



Comité Nacional Paraguayo

VII SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO

25, 26 y 27 DE OCTUBRE DE 2006



Union de Ingenieros de la ANDE

VI SEMINARIO TÉCNICO – U.I.A

VII/CE-D2-06

EL SISTEMA ADAS PARA ADQUISICIÓN AUTOMÁTICA DE DATOS DE LA INSTRUMENTACIÓN CIVIL DE LA REPRESA DE ITAIPÚ

Oscar Herreros Usher, M. Sc.

Evangelista Caetano Porto, Ing.

Marco Cesar Castella, Ing.

Itaipú Binacional

Paraguay – Brasil

RESUMEN

La instrumentación civil de la represa de Itaipú tiene por objetivo proveer datos que permitan monitorar su comportamiento a lo largo del tiempo. Los instrumentos, que totalizan unos 2300, fueron instalados durante la construcción de la represa o inmediatamente después de finalizada la misma y comprenden piezómetros, extensómetros y péndulos e instrumentos eléctricos empotrados en el hormigón. Los datos se han obtenido de manera manual mediante una rutina diseñada para tal efecto. Los datos fueron registrados inicialmente en planillas en papel y con el tiempo se volcaron a una base de datos en computador.

El sistema de adquisición automática de datos (ADAS), que se instaló a lo largo del año 2005, tiene por objetivo, como lo dice su nombre, automatizar la adquisición de los datos y su almacenamiento y facilitar a los usuarios el acceso a la información. Aprovechando su implantación se han instalado también algunos instrumentos nuevos como medidores totalizadores de caudal. Se han automatizado unos 270 instrumentos, lo que significa el 12% del total. Pero el gran avance que significó de la instalación del sistema ADAS deviene de la actualización tecnológica al pasar de instrumentos mecánicos y de lectura manual a sensores electrónicos y de lectura automática.

El propósito de este trabajo es hacer una descripción del sistema ADAS, los instrumentos y sensores instalados, de los subsistemas de comunicación, de procesamiento y de almacenamiento de datos, así como de su funcionamiento en conjunto. Se agregan también comentarios sobre la experiencia recogida y las lecciones aprendidas durante el proceso de instalación y el breve periodo que lleva en operación.

PALABRAS CLAVES

Sistemas digitales, estructuras civiles, instrumentación.

1 INTRODUCCION

Itaipú es una represa de 7,7 km de extensión, construida sobre el río Paraná en la frontera entre Paraguay y Brasil. Tiene una altura máxima de 196 m y su estructura comprende tramos de presa de hormigón, enrocado y tierra en sus extremos. Completan la estructura un vertedero y una casa de máquinas con 20 unidades generadoras y capacidad instalada de 14.000 MW. La presa de hormigón tiene bloques de gravedad maciza, de gravedad aliviada y de contrafuerte.

La instrumentación instalada en las décadas de 1970 y 1980 está compuesta de 2.300 sensores. Fue usada para acompañar el desempeño de las estructuras cuando el llenado del embalse y luego y actualmente durante la operación de la usina.

Tradicionalmente los datos son adquiridos en forma manual mediante planillas con frecuencias que van de semanal a semestral dependiendo del instrumento que se trate. La recolección de datos se inició ya durante la época de la construcción de la represa. Las lecturas se han almacenado en una base de datos computarizada. Los datos se han utilizado para construir modelos estadísticos para previsión de valores de control y evaluación del desempeño de las estructuras civiles.

2 EL SISTEMA ADAS

Con el propósito de automatizar la obtención de datos de un subconjunto de sensores de los que actualmente constituyen el sistema de supervisión de las estructuras civiles de la represa de Itaipú fue diseñado, adquirido e implantado el Sistema de Adquisición Automática de Datos de la Instrumentación Civil de la Represa (ADAS – Automatic Data Acquisition System for the Civil Instrumentation of the Dam).

