



## **Automatización de las Estaciones de Tratamiento de Agua de la Central Hidroeléctrica ITAIPU**

**Fabio César Lugo Palarea, Valeria Vera Herrero**

**ITAIPU Binacional**

**Paraguay**

### **RESUMEN**

La ITAIPU Binacional está iniciando la modernización de la Estación de Tratamiento de Agua (ETAS) de la Central Hidroeléctrica de tal forma que los procesos sean automáticos, sin necesidad de operación local permanente. Los requisitos para la nueva planta están previendo la instalación de un Sistema de Automatización y Control Automático que permitirá supervisar, accionar, monitorear, diagnosticar y procesar las operaciones y estados de los diferentes parámetros monitorizados en las ETAS.

La supervisión y tele-comando será posible desde una de las salas de control de las ETA, o desde un sistema SCADA centralizado en la planta. La automatización del proceso garantizará un menor consumo de energía y de productos químicos aplicados durante todo el ciclo de producción, con el menor desperdicio de agua.

El Sistema constará de Unidades de Adquisición y Control (UAC), instaladas dos para cada conjunto de ETAS, las cuales poseen las herramientas necesarias, tanto de software como de hardware, para controlar dispositivos externos, recibir señales de sensores y tomar decisiones de acuerdo al programa que el usuario elabore según la lógica del proceso de Automatización.

Los datos procesados y registros disponibles en la base de datos de las UAC, serán transmitidos a las Estaciones de Control Locales (ECL-1 y ECL-2), permitiendo la visualización en tiempo real de los valores, estados, alarmas, gráficas de tendencias, tablas, pantallas sinópticas e informes. Permitirá la recepción y envío de los comandos del operador al proceso.

El sistema posee capacidad de comunicación con otros centros de controles tanto para transmisión y recepción de datos como para recepción de comandos solicitados por el operador. Las comunicaciones serán a través de protocolos de comunicación de Modbus RTU y comunicación con interfaz Ethernet, TCP/IP. La comunicación entre las UAC y el Sistema SCADA ITAIPU, será vía protocolo IEC 60870-5-104, utilizando fibra óptica.

### **PALABRAS CLAVES**

Estación de Tratamiento de Agua  
Automatización de Procesos  
Sistemas de Automatización y Control



---

Sistema SCADA ITAIPU  
Unidad de Automatización y Control UAC  
Estaciones de Control Local ECL-1 ECL-2

## 1 INTRODUCCIÓN

Las Estaciones de Tratamiento de Agua (ETA) de la Central Hidroeléctrica ITAIPU proporcionan agua potable y agua industrial a las diversas áreas y usuarios del Área Industrial de la usina.

Estas ETAS se componen de dos conjuntos, la ETA-1 y ETA-1A forman el conjunto 1 y la ETA-2 y ETA-2A forman el conjunto 2. La ETA-1 y ETA-2 proporcionan agua potable y las ETA-1A y ETA-2A proporcionan agua industrial.

La captación de agua para las ETAS se realiza de la tubería colectora de agua de enfriamiento de las unidades generadoras. El agua de enfriamiento de las unidades es captada del reservorio, junto a las tomas de agua, y pasa luego por un filtrado mecánico en la elevación 92,4 (metros encima del nivel del mar). El agua filtrada es elevada luego hasta las ETAS en la cota 161 a través de un conducto para cada conjunto de ETA.

Actualmente el proceso es realizado manualmente, desde el análisis del agua bruta para determinar la dosificación de producto necesario para el tratamiento hasta la apertura de las válvulas y el retrolavado de los filtros.

Mediante la instalación de un Sistema de Automatización y Control Automático los procesos en las ETAS serán automáticos, sin la necesidad de operación local permanente.

El Sistema a instalar constará de Unidades de Adquisición y Control (UAC), que permiten controlar dispositivos externos, recibir señales de sensores y tomar decisiones de acuerdo al programa que el usuario elabore según la lógica del proceso de Automatización.

## 2 PROCESO ACTUAL

El proceso actual es realizado enteramente de forma manual y sigue el siguiente esquema.

1- El operador realiza al inicio de su turno la verificación de los niveles en los tanques de solución química y el análisis del agua bruta para determinar la cantidad de producto necesario y realizar el ajuste de la dosificación.

2- El producto es colocado en los tanques de solución química.

3- Los agitadores comienzan a funcionar mediante accionamiento manual.

