



Comité Nacional Paraguayo  
VII SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO  
25, 26 y 27 DE OCTUBRE DE 2006



Unión de Ingenieros de la ANDE  
VI SEMINARIO TÉCNICO – U.I.A

**VII/CE-B5-04**

## **SISTEMA DE ANALISIS DE ALARMAS EN PERTURBACIONES EN LA UHE DE ITAIPU**

**VICTOR ANDRES GONZÁLEZ ALVAREZ/FELICIANO SANCHEZ MIRANDA**

**ITAIPU BINACIONAL**

**PARAGUAY**

### **RESUMEN**

Con el advenimiento de la implantación del sistema SCADA/EMS en Itaipu, donde la Operación participó activamente en el proceso, adquiriendo el conocimiento necesario para la realización de un sistema especialista, utilizando las funcionalidades disponibilizadas por el sistema digital, con la participación activa de los profesionales de operación, fue estructurado convenientemente, en el ambiente SCADA, las lógicas que formarían parte del esquema de protecciones, basado en los propios diagramas esquemáticos, en las instrucciones de operación y en el sistema de adquisición de datos, de forma a obtener un sistema que pueda dar auxilio en las decisiones de tiempo real con rapidez suficiente para interactuar con el operador y le auxilie en los análisis de lo ocurrido en una perturbación, actuando como filtro y solamente presentando el “camino” del “trip”, desde el dispositivo primario al bloqueo operado, presentando las consecuencias de la actuación de ese bloqueo.

En este trabajo, presentaremos la metodología utilizada y ejemplificaremos la potencialidad de este recurso.

Botones específicos, localizados en áreas estratégicas de las propias pantallas de las interfaces hombre – máquina en los monitores de supervisión, son activados automáticamente utilizando recursos de vídeo, siempre que alguna protección opere en el sistema supervisorio, sumados a la estructura lógica del sector donde se originó la falla, con la consecuente operación de la protección y sus derivaciones.

En general, serán presentados los recursos del sistema SCADA para la creación de este sistema especialista, que vino a auxiliar en gran medida a los operadores de tiempo real de la Usina Hidroeléctrica, sabiendo que una de las funciones críticas desempeñadas por ellos es la de identificar de forma precisa las causas de las perturbaciones y restablecer el sistema de modo rápido y eficiente, con base, fundamentalmente, en las informaciones de las alarmas actuados en los diversos anunciadores.

Utilizando para el desenvolvimiento el propio banco de datos adquiridos del sistema digital SCADA y con una conveniente estructuración previa, sea utilizando diagramas unifilares o diagramas de bloques, conseguimos representar el circuito de supervisión lo más fiel posible para facilitar el análisis.

En condiciones de perturbaciones de gran porte, en el listado de alarmas tradicional, puede llegar a accionar hasta mas de 200 alarmas, en el transcurrir del tiempo, listados en páginas de unos 25 ítems cada, alcanzando fácilmente casi 10 páginas, lo que lo torna confuso y con este sistema

Victor A Gonzalez Alvarez e-mail: [divag@itaipu.gov.py](mailto:divag@itaipu.gov.py)

Feliciano Sanchez Miranda E-mail: [sanchez@itaipu.gov.py](mailto:sanchez@itaipu.gov.py)

implementado, la identificación se reduce a apenas unas tres paginas estructuradas especialmente que apenas al toque del clic del mouse se llega a identificar el problema, tornándolo rápido y eficiente, identificando el equipo afectado o los relés de protección que actuaron, esto proporciona a la operación mas seguridad de decisión y agiliza la recomposición de la instalación, quedando el esquema convencional de alarmas que accionaron como consulta pos perturbación, para un análisis mas detallado y para la confección de relatórios.

## **PALABRAS-CLAVES**

ITAIPU, Usina hidroeléctrica, Operación, Scada, Automatización

### **1.0 - INTRODUCCION**

Los SE son también conocidos por sistemas cognitivos, y la tecnología utilizada para su desenvolvimiento, llamada de ingeniería del conocimiento.