Este sistema fue instalado durante el año 2005 y se encuentra en operación desde diciembre de ese año. Sus objetivos principales son a) supervisar el comportamiento de las presas de concreto, enrocado y tierra y sus fundaciones, b) en tiempo real, c) mediante un sistema de monitoreo “en línea” de instrumentos y sensores, y d) obteniendo lecturas con frecuencias ajustables por el usuario.

Las principales características del sistema ADAS pueden resumirse como sigue:

- adquisición de datos de unos 300 puntos de medida distintos, relativos a diferentes tipos de sensores adaptados a instrumentos preexistentes o nuevos, conectados a Unidades de Adquisición Remota donde las lecturas son preprocesadas y almacenadas;
- recolección de datos frecuente, rápida y segura mediante transferencia de esos datos a una unidad control y almacenamiento central donde los datos son convertidos a unidades de ingeniería y almacenamos para ser presentados al usuario y desde donde se puede controlar el sistema en su conjunto.

El sistema ADAS está conformado por cuatro subsistemas con funciones específicas:

1. Subsistema de sensores e instrumentos. Es la interface con el campo. Está compuesto por los instrumentos y sensores que obtienen datos de las estructuras civiles.
2. Subsistema de adquisición remota de datos. Está compuesta por las Unidades de Adquisición Remota (UAR), encargadas de recibir los datos de los sensores,

preprocesarlos, almacenarlos localmente y transmitirlos a la estación central. También forman parte de este subsistema los sensores necesarios para vigilar el estado de funcionamiento de las propias UARs.

3. Subsistema de comunicación, control y procesamiento central. Es el núcleo del sistema. Tiene a su cargo todas las actividades necesarias para el completo manejo del sistema, el almacenamiento central de los datos, su presentación a los usuarios, manejo de alarmas y la comunicación con otros sistemas externos
4. Subsistema de manejo de la alimentación eléctrica. Garantiza que los demás subsistemas puedan funcionar en un régimen ininterrumpido de 24h/7d.

2.1 Subsistema de sensores e instrumentos.

Este subsistema comprende instrumentos preexistentes y otros que fueron instalados con ocasión de la implantación del sistema. La tabla 1 muestra la lista de los sensores e instrumentos que fueron automatizados.

Tabla1. Instrumentos automatizados

| Tipo de lectura | Tipo de instrumento | Cantidad |
|--|---|-------------|
| Desplazamiento de las estructuras | Péndulos directos | 15 |
| Desplazamiento de las estructuras | Péndulos invertidos | 9 |
| Nivel de cursos de agua | Medidores de caudal | 40 |
| Deformación del macizo rocoso de fundación | Extensómetros (total de varillas) | 110 |
| Presión ascendente (fundaciones de presas de concreto) | Piezómetros | 55 |
| Presión ascendente (fundaciones de presas de enrocado y de tierra; interfaces tierra-concreto) | Piezómetros | 21 |
| Desplazamiento de juntas | Medidores eléctricos de juntas | 13 |
| Tensión en el hormigón | Medidores de tensión | 2 |
| Tensión en las armaduras | Medidores de tensión | 3 |
| Lluvia | Pluviómetros | 2 |
| Presión atmosférica | Barómetros | 2 |
| Temperatura | Termómetros (incluidos en los medidores de cuerda vibrante) | 35 |
| Reserva | | 35 |
| Total | | 307(272+35) |

Desplazamientos de las estructuras. Se usan péndulos directos e invertidos. Los péndulos directos detectan los desplazamientos del coronamiento de la presa en relación a su base. Los péndulos invertidos detectan los desplazamientos de las bases de las estructuras en relación a los puntos más profundos del macizo rocoso de fundación.

Deformaciones del macizo rocoso de fundación. Se usan extensómetros de múltiples varillas que están instalados en las galerías y túneles de drenaje de la fundación. Su objetivo es observar el comportamiento de las capas más deformables del macizo rocoso (incluyendo discontinuidades, brechas, etc.) y detectar posibles aperturas de juntas en zonas de fundación sujetas a tensiones, principalmente en aquellas localizadas aguas arriba.

Presiones ascendentes. Estas lecturas son realizadas por dos clases de piezómetros, de tubo y eléctricos de cuerda vibrante.

