



Proyecto de Reemplazo del Sistema de Control de la Central Yacyretá

Ing. Paulino Aguayo Rojas

Entidad Binacional Yacyretá

Paraguay

RESUMEN

El Sistema de Control actual de la Central Yacyretá fue diseñado a fines de los '80 para supervisar y controlar en forma centralizada los equipos de la Central y para realizar el intercambio de datos con los centros de control de Ande, Cammesa y Transener.

Los equipos del actual Sistema SCADA han estado en operación comercial desde setiembre de 1994 y, aunque se han introducido algunos cambios, en general las funciones continúan operando tal como fueron diseñadas originalmente.

El Sistema SCADA es de vital importancia técnica para el cabal funcionamiento de la Central Yacyretá permitiendo la supervisión de todos los equipos de la misma, así como el control directo de la generación por medio de sus funciones de Control Automático de Generación (CAG) y el Control Automático de Tensión (CAT), entre otras.

Actualmente el Sistema SCADA presenta varios problemas: obsolescencia de los equipos, componentes y software; falta de repuestos y de soporte de los mismos; déficit en las facilidades para el diagnóstico de fallas, en los registros históricos y en los registros de perturbaciones; muchas fallas debidas a la utilización de relés y dispositivos repetidores o transductores; bajo desempeño y tiempos de respuesta muchas veces excesivos; etc.

Este trabajo describe el proyecto de cambio del Sistema de Control de la Central Hidroeléctrica Yacyretá por uno nuevo que abarcará no solamente el actual Sistema SCADA, sino también el Sistema de Protecciones, el Sistema de Registro de Fallas y Perturbaciones, y los controladores de los sistemas de Excitación y de Regulación de Velocidad, de todas las unidades generadoras.

PALABRAS CLAVES

Sistema SCADA, cambio o modernización de Sistema SCADA, AGC, Control Automático de Generación, modernización de sistemas, intercambio de datos, problemas debido a obsolescencia de sistemas.



1 INTRODUCCIÓN

Yacyretá es el mayor Proyecto Hidroeléctrico de la República Argentina y el segundo en la República del Paraguay. Dispone de 20 unidades generadoras (de 155 MW de potencia nominal c/u) y tiene una generación promedio de 17.000 GWh/año a la actual cota de embalse (20.000 GWh/año a la cota definitiva), abasteciendo, en la actualidad, una significativa porción de la demanda energética del sistema argentino (13%), y con una importancia creciente también para el sistema eléctrico paraguayo (20%).

El Sistema actual de Control de la Central Yacyretá fue diseñado a fines de los años 80 para supervisar y controlar en forma centralizada los equipos de la Central desde la Sala de Control Principal e Intermedias, y para realizar el intercambio de datos con TRANSENER, CAMMESA y ANDE. Es un sistema distribuido de procesadores digitales programables asignados a funciones específicas, utilizando un sistema de comunicación de redes locales SINEC HI FO redundante. El sistema es modular y estructurado y utiliza equipos normalizados de tecnología vigente en los años 90 [1]. El proveedor del actual sistema CAG/SCADA fue Siemens A.G. de Alemania. El Contrato de provisión (Contrato Y-E14) data del 10.03.94, y el equipamiento se encuentra en servicio desde hace 15 años.

La preocupación por la renovación o modernización del Sistema de Control de Yacyretá es de larga data. En septiembre de 2004 el Sector Mantenimiento del Departamento Técnico de la EBY definió la estrategia que se debería tomar para encarar el problema del envejecimiento y la modernización del sistema SCADA. En octubre de 2005 se realizó una corrección a dicha estrategia y en marzo de 2006 se inició el trámite de contratación de una consultoría externa que, interrogando a los diferentes sectores interesados del Departamento Técnico, genere el **pliego técnico** de un nuevo sistema de supervisión y control. Se debe crear una especificación detallada que contemple el *estado del arte*, las demandas actuales de los distintos sectores, la flexibilidad futura, el cronograma de recambio de equipos, la inversión en capacitación, etc.[6].