Jacques Quibel (1989) inicia su definición de la ingeniería del conocimiento por definición de la propia palabra ingeniería: "La ingeniería comporta los métodos para estudio de un proyecto y realización de un trabajo complejo por equipos diversos, de especialidades complementarias." A partir de allí él continúa que "desenvolver un SE y aplicar una "ingeniería" del conocimiento: la construcción de una informática lógica, refiere-se a hechos e ideas y la capacidad de tratarlos, los cuales recibirá del exterior, para deducir un diagnóstico, una precognición, o, de hecho, una decisión"

#### **1.1- El Origen de los Sistemas Especialistas**

Los SE, también llamados de sistemas cognitivos, pues su tecnología es referenciada como "ingeniería del conocimiento", tiene su origen en el final de la Segunda Gran Guerra. En esa época, grupos independientes de cientistas ingleses y norteamericanos trabajaban en una máquina electrónica que si se pudiese conducir por un programa almacenado de instrucciones y fuese hecha para ejecutar cálculos numéricos complejos, lo que hoy se llamaría computador.

Los ingleses argumentaban que esta máquina debería responder a operadores lógicos, tales como "y", "o" y "no". A partir de allí se podría montar operadores numéricos más especializados, necesarios para las operaciones matemáticas. Además de eso, esos operadores lógicos serían capaces de manipular cualquier tipo de material simbólico, incluyendo afirmaciones en lenguaje ordinario.

Los científicos americanos sabían que el costo de esas máquinas sería muy alto, y, con la certeza de que esta máquina, solo sería usada para cálculos numéricos, decidieron usar operadores numéricos, como "+", "-" y ">". Luego los ingleses siguieron esta decisión, lo que resultó en poderosas máquinas de calcular.

No obstante, un pequeño grupo de científicos continuó a explorar la capacidad de que los computadores manipulen símbolos no-numéricos. Simultáneamente, psicólogos interesados en resolución de problemas por el hombre, buscaban desenvolver programas de computador que simulasen el comportamiento humano. Esos individuos, interesados tanto en el procesamiento simbólico cuanto en la resolución de problemas por el hombre, formaron una subdivisión de la informática que se llama Inteligencia Artificial(IA)

Hace cerca de 25 años, algunas corporaciones ya imaginaban que algunos resultados obtenidos de la pesquisa de laboratorio de IA podrían ser útiles en el área comercial. En general sus esfuerzos fracasaron, pues los programas de IA costaban muy caro y eran demasiados complejos para rodar en las computadoras que existían hasta entonces. Con todo los pesquizadores continuaron firmes en sus estudios teóricos, encuanto el desenvolvimiento de la microelectrónica creó una nueva generación de computadoras, más rápidos, potentes y baratos. Victor A Gonzalez Alvarez – Técnico Especializado en Operación de Usina Hidroeléctrica

Se dividió la IA en tres áreas de pesquisa relativamente independientes. Un grupo de pesquizadores se preocupó en desenvolver programas de computadora que lean, hablen o entiendan el lenguaje que las personas usan en su conversación diaria. Este tipo de programación es designado como "procesamiento del lenguaje natural". Otro grupo se ocupó con el "desenvolvimiento de robot inteligentes". Se interesaron especialmente en como desenvolver programas visuales y fáciles, que permitan al robot observar las continuas alteraciones que suceden cuando circulan en un ambiente. Un tercer tramo de pesquisa se ocupó en desenvolver programas que usan el conocimiento simbólico para simular el comportamiento de los especialistas humanos. La intención es justamente desenvolver programas que posibiliten la utilización de los conocimientos de los especialistas a través de una máquina que permita el almacenamiento secuencial de informaciones y el auto-aprendizaje. Es en este último que se encierran los S.E.

La confiabilidad del software es un importante factor para el emprendimiento. La posibilidad de exámen del montaje de las reglas generadoras de una conclusión, permite encontrar las inferencias inductivas y sus justificaciones. Cuando una persona hace el mismo trabajo intelectual, mismo que tenga una pericia y un cierto grado de inteligencia, puede que se distraiga y cometa un error. Si el software comete una falla, esta puede ser concertada, pues fue introducida durante la concepción y así la validación no es hecha correctamente y el resultado no es presentado. El es generalmente más fidedigno que el hombre. El no sufre, como la mente humana, la influencia de la psiquis, de las condiciones externas, de la fatiga.

## **2.0 - Usina Hidroeléctrica de Itaipu**

La Usina Hidroeléctrica de Itaipu es un proyecto Binacional desenvolvido por el Brasil y por Paraguay en el rio Paraná. La planta tiene 20 unidades generadoras de 700 MW cada una. Dieciocho unidades entraron en operación en el período de 1984 a 1991, mas una unidad entró en operación en 2006 y la última unidad se encuentra en fase de montaje con previsión de entrada en operación en Diciembre de este año.

