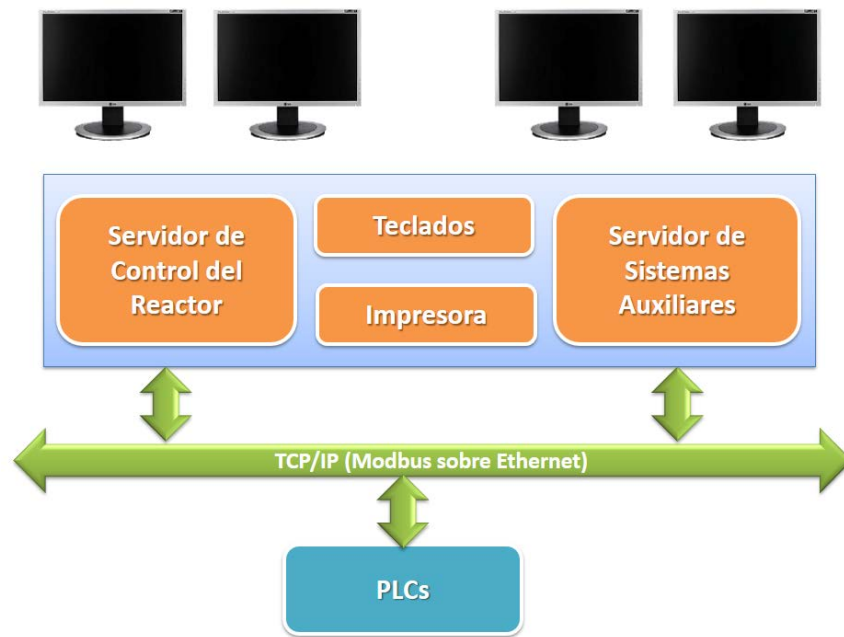
**Figura 2. Arquitectura detallada de la Consola Anterior.**

## 2.2. Arquitectura de la Nueva Consola

La nueva consola de control trabaja sobre una comunicación de red de área local privada (sin ningún otro enlace externo) Ethernet. Los PLCs utilizados utilizan un protocolo industrial embebido en Ethernet llamado Modbus, por lo que la comunicación digital entre los PLCs y los servidores utilizan Modbus sobre Ethernet y con ello le da mayor robustez y confiabilidad al proceso.

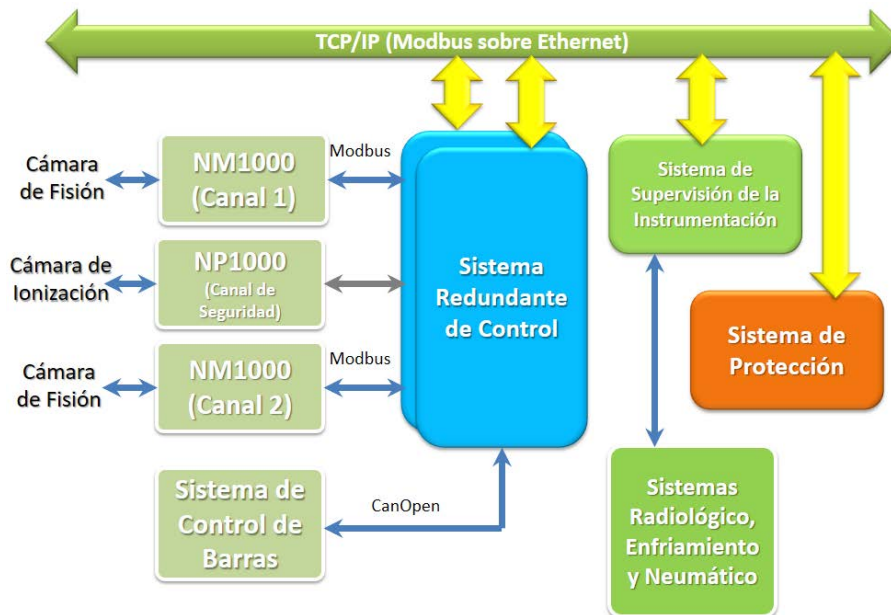
La arquitectura hace uso de 2 servidores, uno llamado Servidor de Control, el cual está encargado de monitorear toda la instrumentación relacionada con la operación del reactor (Indicadores de SCRAM, Indicadores de Interbloqueos, Canales Nucleares, Indicadores de Posición de Barras, Modos de Operación y Bitácora Digital); el otro servidor es llamado Servidor de Sistemas Auxiliares, y está encargado de monitorear el Sistema de Monitoreo de Área del Reactor, los Sistemas de Enfriamiento Primario y Secundario.