2 EL TRABAJO DEL CONSULTOR [1] [2]

La EBY contrató en Marzo de 2008 al Consorcio MWH-ADE-ICASA los servicios de consultoría para relevar y evaluar el estado de situación del actual Sistema CAG/SCADA y, en base a ello, realizar las recomendaciones correspondientes y elaborar el pliego de las Especificaciones Técnicas para el nuevo sistema de control.

La evaluación del sistema comenzó a partir del 1 de Abril de 2008 mediante un equipo de profesionales liderados técnicamente por los expertos de MWH. La evaluación consistió en el relevamiento completo de la documentación y de los planos de los equipos y de la instrumentación, de los sistemas de control y de comunicación, de la playa de maniobras, de los sistemas de alimentación de baja tensión, de los programas y bases de datos utilizados, de los despliegues y pantallas.



Se llevaron a cabo múltiples reuniones o talleres del Consorcio Consultor con las Autoridades y funcionarios del Departamento Técnico de la EBY, vinculados al Sistema CAG/SCADA y a las otras funciones y operaciones del Complejo Yacyretá. Mediante estos talleres se analizaron e identificaron nuevas necesidades de funcionalidad y de datos.

Durante el desarrollo de la evaluación del actual Sistema CAG/SCADA se elaboraron Informes Mensuales de Avance, en los que se detalló la totalidad del equipamiento del CAG/SCADA.

Como resultado del trabajo, en setiembre de 2008, el Consultor :

- Formuló la recomendación de reemplazar completamente el actual sistema CAG/SCADA e iniciar un proceso acelerado para la actualización del sistema de control por computador y de los sistemas asociados para mejorar la confiabilidad y funcionalidad y para incorporar nuevos avances tecnológicos.
- Presentó el pliego del Contrato Y-E16 “Desarrollo de la ingeniería de detalle, fabricación, provisión, montaje y puesta en marcha de un nuevo centro de control de generación (CAG/SCADA), del sistema de protecciones eléctricas y otros equipos de monitoreo y control, de la Central Hidroeléctrica Yacyretá”:
 - 1) Volumen I: Documentos de licitación y disposiciones contractuales.
 - 2) Volumen II: Especificaciones Técnicas
 - 3) Volumen III: Planos

El 30 de setiembre de 2009, en la Central Yacyretá, la EBY efectuó el acto de recepción y apertura de las presentaciones para precalificación de las empresas interesadas en la licitación Internacional:

- 1) Telvent Argentina S. A.
- 2) Engevix – Andritz Hydro
- 3) Voith Hydro – Isolux Ingeniería S.A.
- 4) General Electric International Inc.
- 5) ABB S.A. – Electro Ingeniería S.A.
- 6) Alstom – Iecsa
- 7) SNC – ICESA
- 8) Powermachines ZSL – LMZ, Electrosila Energomachexpor

3 ¿POR QUÉ CAMBIAR EL SISTEMA DE CONTROL?

Los sistemas SCADA, como cualquier sistema, tienen una vida útil limitada. Sus computadoras, interfaces hombre-máquina, unidades terminales remotas y redes de comunicación pueden comenzar a limitar la expansión y a tener problemas de mantenimiento. A medida que envejecen los sistemas SCADA pueden perder confiabilidad y ser difíciles de interconectar con nuevos sistemas computacionales de la empresa [6].



Las principales razones por las cuales el Consultor recomienda cambiar el sistema de control en Yacyretá son [1]:

- La obsolescencia de los equipos, componentes y software del actual sistema CAG/SCADA.
- La carencia de facilidades para el diagnóstico y el alto costo de las reparaciones.
- Bajo desempeño del actual sistema CAG/SCADA incluyendo: tiempos de respuesta excesivos, falta de integridad de los datos en tiempo real, carencia de un programa de administración históricos de datos, etc.
- La gran cantidad de equipos, funciones y programas que actualmente se requiere mantener en operación y la falta de herramientas (hardware y software) para mantenerlos.
- La falta de cableado estructurado de fibra óptica con sus respectivos paneles de distribución de fibra para soportar una nueva red de comunicaciones.
- En la Sala de Control Central, ha sido necesario instalar terminales basadas en computadoras personales de sistemas independientes no integrados, que han reemplazado funciones originalmente instaladas en el sistema, tales como: el monitor de frecuencia, el monitor del Sistema DAG, y el Sistema de Operación en Tiempo Real (SOTR), para enlace con los despachos de ANDE, CAMMESA y TRANSENER. La replicación de bases de datos de CAMMESA, por medio de la aplicación Domino/Lotus Notes, tampoco está integrada.
- Alta utilización de relés, dispositivos repetidores, transductores, etc.
- Imposibilidad de usar los datos del SCADA en aplicaciones web o en documentos tales como MS-Excel o bases de datos como MS-Access.
- Dificultad en agregar o modificar la programación de puntos de I/O.
- Dificultad para modificar los programas de aplicación tales como el CAG.