Caudales de cursos de agua. El objetivo es vigilar las filtraciones a través del concreto o de las fundaciones. Estas mediciones con realizadas por medio de cajas de agua, de modelos triangular o rectangular, leyéndose el nivel de la columna de agua en el interior del canal de aproximación. El instrumento de lectura es de cuerda vibrante.

Desplazamientos de juntas entre bloques de concreto, tensiones en el interior del concreto y refuerzos. Los instrumentos encargados de estas lecturas son resistencias eléctricas leídas por medio de puentes de Wheatstone.

Lluvia. Los pluviómetros de brazos basculantes están instalados en los extremos de las presas de tierra derecha e izquierda, respectivamente.

Temperatura y presión atmosférica. Se realizan mediciones auxiliares con el propósito de compensar el efecto de la temperatura y presión atmosférica sobre los demás sensores. La mayoría de los instrumentos de cuerda vibrante tienen termómetros empotrados. Se han instalado dos barómetros: uno en el coronamiento y otro en las galerías de la presa.

La tabla 2 muestra la cantidad de instrumentos automatizados en los diversos sectores de las estructuras civiles; no se cuentan los termómetros.

Tabla 2. Cantidad de instrumentos automatizados por tramo de la presa

| Sector | Cantidad |
|-----------------------------------|----------|
| Presa de tierra, margen derecha | 9 |
| Vertedero | 30 |
| Presa lateral derecha | 50 |
| Presa de conexión derecha | 16 |
| Casa de máquinas | 42 |
| Presa principal | 55 |
| Estructura de desvío | 27 |
| Presa de conexión izquierda | 24 |
| Presa de tierra, margen izquierda | 16 |

2.2 Subsistema de adquisición remota de datos.

Las lecturas realizadas por los sensores son colectadas y preprocesadas por 24 UARs. Todas las UARs son del mismo tipo. Se han definido siete configuraciones básicas con el objetivo de simplificar las tareas de mantenimiento. En su máxima configuración cada una de ellas permite conectar la siguiente cantidad de instrumentos:

- 1 pluviómetro
- 32 sensores de cuerda vibrante
- 16 termistores embebidos en los instrumentos de cuerda vibrante
- 16 sensores resistivos (medidores de juntas y de tensión)
- 1 péndulo

Las UARs colectan las lecturas realizadas por los sensores con una frecuencia que es ajustable.

El procesamiento de datos consiste en:

- conversión analógico digital
- asignación de sello de tiempo (time-stamp)
- validación
- generación de alarmas

Las UARs almacenan los valores leídos junto con sus atributos de validez y time-stamp. La capacidad de almacenamiento es de hasta 10.000 lecturas por sensor.

Las UARs tienen una función de autodiagnóstico que vigila el estado de la remota misma y de los sensores conectados a ella. Esta información también es memorizada.

La transmisión de información a la estación central se hace a pedido de ésta. El tiempo máximo de transmisión es de 60 segundos.

Las UARs pueden ser configuradas (parametrizadas) ya sea desde la estación central o localmente mediante un computador portátil que se conecta a través de una puerta serial.

Las UARs, excepto dos de ellas, son alimentadas por la red eléctrica de la represa de 220 V-AC. Las otras dos, que se encuentran en las presas de tierra fuera de la red eléctrica de la represa, son alimentadas por paneles solares.

Los componentes principales de las UARs son:

- Datalogger. Campbell Scientific Inc., modelo CR10X2M, con 2 Mb de memoria
- Interface para cuerda vibrante. Campbell Scientific Inc., modelo AVW1. Convierte frecuencia a tensión.
- Multiplexor. Canary Systems, modelo MultiMux.
- Conversor de protocolo RS232 – RS485.
- Sistema de transmisión a la estación central.
- Protectores contra sobretensión, tanto hacia los sensores como hacia la estación central
- Alimentación eléctrica.