4- Luego transcurrido 10 minutos de funcionamiento del agitador, se abre manualmente la válvula de ingreso de agua bruta y se enciende manualmente las bombas dosificadoras de Sulfato de Aluminio, Carbonato de Sodio e Hipoclorito de Sodio.

5- El mezclador hidráulico continúa su funcionamiento homogenizando el agua bruta y los productos agregados hasta que se realice la parada del mismo de manera manual por el operario, o

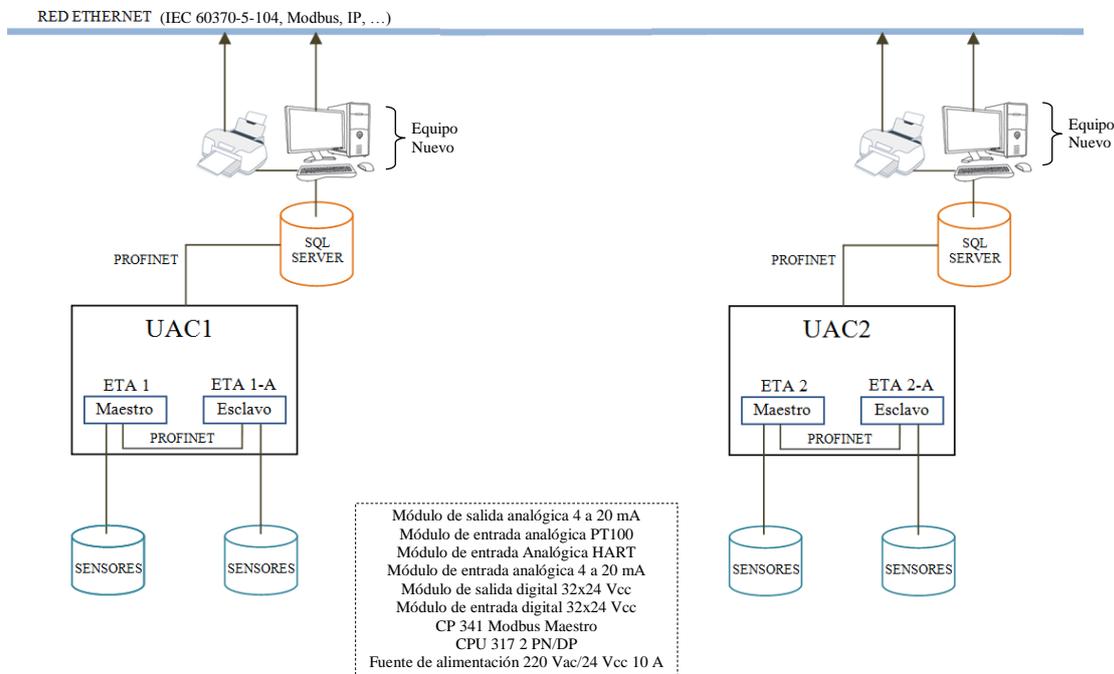
XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016

bien hasta que el nivel máximo del tanque de agua potable haya sido alcanzado o haya actuado las protecciones eléctricas de los equipos.

6- La turbiedad, o el pH y el residual de cloro son medidos cada 4 horas por el operario en las diferentes etapas de clarificación y potabilización del agua antes de llegar al consumidor.

### 3 SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN A INSTALAR

El sistema estará construido alrededor de Unidades de Adquisición y Control, en las cuales correrán la lógica de proceso de Automatización, que posibilitará el funcionamiento Automático del sistema.



**Figura 1: Arquitectura de Sistemas de Control de las ETAS**

Este sistema deberá supervisar, comandar y controlar todas las válvulas, agitadores, bombas y elementos necesarios para la adquisición de señales de proceso necesarios para la completa automatización de la ETA correspondiente.