4 OBJETIVOS DE LA MODERNIZACIÓN [2]

- Salir de la situación de peligro de caída completa del SCADA.
- Mejorar el desempeño de las funciones de CAG/SCADA y la ergonomía de la sala de control.
- Mejorar la autonomía de las funciones del control distribuido (controlador de la unidad, excitatriz y regulador).
- Mejorar la confiabilidad del sistema reduciendo el número de componentes y mejorando los diagnósticos

5 ALCANCE DE LA PROVISIÓN PARA EL NUEVO SISTEMA DE CONTROL [1]

El suministro del nuevo sistema CAG/SCADA a contratar, de acuerdo a las principales recomendaciones del Consultor, comprende básicamente lo siguiente:

- Desarrollo de la Ingeniería de Detalle del futuro sistema CAG/SCADA de la Central Hidroeléctrica Yacyretá, basado en la arquitectura propuesta, mostrada en la Figura 1.



IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

- Reemplazo de las actuales estaciones de trabajo y servidores Sun Microsystem por unidades modernas integrando una nueva arquitectura de sistema e incorporando programas requeridos para la implementación de una nueva Estación Maestra del Centro de Control de Generación que mejorará el Control Centralizado de la Central, como lo son el Control Automático de Generación y Voltaje (CAG/CAT), el Sistema de Adquisición de Datos y Control (ADC), los Programas de Interfaz Humano Máquina (IHM) y Sistemas de Administración Histórica de Datos (AHD), Sistema de Administración de Alarmas, Sistema Centralizado de Mantenimiento del Sistema de Control, enlaces con otros Centros de Control, enlaces con el Sistema Computarizado para Mantenimiento de la Central, etc.
- Reemplazo del equipamiento y modernización de la Sala de Control incluyendo nuevas consolas de Operación y Supervisión equipadas c/u con 4 monitores del tipo LCD. Equipamiento similar de las Salas de Control intermedias, a las consolas de operación de la Sala de Control, destinado a alcanzar el mismo rango jerárquico funcional.
- Reemplazo de la electrónica y componentes de las actuales UTR Siemens LSA por nuevos controladores y módulos de entradas y salidas.
- Reemplazo de transductores de parámetros eléctricos por medidores multifunción.
- Eliminación de los registradores de temperaturas Chessel, conectando directamente los sensores de temperatura a módulos de entrada supervisados por los Controladores de Unidad y utilizando las funciones del Sistema de Administración Histórica de Datos para revisar tendencias y desempeño de los equipos.
- Reemplazo de los controladores del sistema de excitación y del regulador por nuevos controladores con capacidad de enlace digital con el controlador de unidad.
- Reemplazo del anunciador de alarmas cuyas funciones serán asumidas por los Controladores de Unidad y el Sistema de Administración de Alarmas.
- Reemplazo de la totalidad de las protecciones actuales de las unidades, transformadores, líneas y patio de distribución, por protecciones inteligentes multifuncionales con capacidad de programación y selección de funciones, diagnóstico, medición, registros oscilográficos, interrogación remota y comunicación.
- Reemplazo de la actual pantalla amplificada por una con nueva tecnología.
- Reemplazo del actual cableado de fibra óptica por un sistema de fibra óptica estructurado con switches que permitirán velocidades de comunicación sustancialmente superiores a las actuales, y que se extenderá a toda la Central, Vertederos y Esclusa de Navegación.
- Incorporación, al nuevo sistema CAG/SCADA, del control y monitoreo de los equipos e instrumentación de la Esclusa de Navegación, de los reguladores bajo carga de los transformadores y de los transformadores de potencia de las unidades.
- Incorporación de consolas con acceso al sistema y con programas específicos



para los departamentos de Hidrología, Movimiento de Energía e Ingeniería.