La Usina produce anualmente mas de 90 billones de kWh, surtiendo 95% da energía consumida en el Paraguay y más del 20% de la energía para el sistema eléctrico Brasileño, lo que lleva a la Usina a tener un alto grado de importancia para el sistema paraguayo y brasileño.

## **3.0– Sistema Scada/EMS**

El sistema SCADA/EMS de la Itaipu Binacional, recientemente implantada, está compuesto por 62 unidades terminales remotas (RTU), mas de 19.000 puntos de adquisición distribuidos en los 750 cuadros existentes en la usina. Luego de esta implantación, la usina está siendo supervisada y comandada a través de cinco consolas en la Sala de Control Central y despachada a través de dos consolas en la Sala de Despacho. Otras doce consolas fueron disponibilizadas para actividades de desenvolvimento, adiestramiento y actividades operativas que no sean de tiempo real.

También cuenta con once aplicativos inseridos en ambiente computacional del Sistema de Gerenciamiento de Energía (EMS) Actividades, como el control automático de generación y tensión, el monitoreo de la reserva girante, estimador de estado y el monitoreo del sistema hidráulico, están contenidas en estos once aplicativos inseridos en el EMS.

## **4.0– EL SISTEMA ESPECIALISTA DE ALARMAS**

### **Porqué fue necesario**

En Itaipu, además de contar con los sistemas tradicionales de protección, para las unidades generadoras, transformadores, líneas de transmisión, barras, etc. tenemos los esquemas adicionales de protección en el sector de 50 Hz y en el sector de 60 Hz, llamados ECE, esquemas de corte de emergencia.

En el sector de 50 Hz, donde la Itaipu se encuentra interligada al sistema brasileño y paraguayo, el esquema de control de emergencia tiene por objetivo minimizar los efectos de perturbaciones en el sistema tales como:

- Bloqueo de polos y/o bipolos;
- Pérdida de filtros del Sistema de Corriente Continua (CC);
- Sobrecarga en líneas de 500 kV;
- Pérdida de unidades en Itaipu;

Algunas de las acciones ejecutadas son:

- Desconexión de unidad generadora de Itaipu 50Hz;
- Abertura de la interconexión Itaipu/Ande;
- Desconexión de carga en la Ande;
- Separación de unidad de Itaipu 50Hz para ANDE;
- Desconexión de línea de 500Kv
- Desconexión de convertidores o filtros del sistema CC;

Estos esquemas visan evitar las siguientes consecuencias:

- Autoexcitación en las unidades generadoras de Itaipu 50 Hz y/o de Acaray,
- Sobrecarga en los transformadores de la SEMD;
- Sobrecarga en línea de 500kV;
- Sobrefrecuencia; y
- Colapso del sistema de 50 Hz.

En el sector de 60 Hz, el Esquema de Control de Emergencia del sistema de 765 kV tiene por finalidad maximizar la transferencia de potencia de ITAIPU 60 Hz para el sistema Sur/Sudeste del Brasil, minimizar los efectos de la perturbación y evitar actuación del Esquema Regional de Alivio de Carga (ERAC) del sistema Sur/Sudeste.

El esquema evita, durante las contingencias de líneas y/o transformadores del tronco de 765 kV, la ocurrencia de cualquiera de las siguientes condiciones:

- Auto-excitación en las unidades generadoras de ITAIPU 60 Hz;
- Abertura de la interligación ITAIPU/FURNAS 60Hz;
- Abertura de la interligación Sur/Sudeste en 765kV;
- Sobretensiones sustentadas en el Sistema de 765 kV;
- Sobrecarga en los transformadores del sistema;
- Sobrefrecuencia y bloqueo de las usinas térmicas de la región Sur; y
- Colapso de tensión del sistema de 60 Hz.

El esquema está compuesto por 17 lógicas, retirando de operación unidades generadoras de ITAIPU 60Hz, líneas de 765 Kv en Itaipu o reactores maniobrables de la SE-Ivaiporá de FURNAS, cuando ocurren los siguientes eventos:

- Contingencia simple o dupla de circuitos de 765 kV;
- Sobrecarga en transformadores del tronco de 765 kV;
- Subtensión en las barras de la SE-Ivaiporá 765 kV;
- Actuación del limitador de máxima corriente de campo de las unidades de ITAIPU;

Todas estas lógicas implementadas junto a todas las alarmas accionados en el sistema SCADA en una perturbación, muchas veces, provoca desconf y “estrés” a los operadores de tiempo real.