La figura 3 visualiza que todos los sistemas (Servidores y PLCs) se encuentran conectados físicamente a una red LAN privada.



**Figura 3. Arquitectura de Comunicación General.**

El proyecto de modernización de la consola de control comprendió del uso de varios PLCs para: el Sistema Redundante de Control (2 PLCs), el Sistema de Supervisión de la Instrumentación (1 PLC) y el Sistema de Protección (1 PLC, solo para digitalizar la información). La figura 4 muestra gráficamente la arquitectura de comunicación de los PLCs.



**Figura 4. Arquitectura de Comunicación de los PLCs.**

### 3. EL HMI DE LA NUEVA CONSOLA DE CONTROL

Como se ha mencionado anteriormente, el HMI en su totalidad fue desarrollado en Java (Java SE) haciendo uso de un servidor de bases de datos (MySQL Server). Algunas de las características son,

- *Control de Acceso.* El HMI cuenta con el control de acceso previo al inicio de una operación. El usuario deberá autenticarse previamente a través de una cuenta de usuario basado en perfiles de acceso, contando con 3 perfiles de acceso (Operador, Supervisor y Administrador).
- *Bitácora Electrónica.* Cuenta con una bitácora electrónica que va almacenando todo movimiento realizado antes, durante y después de una operación del reactor. Además, del registro de texto escrito por el usuario.
- *Generación de Reportes.* Cuenta con la capacidad de generar 3 tipo de reportes:
  - ✓ *Pre-Test.*
  - ✓ *Administración de Usuarios.*
  - ✓ *Consulta de Eventos*
- *Respaldo de 5 minutos de operación previos a un scram.* Almacenará en la base de datos toda la información durante la operación del reactor. Lo anterior con la finalidad de poder contar con un seguimiento de la operación realizada cuando se presenta un scram y con ello realizar futuros análisis.

#### 3.1. Pantalla de Control del Reactor

En la figura 5 se muestra la pantalla de donde el operador cuenta con la información como lo son, los indicadores de la posición de barras, los indicadores de SCRAM, los indicadores de interbloqueo, los modos de operación (manual y automático) y finalmente una gráfica para el despliegue de la Potencia Lineal (en Kilowatts) con el histórico inmediato de hasta 1 minuto.



Figura 5. Pantalla de Control del Reactor.

### 3.2. Pantalla de los Canales Nucleares

La figura 6 muestra la información de los canales nucleares (ambos canales nucleares NM-1000) y un canal NPP-1000, así como la gráfica del porcentaje de potencia. Finalmente (abajo a la derecha) el despliegue de la bitácora electrónica que irá registrando en el sistema todo evento realizado durante la operación del reactor.

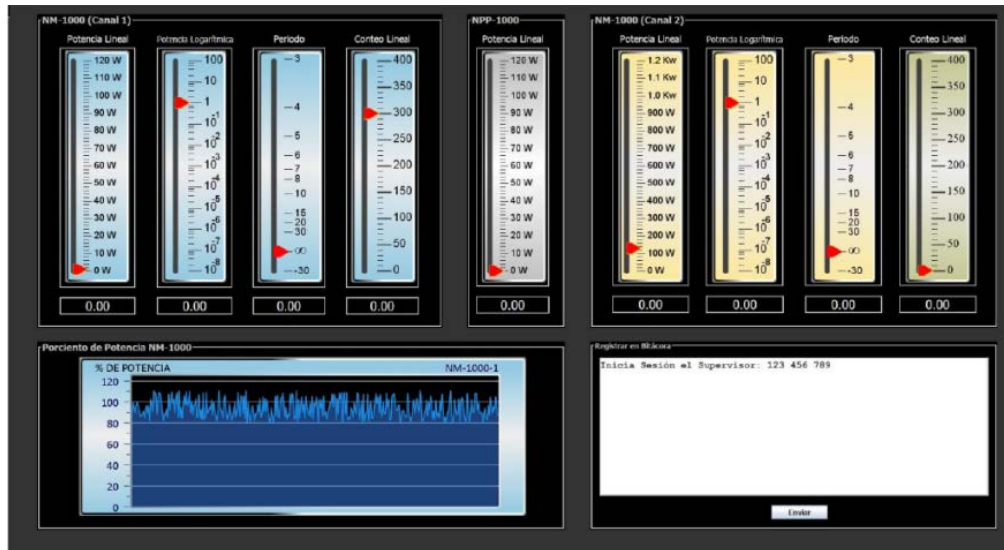


Figura 6. Despliegue de la información de los Canales Nucleares.