- Incorporación de un nuevo sistema de registro de fallas digital de alta velocidad en cada unidad y línea de transmisión.
- Incorporación de un sistema en línea de la condición de turbina y generador.
- Realización de un contrato de mantenimiento del actual sistema CAG/SCADA, como así también, la adquisición de repuestos críticos que aseguren el servicio de la Central hasta que se materialice la puesta en funcionamiento del nuevo sistema CAG/SCADA.
- Reemplazo del reloj patrón con un monitor de frecuencia y tiempo satelital.

6 ARQUITECTURA DEL NUEVO SISTEMA DE CONTROL

La configuración propuesta para la modernización del sistema CAG/SCADA se muestra en la Figura 1, que se describe a continuación. El Sistema de Control deberá ser de arquitectura abierta, con funciones y procesamiento distribuido y deberá consistir de una **Estación Maestra del Centro de Control de Generación**, cuatro **Centros de Control Intermedio** y un **Sistema de Control Distribuido** para el control de las unidades y equipos de la Central (incluyendo los Vertederos Principal y Añá Cuá y la Esclusa de Navegación), con todos los equipos comunicados a través de redes de comunicación segmentadas y de alto desempeño.

6.1 Funciones [3]

El Sistema de Control deberá ser un sistema completamente integrado, con todos los equipos y programas necesarios para mantener el nivel requerido de funcionamiento y desempeño de las funciones que se indican a continuación:

- Control y Adquisición de Datos.
- Intercambio de Información con los despachos de carga
- Interfaz Humano Máquina (IHM).
- Control Automático de Generación (CAG).
- Control Automático de Tensión (CAT).
- Registro Histórico de Datos.
- Análisis de Alarmas.
- Mantenimiento de la Base de Datos.
- Desarrollo y Prueba de Programas
- Desarrollo de Despliegues Gráficos
- Desarrollo de Informes



6.2 Niveles de Control [3]

El Sistema de Control permitirá operar la Central desde tres niveles de control, tal como puede observarse en la Figura 1:

1. **Control Local:** este será el nivel inferior de control de La Central y se llevará a cabo desde los equipos y sistemas principales de las Unidades de Generación y equipos auxiliares. Los armarios locales del Sistema de Control distribuido, excitación y regulador tendrán todo el equipamiento necesario para operar el equipo al cual pertenecen y suministrar la interfaz con el Sistema de Control suministrado por EL CONTRATISTA, por medio de un Interfaz Humano Máquina (IHM). El control local será independiente de los otros niveles de control.
2. **Control Distribuido:** será el nivel intermedio del Sistema de Control de la Central y se llevará a cabo desde las Consolas de Operación ubicadas en las Salas de Control Intermedias. En este nivel se concentrarán los datos y funciones de control de grupos y equipos de la Central. Las funciones asignadas al control distribuido se realizarán en forma autónoma y con total independencia del nivel de control centralizado.
3. **Control Centralizado:** constituye el nivel superior de Control y será efectuado desde la Sala de Control de Generación, por medio de las consolas de operación. En este nivel se centralizarán las funciones de supervisión y control de todos los sistemas y equipos de la Casa de Máquinas, Vertederos, Subestación en SF6 y Esclusa de Navegación; incluirá además las aplicaciones para la operación de la Central tales como el CAG y el CAT, entre otros. Desde este nivel se establecerá el enlace de comunicación con los despachos de carga. El Control Centralizado consistirá de consolas para la Interfaz Humano Máquina, servidores y otros equipos conectados por medio de una red de comunicaciones estándar.