Cada UAC tendrá diversos módulos de adquisición y Control, cada uno de ellos adecuado a los tipos de señal que irá a adquirir y monitorear. Estará constituido por los siguientes componentes:

- Tablero de Control Automata
- Sistema de Control PLC
- Equipos de comunicación
- Infraestructura de cableado de comunicación de datos
- Instrumentación Equipos Actuadores y Sensores
- Estaciones de Trabajo, Servidores (ECL)



**XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ**  
25 y 26 de Agosto de 2016

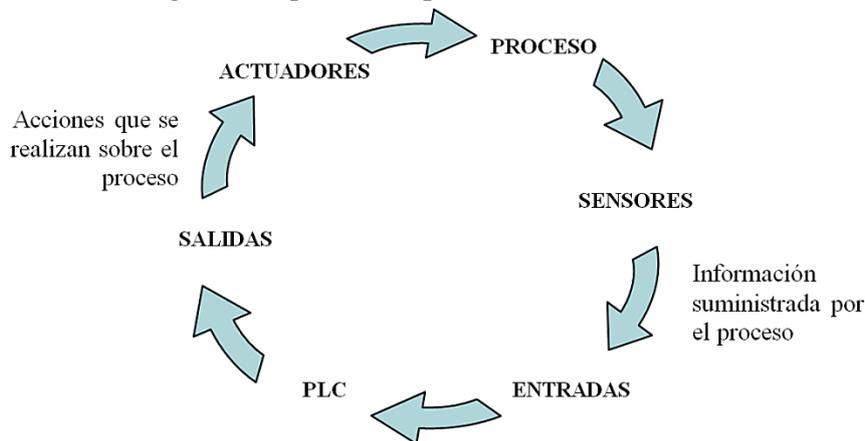
Las UAC serán el punto principal de control, traducción de datos e información donde se colectaran datos a través de sensores de campo a instalar, los cuales pasarán luego a los bloques de entrada donde serán adaptados y codificados de forma comprensible para la CPU, pasa luego a los bloques de salidas, donde se decodifica y amplifica la señal procedente de la CPU, enviando finalmente las señales analógicas o digitales a los actuadores o dispositivos de salida.

Los datos serán enviados al Sistema SCADA ITAIPU vía protocolo IEC 62870-5-104 mediante fibra óptica. Todos estos datos enviados para almacenamiento serán conmutados por switches existentes que se utilizaran para comunicación UAC con los servidores de almacenamiento SCADA ITAIPU.

**3.1. Componentes del Sistema de Automatización**

**3.1.1 Tablero de Control Automata y Sistema de Control PLC**

El PLC o Automata programable poseerá las herramientas necesarias para controlar los dispositivos externos, recibir señales de sensores y tomar decisiones de acuerdo a un programa que el usuario elabore según el esquema del proceso a controlar.



**Figura 3: Esquema del funcionamiento de la UAC**

Las funciones del Sistema de Control Automata incorporadas a la UAC tendrán las funciones indicadas en la Tabla II.

**Tabla II: Funciones del Sistema de Control Automata**

• Adquisición de datos digitales	Mediante sensores de campos monitoreados.
• Ejecución de comandos	Pre-procesará los datos, y los transmitirá a la ECL, gerenciando la ejecución de los algoritmos y lógicas programadas
• Comunicación con las estaciones de operación simultáneamente, y con Dispositivos Electrónicos Inteligentes (IED)	La comunicación correrá sobre TCP/IP, entre ambas ETAS y entre cada UAC con sus respectivos ECL. La comunicación con el SCADA ITAIPU será a través de fibra óptica monomodo, y se instalarán switches que conmutarán los paquetes de datos dentro del ECL. La comunicación entre las UAC y los medidores digitales y otros equipos se dispondrá de un canal de comunicación serial, con protocolo Modbus RTU, en los modos maestros y esclavo, seleccionables. Para la comunicación entre la UAC, la ECL y el módulo esclavo de la ETA Adicional se utilizará una conexión por interfaz Profinet.

**XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016**

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gerenciamiento de la ejecución de los algoritmos y lógicas programadas</li> </ul>	<p>LA UAC ejecutaran los comandos, tanto del operador como de la propia lógica de automatismo programada en la UAC. La UAC ejecutará el automatismo de tratamiento, y en el inicio del proceso, a través de la ejecución manual del Jar Test, el operador tendrá la capacidad de insertar el Set Point para las bombas dosificadoras y el proceso de clarificación de agua iniciará, a través de un comando del operador. A partir de este punto, la UAC funcionando en modo “Automático”, verificará la turbiedad del agua clarificada y realizará una pequeña disminución del Set Point parametrizado de las bombas dosificadoras. Todas las variables, parámetros y estados internos de los equipos conectados a la UAC y de la propia UAC serán enviados a la ECL y a centros externos, a través de comunicación digital.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arquitectura estable, permitiendo la expansión del sistema</li> </ul>	<p>Las unidades de procesamiento tendrán mecanismos de detección de errores en memoria RAM o EPROM. Reinicialización automática de toda la UAC en caso de ocurrencia de una falla considerada grave o de falla de alimentación. Toda la operación de la UAC será supervisada a través de la ejecución de rutinas de Auto-Diagnóstico, para asegurar que la misma se encuentre funcionando en estado normal. Las fallas detectadas serán informadas a través de las interfaces de comunicación, a los centros de control y en el ECL, guardándolos como un informe.</p>