### 3.3. Pantalla para el monitoreo radiológico de Área

La pantalla dedicada al monitoreo de la información radiológica de Área se muestra en la figura 7, donde se cuenta con 6 detectores ubicados estratégicamente y sus ubicaciones son: Sala de Control, Boca de Piscina, Procesamiento, Haces Norte, Haces Sur y área de Decaimiento. Cada indicador muestra la lectura actual obtenida, además (de acuerdo a una configuración de rangos previo) el HMI podrá indicar visualmente cuando las lecturas de cada detector se encuentren en lectura Normal, Alarma o Alerta.

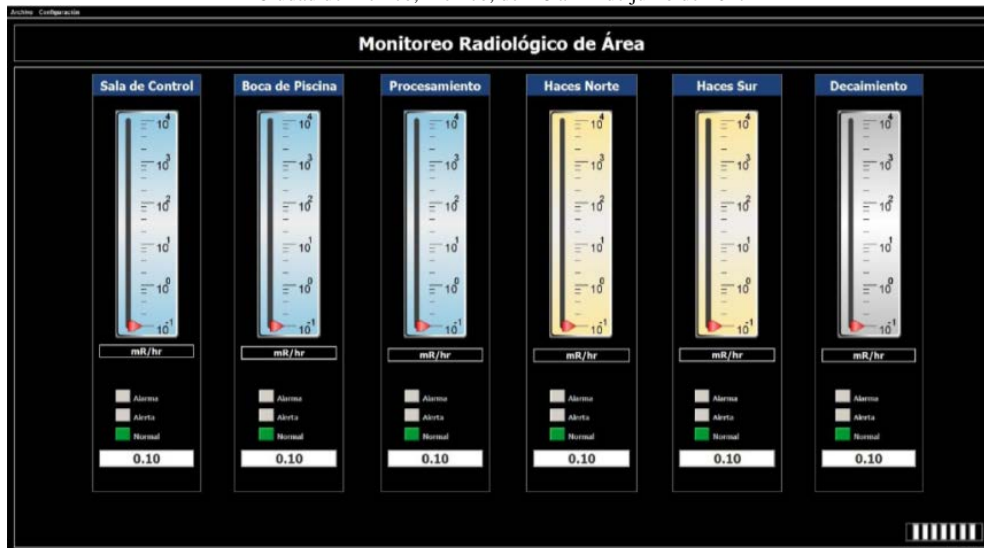


Figura 7. Monitoreo Radiológico de Área.

### 3.4. Pantalla para el monitoreo de los Sistemas Auxiliares

Finalmente en la figura 8 se encuentra la información dedicada al monitoreo de los sistemas auxiliares (Sistema de Enfriamiento Primario y Secundario); como información adicional se muestra la corriente administrada a los magnetos de cada una de las 3 barras de control, y por último (abajo a la derecha) se encuentra el sistema neumático de inserción y extracción de muestras.

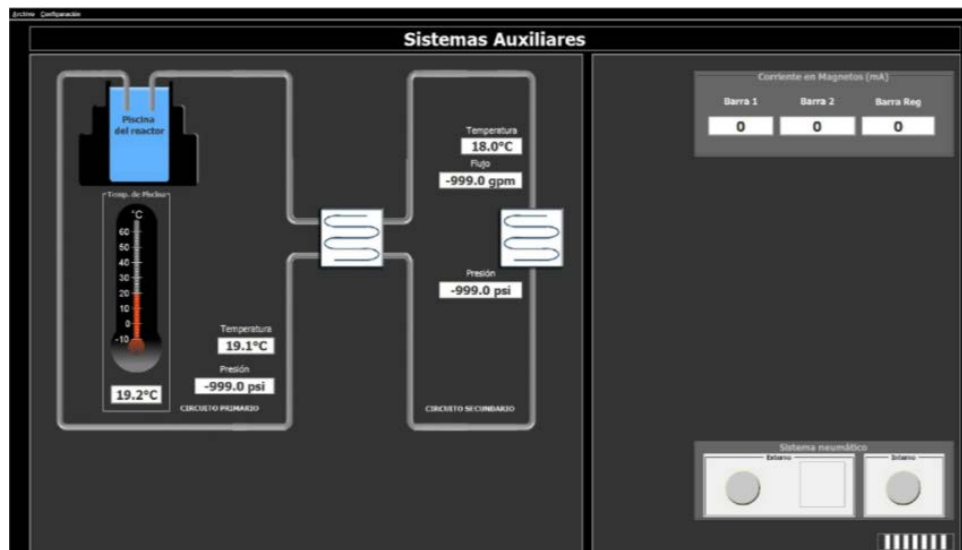


Figura 8. Monitoreo de los Sistemas Auxiliares.