6.3 Criterios de diseño y desempeño [3]

- Arquitectura redundante.
- Redes de comunicación de alto desempeño.
- IHM de interacción inteligente y amigable con el operador.
- Herramientas de mantenimiento de base de datos fáciles de usar y eficientes.
- Diseño de arquitectura abierta y utilización de estándares de la industria.
- Utilización de tecnología avanzada y comprobada.
- Integración total y eficiente de todos los equipos y programas que conformen el Sistema de Control.
- Integración del Sistema de Control con los equipos suministrados por otros.
- Manuales de operación y mantenimiento digitalizados.



6.4 Estación Maestra [3]

La Estación Maestra está compuesta por:

- **Servidores:** de alto desempeño, montados en racks, y que ejecutarán todas las funciones del sistema de tiempo real en forma distribuida. Los servidores se comunican a través de la red de proceso únicamente, y están unidos a la red de almacenamiento masivo SAN por un enlace redundante.
- **Estaciones de trabajo para montaje en racks:** operan como clientes de la función de control y adquisición de datos, y de los programas de aplicación en línea y fuera de línea. Se comunican con los servidores por la red de proceso únicamente y están unidos a la red de almacenamiento masivo SAN por un enlace redundante.
- **Dispositivos de almacenamiento masivo tipo SAN:** con discos en arreglos RAID 0, 1, o 10 implementados por hardware.
- **Estaciones de trabajo portátiles:** industriales, para mantenimiento del SCADA.
- **Interfaz Humano Máquina (IHM):** consolas de alta resolución gráfica compuestas de un conjunto de monitores de alta resolución, teclado, ratón, adaptador para conexión a la red KVM/KVMA.
- **Pantalla Amplificada:** en la Sala de Control Central
- **Equipos para redes de comunicaciones**

6.5 Redes de Comunicaciones [1]

Los equipos de la Estación Maestra se comunicarán por medio de redes de comunicación. Las redes de comunicación consistirán de los siguientes segmentos:

- **Red de Proceso:** será un segmento dedicado a los servidores, consolas de operadores y supervisores, impresores, monitor de frecuencia y tiempo, y cubrirá toda la Casa de Máquinas, incluyendo el centro de control de generación y los centros de control intermedios. Su velocidad será ≥ 1 Gbps.
- **Red de Control:** será un segmento dedicado a la comunicación entre controladores asociados a las unidades de generación, servicios comunes, vertederos, esclusas y los servidores de mantenimiento y adquisición de datos y cubrirá toda la casa de máquinas, vertederos y esclusas. Su velocidad será ≥ 100 Mbps.
- **Red de Área de Almacenamiento (Storage Area Network - SAN):** es una red dedicada al dispositivo de almacenamiento de alta confiabilidad del tipo SAN. Esta red está dedicada principalmente para los servidores de administración histórica de datos. Su velocidad será ≥ 10 Gbps.
- **Red KVM (Keyboard-Video-Mouse):** será un segmento dedicado a la extensión de la conexión del teclado, video y ratón desde la sala de servidores hasta las consolas de los operadores y supervisores.
- **Red de Entradas/Salidas:** interconectará los controladores redundantes, los módulos de entradas/salidas y otros sistemas dedicados tales como el



controlador de la excitación y el regulador de la turbina. Su velocidad será ≥ 10 Mbps.

- **Red de Instrumentación:** para el enlace de comunicaciones entre los instrumentos inteligentes y el Sistema de Control Distribuido, y deberá estar basada en una arquitectura abierta, que integre instrumentación inteligente de diferentes fabricantes. La red deberá permitir la comunicación, configuración y alimentación de los instrumentos inteligentes