### 3.1.2 Equipos de Comunicación (switches)

Los switches a instalar y configurar, permitirán la conmutación de los paquetes de datos dentro del centro de control (ECL). Mediante estos equipos se podrá comunicar con los servidores de datos históricos, así como también con las UAC y demás equipos que componen la red.

### 3.1.3 Infraestructura de cableado de comunicación de datos

La comunicación correrá sobre TCP/IP, entre ambas ETAS y entre cada UAC con sus respectivos ECL, la comunicación con el SCADA ITAIPU será a través de fibra óptica monomodo. Para la comunicación entre las UAC y los medidores digitales y otros equipos se dispondrá de un canal de comunicación serial, con protocolo Modbus RTU, en los modos maestros y esclavo, seleccionables. La comunicación entre la UAC, la ECL y el módulo esclavo de la ETA Adicional utilizará una conexión por interfaz Profinet.

### 3.1.4 Instrumentación, equipos actuadores y sensores

Para las ETAS se instalarán los conjuntos de instrumentación analítica detallados en la Tabla II.

**Tabla II: Instrumentación analítica a instalar**

Medidores
<p><b>Medidor de turbiedad:</b> De 0 - 100 NTU. 2 por cada ETA, instalados 1 antes del clarificador y el otro luego del filtro.</p>
<p><b>Medidor de pH:</b> Rango -2 a 14 pH. Se instalarán 2 sensores por cada ETA conectados a 4 transmisores. Se instalarán 1 antes del clarificador y 1 luego del filtro.</p>
<p><b>Manómetros digitales:</b> Se instalarán 4 medidores de presión (1 por cada ETA), a la entrada del agua bruta, luego del reductor de presión. Rango 0,16 a 16 bar.</p>

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016

**Medidor digital de Flujo e Hidrómetro Digital:** Se instalarán 4 medidores (1 por cada ETA), instalados a la entrada de agua bruta luego del reductor de presión.

**Medidor residual de cloro:** Se instalarán 4 medidores de residual de cloro, 1 para cada ETA, a la salida del filtro. Rango 0 - 20 ppm.

#### Sensores y Actuadores

**Sensor de Nivel del tanque de preparo de producto químico:** 12 Sensores del tipo capacitivo.

**Sensor de Nivel del tanque de agua potable:** Se instalarán 6 sensores de nivel de tipo hidrostático, uno en cada tanque de Agua Potable de las ETAS. Precisión 0,3%.

**Sensor de Nivel de tanque de almacenamiento de producto químico:** 6 Sensores (1 para cada tanque) del tipo interruptores capacitivos para detección del nivel mínimo.

**Sensor de Temperatura:** Se instalaran 6 sensores, siendo 3 para cada conjunto de ETA (1 para temperatura ambiente y 2 para para medición de la temperatura de cada uno de los tanques de agua potable)

**Sensores de Falla y de Estado de las Bombas dosificadoras:** El sistema de control de las bombas dosificadoras (encender/desconectar y setpoint de salida) serán transmitidas a la UAC.

**Control de Bombas dosificadoras:** Se instalarán 4 conjuntos de 5 bombas dosificadoras cada uno, todas del tipo peristáltica, substituyendo a las bombas actuales. Un conjunto por producto químico (Hipoclorito de Sodio, Sulfato de Aluminio, Carbonato de Sodio, Hipoclorito)

**Supervisión y control de los agitadores:** Serán instalados 10 agitadores. 2 para cada ETA A (similares a los actuales) y 3 para cada ETA de agua potable (capacidad para mezclar 1 m<sup>3</sup>)

**Supervisión y control de las válvulas:** Cada válvula tendrá supervisión de estado (abierta y cerrada) a través de contactos cerrados acoplados a su actuador, estos contactos serán conectados a las entradas digitales de la UAC

**Presostatos:** El medidor de presión diferencial deberá controlar la presión entre la entrada y la salida del filtro de arena. En el caso de que la presión diferencial supere el valor parametrizado, el proceso conmutará para el filtro de reserva, y el filtro saturado entrará en proceso de lavado.