2.3 Subsistema de comunicación, control y procesamiento central.

Este subsistema tiene a su cargo el manejo completo del ADAS. Recibe los datos de las UARs, realizando una ronda de solicitudes de información cuya frecuencia es ajustable. Este subsistema está compuesto por:

- La interface de comunicación con las UARs
- Una estación central
- Una estación cliente
- Una red de área local
- Equipos auxiliares

2.3.1 Red de área local.

Esta red está compuesta por switches, firewalls y cableado que conecta entre si a los demás componentes y son sistemas externos, por ejemplo, SCADA.

Los componentes de la red local están distribuidos entre los racks que albergan a la estación central y a la estación cliente.

2.3.2 La interface de comunicación con las UARs

La comunicación entre la estación central y las UARs se hace mediante pares telefónicos, excepto dos de ellas que se comunican vía radio. En cada UAR hay un módem (o radiomódem y transmisor) y del lado de la estación central módems acoplados a conversores RS232 a ethernet.

2.3.3 La estación central

La estación central está compuesta por dos nodos y una unidad de almacenamiento compartida conectados en cluster.

Cada nodo es un computador de arquitectura PC con sus respectivos procesadores, memoria, disco y componentes de red. La unidad de almacenamiento compartido es un conjunto de tres discos físicos bajo RAID-5. El sistema operativo es MS Windows Server 2000, Advanced Edition, que implementa las funcionalidades de la arquitectura cluster. El software supervisor, de procesamiento y presentación de datos es INDACO de Enel.NewHydro, la firma italiana proveedora del sistema.

En la estación central los datos recibidos son convertidos a unidades de ingeniería y almacenados para su posterior utilización en dos bases de datos. Una de ellas es propietaria, estandar de INDACO. La otra, agregada a pedido de Itaipú con el objeto de ganar mayor flexibilidad para eventual procesamiento posterior y para el intercambio de datos con sistemas externos, es de arquitectura relacional y cuyo gestor es MS SQLServer 2000.

INDACO provee las facilidades necesarias para el tratamiento de alarmas, presentación de datos al usuario, parametrización de las UARs y control del sistema completo.

La estación central cuenta también con las facilidades necesarias para el respaldo (back-up) y restauración de los datos.

2.3.4 La estación cliente.

La estación cliente es un PC con sistema operativo MS Windows 2000 que contiene los componentes INDACO que permiten al usuario el acceso a los datos, parametrización de las UARs y control del sistema. Las bases de datos residen sólo en la estación central.

2.3.5 Equipos auxiliares.

Impresoras, unidades de cinta magnética para back-up.

2.4 *Subsistema de manejo de la alimentación eléctrica.*

Este sistema está distribuido entre las UARs y los racks que albergan a la estación central y la estación cliente.

En las UARs consiste de las conexiones, reguladores y llaves de conexión a la red de alimentación de la represa (220 V) y las baterías de respaldo en caso de falla de la red. Dos de las UARs son alimentadas por paneles solares, en esos casos las mismas cuentan con los correspondientes reguladores y baterías.

La estación central está alimentada mediante un sistema dual de UPS. La estación cliente está alimentada mediante una UPS simple.

3 EXPERIENCIA DE UTILIZACION.

A la fecha de la redacción de este trabajo (setiembre de 2006) aún no ha transcurrido un año de funcionamiento del sistema. No obstante, es posible referirse a algunas experiencias de utilización.

El sistema ha demostrado ser robusto, su funcionamiento no ha tropezado con dificultades mayores.

La frecuencia con que se obtienen los datos ha aumentado enormemente pues ha pasado ha ser al menos horaria. Esto hubiera sido imposible a menos que se incrementara en gran medida el personal de campo con los costos consiguientes.

La confiabilidad de los datos también ha experimentado una fuerte mejoría, ya que la adquisición y almacenamiento automáticos ha reducido los riesgos de errores en la lectura y transcripción de los datos.

4 CONCLUSION.

El comportamiento de las estructuras pasó a ser vigilado 24 horas por día, tornando más eficiente el trabajo de supervisión y mantenimiento, aumentando la confiabilidad y la seguridad del emprendimiento hidroeléctrico.