Como ejemplo, en perturbaciones de gran porte, en la lista de alarmas del SCADA, puede llegar a accionar hasta mas de 250 alarmas en un lapso corto de tiempo, presentados en pantalla como páginas de unos 25 ítems cada, alcanzando fácilmente unas 10 páginas. Con este sistema implantado, la identificación se reduce a apenas tres páginas estructuradas y, especialmente, con apenas el clic del mouse se llega a identificar el problema, tornándolo rápido y eficiente, cuanto a la identificación del equipo afectado o de los relés de protección que actuaron, proporcionando al operador una mayor seguridad en la decisión y agilizando la recomposición de la instalación, quedando el esquema convencional de alarmas que accionaron como consulta pos perturbación, para un análisis más detallado y para la confección de relatórios.

## 5.0- LA REVISIÓN DEL PROCESO

Todos los recursos disponibles fueron explorados para desenvolver un entendimiento inicial del proceso. Esto incluyó un análisis detallado de todos los ítems, revisión de documentaciones, diagramas esquemáticos de las protecciones, manuales de operación, reglas, etc.

Fueron levantados todas las variables que actúan en el sistema de protección de la planta.

Luego de analizado y levantado todos los puntos que provocan disparos en los equipos, las mismas fueron subdivididos en tres sectores.

### 5.1 - Sector 50 Hz

Subdividido por áreas específicas como:

- Unidades generadoras 01 a 9A;
- Líneas de transmisión 500kV MD1/2 y FI1/2;
- Barras de interconexión A1/2 a B1/2 Protecciones primarias y alternadas
- Acoplamiento de barras

### 5.2 - Sector 60 Hz

Subdividido por áreas específicas como:

- Unidades generadoras 10 a 18A;
- Líneas de Transmisión 500kV FI1 a FI4;
- Barras de interconexión A3/4 y B3/4;
- Protecciones primarias y alternadas;
- Acoplamiento de barras;

### 5.3 – SEMD (Subestación Margen Derecha)

- Líneas de transmisión 500 kV;
- Líneas de transmisión 220 kV;
- Líneas de transmisión 66 kV;
- Transformadores T01 a T04;
- Reguladores R01 a R04; y
- Esquema de aislación forzada por FIP.

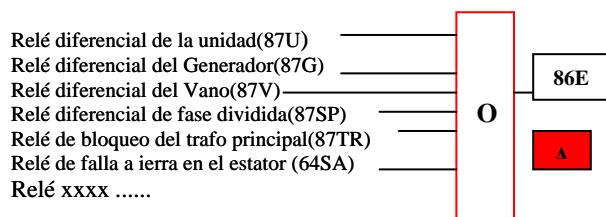
Tales clasificaciones permitieron una rápida identificación del problema y el origen del mismo.

#### 5.1.1- Esquema de protección para Unidades Generadoras 50 Hz:

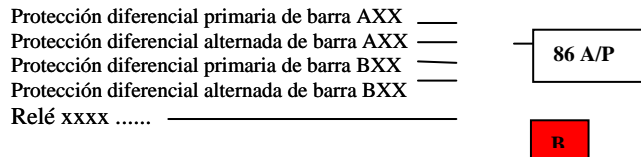
Fueron relacionados en telas específicas de IHM todos los puntos que ocasionan disparo de las unidades generadoras a través de los bloqueos 86E, 86M, 86N, 05, 05 A y 05B.

Cualquier punto que actúe, activa la lógica de bloqueo específico y un punto lógico es activado, pasando de la posición “0” para “1”, ocasionando la activación del botón específico de la unidad, donde ocurrió la falla y la operación del bloqueo.