### 3.1.5 Estaciones de trabajo (ECL)

Se instalarán dos microprocesadores industriales, con sus respectivos periféricos, accesorios y cables de alimentación y comunicación.

Se instalarán 2 switches de 10/100/1000 Mbps, uno para cada ECL, con el número suficiente de puertos para la conexión entre ECLs y con las UAC

Se instalarán inversores estáticos para la alimentación de los equipos de automatización de la ETA, 1 para cada conjunto de ETA.

## 4 SISTEMA DE PROCESO AUTOMATIZADO

### 4.1 Agua potable

El proceso automatizado será el siguiente:



XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016

---

Se coloca manualmente los productos químicos en los tanques de almacenamiento de solución, preparado para una provisión de 30 días, controlados por sensores de posición mínima.

Se realiza un comando de transporte a través de las bombas dosificadoras (Hipoclorito de Sodio) y sopladores que envían los productos hasta los dosificadores de productos en polvo. Se instalarán válvulas neumáticas que direccionan el transporte a los dosificadores de pesaje (Sulfato de aluminio y Carbonato de Calcio). En tales dosificadores existe un sistema de pesaje para cada producto en polvo con sensores de niveles máximo y mínimo para el control de los productos que luego serán descargados en el tanque de preparo de solución química.

A través de válvulas comandadas automáticamente se permite el paso de agua tratada a los tanques de solución nuevos de 1 m<sup>3</sup> a instalar (con sus respectivos sensores capacitivos).

Los mezcladores funcionan por 10 minutos y luego es abierta la electroválvula principal (solenoides) de entrada de agua bruta. En este momento también, serán encendidas las bombas dosificadoras de Sulfato de Aluminio, Carbonato de Sodio e Hipoclorito de Sodio. Después de la válvula de regulación de presión de agua bruta son instalados instrumentos de medición tales como caudalímetro, hidrómetro, medidor de presión y temperatura para el control digital del sistema.

Los productos son homogenizados con agua bruta a través del mezclador hidráulico, el cual funciona hasta que se llegue a un nivel máximo de agua en el tanque reservorio de agua potable, o se presente una falla general en uno de los equipos.

Serán instalados en la entrada del clarificador y en la salida del filtro de arena medidores digitales de turbiedad, pH y Cloro para medición y control en las diferentes etapas del proceso de clarificación y potabilización del agua antes del consumidor.

El dosificador tendrá un control de alarma ante una falla de la bomba.

El clarificador y el tanque donde es realizada la floculación clarificadora, no necesitan retrolavado. La descarga parcial de lodo se ejecutará a través de la abertura del electro válvula temporizada automáticamente del sistema.

La alternancia del proceso de retrolavado será automático de acuerdo a las condiciones del momento del agua bruta, tal descarga será hecha con flujo de agua del propio tanque para retirar el lodo que queda en la parte de abajo del tanque, debido a la decantación.

Esta variación en el ajuste es hecha en el sistema automático. La alternancia en los tiempos depende de la turbiedad del agua. Cuando más turbia el agua, entonces es necesaria menor periodicidad.

Después del clarificador, el agua pasa por los filtros de arena. Serán dos, con salida unitaria. Cada filtro poseerá un sensor de presión diferencial que detectará las condiciones de saturación del filtro, y el momento para iniciar el retrolavado automáticamente.



XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016

---

Los tanques de agua potable existentes ( $2 \times 100 \text{m}^3$  cada ETA) tendrán instalados sensores de nivel hidroestático y sensores de temperatura que servirán para el proceso automatizado del conjunto de ETAS.

#### 4.2. Agua Industrial

El proceso automatizado para las ETA 1-A y ETA 2-A será de forma similar al proceso automatizado de la ETA 1 y la ETA 2.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Workstatement – 5100-60-G7416-E-R0 – Automatización Estación Tratamiento de Agua (ETAS) de la Central Hidroeléctrica ITAIPU, Julio 2015.
- [2] Especificación Técnica – ESP 032/12 – 5100-20-15200-E – Automatización de las Estaciones de Tratamiento de Agua ETA-1, ETA-2, ETA -1A y ETA-2A, Febrero 2014.