6.6 Programas de Aplicación [2]

- **Control Automático de Generación (CAG):** el objetivo principal del CAG es ajustar la generación de la Central Yacyretá para cumplir los requisitos de generación del Comitente. El segundo objetivo del CAG es mantener fija la frecuencia del Sistema de Potencia Interconectado, ajustando la generación de la Central dentro del rango de regulación (CAG + Regulación Secundaria de Frecuencia - RSF). La EBY le comunicó al Consultor sus necesidades respecto al CAG, tales como CAG con posibilidad de separación para Paraguay y Argentina, CAG+RSF sobre unidades generadoras realizando Regulación Primaria de Frecuencia (RPF), etc.
- **Control Automático de Tensión (CAT):** deberá realizar un despacho en tiempo real de la potencia reactiva de la Central y mantener la tensión en barras de la Central los generadores y la Subestación de distribución, sujeto a las limitaciones de operación. El objetivo del CAT será mantener la tensión en las barras de 500 kV en el nivel requerido mientras se mantiene el balance de la carga de potencia reactiva de cada generador despachado.
- **Sistema de Operación en Tiempo Real (SOTR):** para enlace del Centro de Control de Yacyretá con los despachos de carga de ANDE, CAMMESA y TRANSENER. El protocolo a utilizar es el Elcom 90.

6.7 Sistema de Control Distribuido

La Figura 2 muestra la arquitectura multinivel del Sistema de Control Distribuido. Éste deberá ser abierto, modular y estar distribuido con múltiples niveles de control. Cada nivel deberá tener una funcionalidad definida a fin de crear un sistema modular que sea adaptable a cambios futuros en equipos o componentes.

Con respecto a este punto la EBY ha solicitado al Consultor se incluya en las especificaciones que los tres niveles inferiores del Sistema de Control Distribuido cumplan con la norma IEC-61850, dado que:

- Esta norma se está convirtiendo ya en el estándar de comunicación y modelado de datos para la automatización de Sistemas de Potencia, y no sólo ya para la automatización de Subestaciones.
- Si perdemos esta oportunidad, se deberá esperar hasta la próxima modernización de nuestro sistema de control, es decir, unos 15 años aproximadamente.



Con la modernización del control distribuido se espera obtener las siguientes ventajas [2]:

- Mejorar ostensiblemente la secuencia de arranque y parada, que será ejecutada en el controlador de la unidad, disminuyendo los tiempos de arranque y parada.
- Enlaces digitales con la excitatriz y el regulador.
- Dar una vida útil adicional de por lo menos 25 años a la excitación.
- También se mejorará el control de lazo cerrado de potencia activa, tensión, potencia reactiva, velocidad, etc.
- Se dotará de una instrumentación inteligente para presiones, flujos y temperaturas.
- Etiquetado de tiempo sincronizado con Satélite.
- Se tendrá un sistema de protecciones y diagnóstico de la unidad.

7 CONCLUSIÓN

Se ha presentado el proceso que se está llevando a cabo para el Proyecto de Reemplazo del Sistema de Control de la Central Hidroeléctrica Yacyretá.

Se ha presentado muy a grandes rasgos la arquitectura del nuevo Sistema de Control de Yacyretá. Una vez comprado e instalado y puesto en marcha, el nuevo Sistema de Control de Yacyretá será sin dudas uno de los más modernos en el mundo, facilitando la operación y el mantenimiento de la Central Yacyretá por muchos años

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Consorcio MWH-ADE-ICASA. “Contrato de Consultoría para el SCADA – Informe Final”.
- [2] Consorcio MWH-ADE-ICASA. “Contrato de Consultoría para el SCADA – Compilación de las minutas y reuniones mantenidas en las oficinas centrales de MWH, en la ciudad de Chicago, los días 17, 18 y 19 de noviembre de 2008”.
- [3] Consorcio MWH-ADE-ICASA. “Contrato Y-E16, Desarrollo de la Ingeniería de Detalle, Fabricación, Provisión, Montaje y Puesta en Marcha de un Nuevo Centro de Control de Generación (CAG/SCADA), del Sistema de Protecciones Eléctricas y Otros Equipos de Monitoreo y Control de la Central Hidroeléctrica Yacyretá – Volumen II – Especificaciones Técnicas”
- [4] Consorcio MWH-ADE-ICASA. “Contrato Y-E16 – Volumen III – Planos, Señales e Instrumentos Completos”
- [5] Llord, Gabriel et ál. “Automation of Large Hydroelectric Power Plants”.
- [6] Aguayo, Paulino y Andino, Edgar. “Migración del Sistema SCADA Prokon-LSX de las Estaciones de Trabajo de la Central Yacyretá”. VII SESEP, 25 al 27 de octubre de 2006, Asunción, Paraguay.