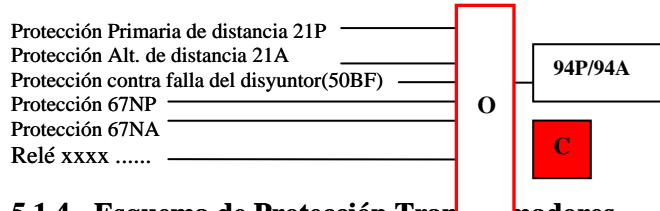
Ejemplo:



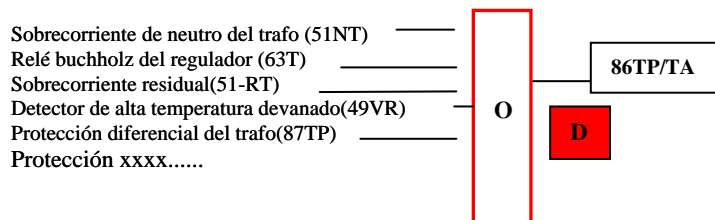
#### 5.1.2 – Esquema barras de interconexión



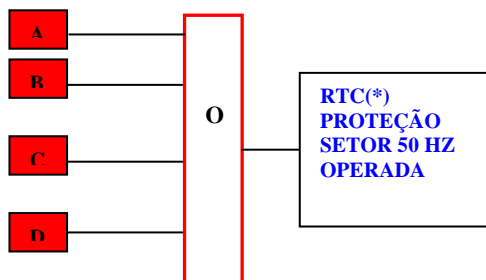
### 5.1.3 – Esquema líneas de transmisión



### 5.1.4 - Esquema de Protección Transformadores



### 5.1.5 - Relacionamiento por RTC



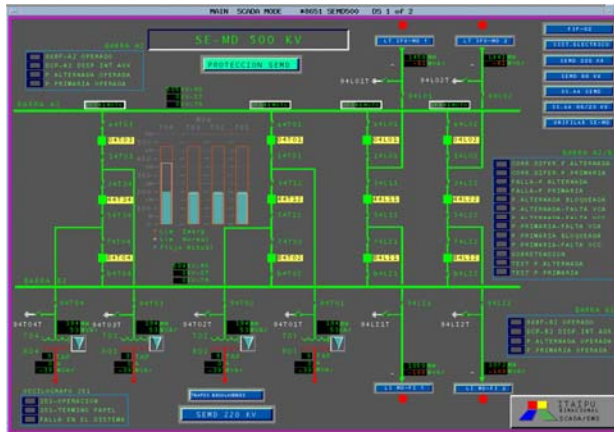
## 6.0– LA FUNCION RTC

RTC – Son puntos calculados de tiempo real creados a partir de fórmulas, para lo cual se utiliza lenguaje de programación, utilizando operadores lógicos AND, OR, NOT, etc., para el relacionamiento de las variables, obteniéndose una nueva variable.

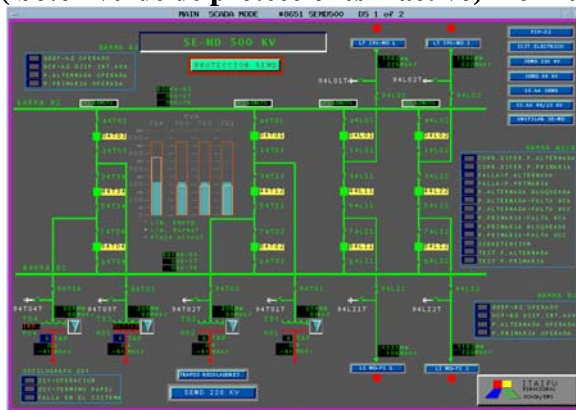
Estos RTC's creados, pasan a formar parte del banco de datos(BD) del SCADA.

Luego, los puntos calculados, resultados de lógicas implementadas a través de esta función, son utilizados en las pantallas del IHM en forma gráfica, donde con recursos de vídeo, a través de dinamismo por colores, botones son destacados, caso un punto calculado específico sea accionado en un determinado sector por operación de la protección.

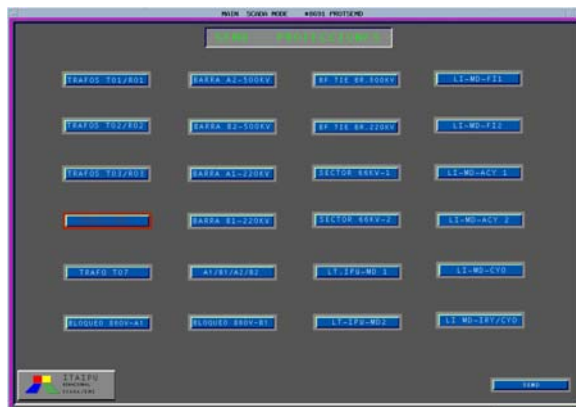
La presentación final en un proceso quedó así:



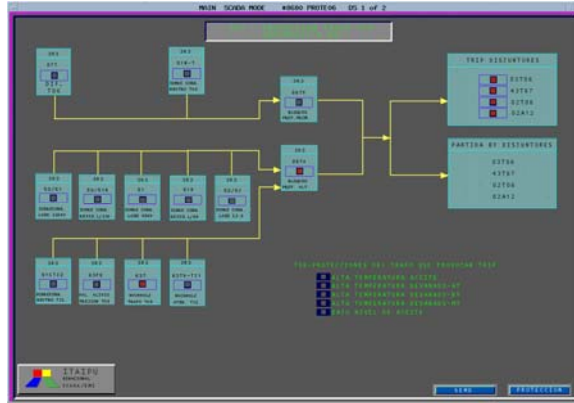
**Fig. 1 – Pantalla principal del sector SEMD (botón verde de protecciones inactivo)- normal**



**Fig.2 - Pantalla con activación del botón de protección del sector**



**Fig. 3 – Pantalla de protecciones del sector donde hubo la falla**



**Fig.4 – Pantalla de las protecciones del equipo**

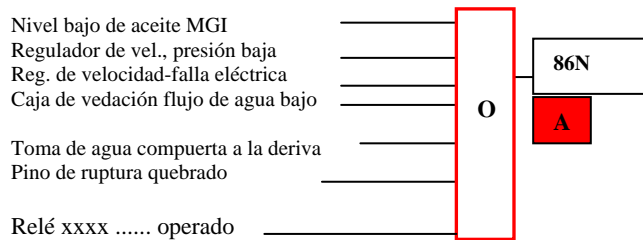
La Fig. 4 muestra el dispositivo primario operado, el bloqueo actuado y los interruptores disparados.

## 7.0 - SECTOR 60 Hz

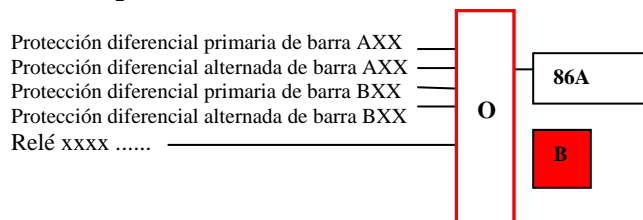
Subdividido por áreas específicas como:

- Unidades generadoras 10 a 18A;
- Líneas de Transmisión 500kV FI1 A FI4;
- Barras de interconexión A3 a A4 Protecciones primarias y alternadas;
- Acoplamiento de barras;

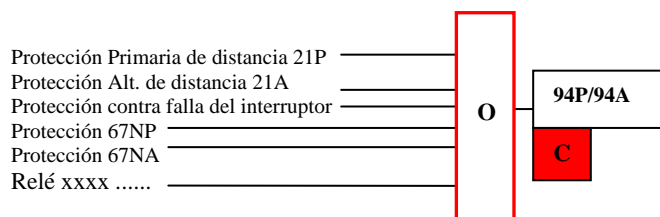
### 7.1- Esquema de protecciones de las unidades generadoras 60Hz



### 7.2 – Esquema de Barras de Interconexión

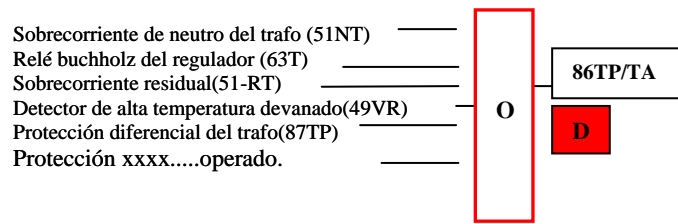


### 7.3 – Esquema de Líneas de transmisión

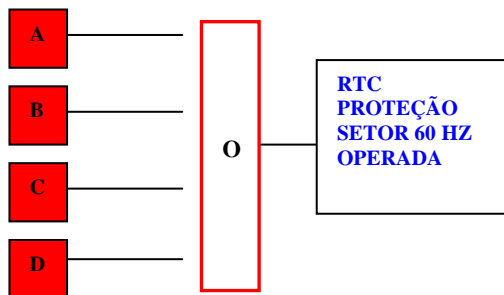




## 7.4 - Esquema de Protección Transformadores



## 7.5 - Relacionamiento por RTC



La presentación final en este proceso quedó así:



Fig.5 – Diagrama del sector con los botones de protección normales( inferior izquierdo)