### 3.5. Generación de Reportes

### 3.5.1. Pre-Test

Previo a una operación del reactor, se debe realizar la ejecución de un Pre-Test, que no es más que asegurarse que toda la instrumentación se encuentra en perfecto funcionamiento, y como resultado de dicha prueba, se obtiene un reporte generado que indica los elementos que fueron probados y si pasó o no la prueba. En la figura 9 se muestra el reporte generado para este fin.

Reporte de Consulta de la Bitácora

SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO  
República de Colombia  
Utrix y Ods

Fecha: 01/10/2011

**REPORTE DE PRE-ARRANQUE**

NM1000 CANAL 1		NM1000 CANAL 2	
Prueba de Control Medio:	OK	Prueba de Control Medio:	OK
Prueba de Control Alto:	OK	Prueba de Control Alto:	OK
Prueba de Campbell Bajo:	OK	Prueba de Campbell Bajo:	OK
Prueba de Campbell Alto:	OK	Prueba de Campbell Alto:	OK
Prueba de Modo Normal:	OK	Prueba de Modo Normal:	OK

NP1000		PRUEBA DE LOS WATCHDOG	
Prueba de 100% de Potencia:	OK	Prueba de Watchdog SRC:	OK
		Prueba de Watchdog SSR:	OK

FIRMAS

\_\_\_\_\_  
Supervisor

\_\_\_\_\_  
Operador

4:51 PM

Página 1 de 1

**Figura 9. Reporte Generado del Pre-Test**

### 3.5.1. Reporte a la Bitácora Electrónica

Cuando se desea generar un reporte de la bitácora electrónica, el HMI solicitará una fecha inicial y una fecha final de consulta y en base a dichos parámetros proporcionados, se generará el reporte que contendrá toda la información almacenada en la bitácora. en la figura 10 se muestra un ejemplo de reporte generado en el HMI que contiene la consulta a la bitácora.



Reporte de Consulta de la Bitácora

SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO  
 República de Colombia

Fecha: 01/10/2012

Periodo de Consulta  
 Fecha Inicial: 01/10/2012  
 Fecha Final: 01/10/2012

CONSULTA DE BITÁCORA

Fecha	Hora	Mensaje	Evento	Usuario
01/10/2012	09:28:09	Inicio de Pruebas del INMNSCO Canal 1	Sistema	7435921
01/10/2012	09:28:13	Screen por PERIODO del Canal INMNSCO-1	SCRAM	7435921
01/10/2012	09:28:29	Screen por ALTA POTENCIA y/o ALTO VOLTAJE del Canal INMNSCO-1	SCRAM	7435921
01/10/2012	09:28:29	Screen por ALTA POTENCIA y/o ALTO VOLTAJE del Canal INMNSCO-1	SCRAM	7435921
01/10/2012	09:28:42	Screen por PERIODO del Canal INMNSCO-1	SCRAM	7435921
01/10/2012	09:28:45	Inicio de Pruebas del INMNSCO Canal 2	Sistema	7435921
01/10/2012	09:28:51	Screen por ALTA POTENCIA y/o ALTO VOLTAJE del Canal INMNSCO-2	SCRAM	7435921
01/10/2012	09:28:51	Screen por ALTA POTENCIA y/o ALTO VOLTAJE del Canal INMNSCO-2	SCRAM	7435921
01/10/2012	09:29:21	Screen por PERIODO del Canal INMNSCO-2	SCRAM	7435921
01/10/2012	09:29:35	Screen por ALTA POTENCIA y/o ALTO VOLTAJE del Canal INMNSCO-2	SCRAM	7435921
01/10/2012	09:29:52	Screen por ALTA POTENCIA y/o ALTO VOLTAJE del Canal INMNSCO-2	SCRAM	7435921
01/10/2012	09:29:58	Screen por FALLA DEL WATCHDOG SRC	SCRAM	7435921
01/10/2012	09:29:59	Screen por ALTA POTENCIA del Canal INMNSCO-2	SCRAM	7435921

05:00 PM Página 1 de 21

**Figura 10. Reporte de Consulta a la Bitácora Electrónica del HMI.**

#### 4. CONCLUSIONES

Se cuenta con un HMI robusto para la operación del reactor IAN-R1 desarrollado para el Servicio Geológico Colombiano, mismo que se encuentra en operación desde septiembre del año 2012.

#### REFERENCIAS

1. International Atomic Energy Agency. *“NS-R-4: Safety of Research Reactors*. IAEA, Vienna (2005).
2. Ben Shneiderman, Catherine Plaisant, *Diseño de Interfaces de Usuario*, Editorial Pearson Educación, Madrid, España (2005).