IX SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
13, 14 y 15 de Octubre de 2010

Figura 1: El nuevo Sistema de Control de Yacyretá

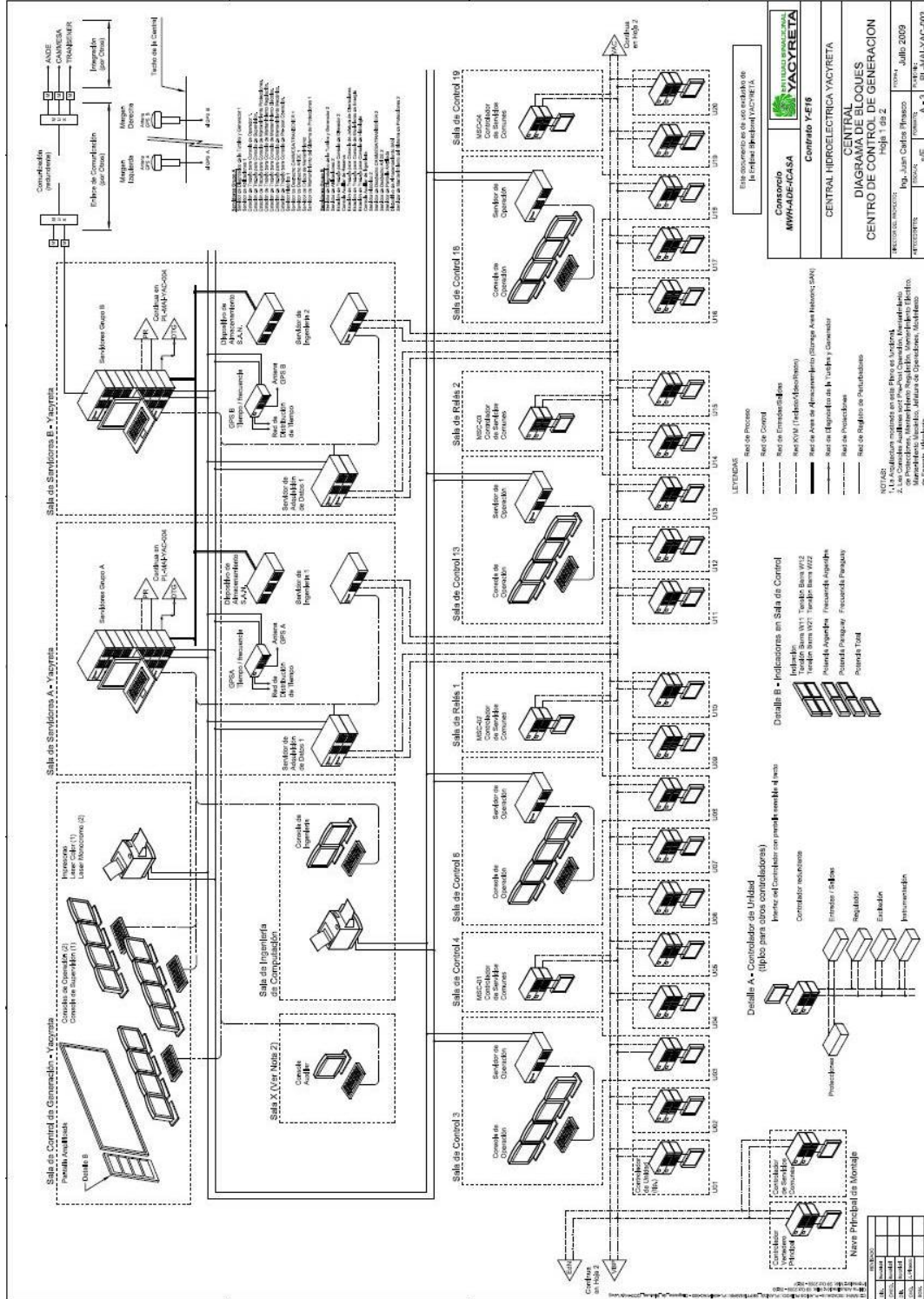


Figura 2: Arquitectura de Control Multinivel (Esquema Funcional)