Fig.6 – Diagrama del sector con un botón de protección activado vía RTC

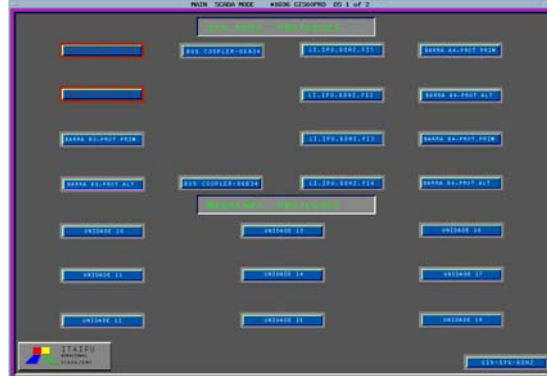


Fig.7 – Diagrama del sector con todos los botones del sector representando las protecciones y la activación del área específica donde ocurrió la falla.

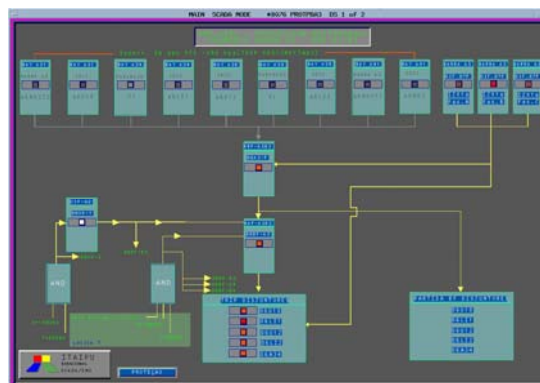


Fig.8 – Siguiete etapa donde muestra el defecto con los dispositivos primarios, los bloqueos actuados y los interruptores que dispararon.

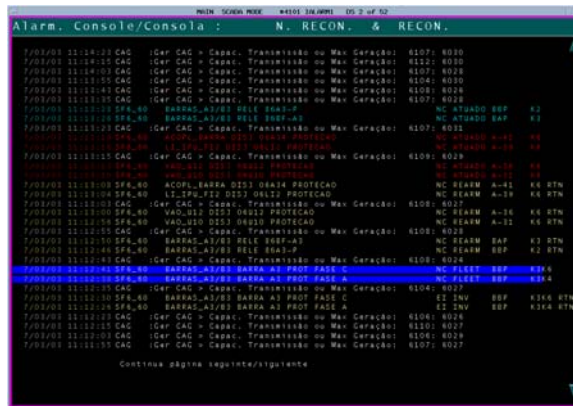


Fig.9 – Para el mismo evento la pantalla de alarmas convencional en el IHM .

### 8.0. - Conclusiones del trabajo

- Visando aumentar la eficiencia del grupo de operación de tiempo real durante el restablecimiento en perturbaciones, este sistema elimina el número excesivo de mensajes presentados.
- La identificación del problema es rápida y en forma gráfica se llega a identificar la falla siguiendo los botones al toque del clic del mouse.
- Podemos observar que la metodología adoptada para la concepción del esquema permite que éste sea adaptado para aplicación en diferentes sistemas eléctricos, pudiendo adoptarse esta filosofía en cualquier planta donde se cuente con una supervisión digital.

### 9.0. - Lecciones Aprendidas

El involucramiento del operador, que es el usuario final, en un proceso de implementación de supervisión y control digital es muy importante ya que en esa etapa, se adquiere el conocimiento(know how) necesario sobre sistemas de adquisición de datos y de sistemas especialistas aliado a la experiencia adquirida en el día a día de la operación de la planta posibilita crear estrategias que visen ayudarlo, facilitando su trabajo y siendo realmente útil para su labor diaria.

### 10.0 - Referencias Bibliográficas

- [1] Manual de Operación del SCADA, ABB Automation Inc., Console Operations Users Manual Scada , August 2000;
- [2] Diagramas esquemáticos de las líneas, barras, transformadores y Unidades Generadoras de Itaipu.
- [3] Criterios Básicos para Control Scada R1- División de Ingeniería para Control - ENEE.DT, Setiembre 2001.
- [4] Instrucción de Operación de la Central – Diagramas lógicos de las protecciones que ocasionan desconexiones automáticas Sector 50 Hz, 60hz, SEMD y esquemas ECE de Itaipu.
- [5] Internet -SISTEMAS ESPECIALISTAS:  
A Engenharia do Conhecimento Aplicada às Organizações - Maurício Crippa