

# PRUEBA PILOTO PARA EL DESARROLLO Y AUTOMATIZACIÓN DE LA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA TUNJITA DE AES CHIVOR

[William Alarcón](#) (AES CHIVOR), [Fabián Toro](#) (AES CHIVOR)  
[Hermann Fuquen](#), [Claudia Sánchez](#) (COLINNOVACION)

**Abstract**— La creciente necesidad de recursos energéticos sostenibles ha incentivado la creación de nuevas fuentes de generación que satisfacen ese requerimiento, así como esquemas de “generación eléctrica distribuida”, donde las fuentes de energía se ubican cerca del consumidor. Una de esas alternativas son las pequeñas plantas hidroeléctricas (PCH). El presente artículo hace un resumen del desarrollo del proyecto piloto que marca la curva de aprendizaje tecnológico de la empresa AES Chivor que a su vez se constituye en un proyecto demostrativo en este tipo de inversiones. Los retos adicionales de este desarrollo, están relacionados con la incorporación de tecnologías de información y comunicaciones para lograr que esta pequeña central sea totalmente automatizada, para controlarse de manera remota.

**Index Terms**— Generación Eléctrica Distribuida, PCH, Automatización y Control

## 1. INTRODUCTION

Después de lograr la aprobación de las entidades nacionales que regulan el sector eléctrico, AES Chivor inició en junio de 2012, los diseños, construcción y montaje de los equipos requeridos para la puesta en servicio y operación de la Central Hidroeléctrica Tunjita, la cual se localiza en el área de influencia del municipio de Macanal y en el entorno del Embalse La Esmeralda asociado a la Central Hidroeléctrica de Chivor.

AES Chivor concibe este proyecto sustentado en su equipo de ingeniería, donde se automatizarán varios procesos permitiendo su control de manera remota, siendo una central de generación pionera en su modo de operación en el país. Este ha sido un proyecto de alto impacto en el desarrollo de conocimiento para la compañía así como para una serie de proveedores nacionales, por cuanto se cuenta con la asesoría técnica especializada y los servicios tecnológicos de una empresa de ingeniería Colombiana para el diseño y construcción de las obras civiles y de infraestructura

### 1.1 SISTEMAS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA

Se conocen así los sistemas de generación o distribución de energía eléctrica a pequeña escala ubicados cerca o dentro de los centros de carga (Zeballos y Vignolo, 2000). Estos sistemas generan un cambio importante en el suministro de energía eléctrica, y son una oportunidad tanto para sistemas interconectados como no interconectados. (COLCIENCIAS, 2005).

Dentro de estos sistemas se encuentran las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, la tecnología de biomasa, celdas de hidrógeno, energía solar, entre otras fuentes no convencionales de energía.

### 1.2. PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS (PCH)

La energía de las corrientes de agua pequeñas puede aprovecharse en plantas de generación compactas. Esta fuente de energía limpia juega un rol vital en la electrificación rural en caso de países en desarrollo. (Jeffs, E. 1979). Además, las plantas compactas tienen un amplio y subutilizado potencial en muchas áreas del planeta y que pueden signi-

ficar una contribución importante en las necesidades de energía del futuro (IASH, 2011).

La tecnología de las pequeñas hidroeléctricas ya es efectiva, eficiente y está probada, pero hay un espacio para la investigación y desarrollo de controles para esta tecnología (Doolla &Bhatti, 2006). Muchas de las PCH usualmente requieren una presa; sin embargo, en algunas ocasiones no requieren esta presa o un reservorio de agua significativo.

Las pequeñas centrales Hidroeléctricas (PCH) han sido utilizadas ampliamente para el suministro de electricidad a mediana escala, en sistemas interconectados y asilados. Las plantas serán del tipo filo de agua, lo que lleva a operarlas con corrientes de agua de alta carga de sedimentos durante gran parte del año. Se requiere el desarrollo de equipos robustos para el manejo de estas cargas, como las turbinas de impulso, que permiten cubrir una mayor velocidad específica. Esto se ha venido haciendo con turbinas de reacción que no dan la robustez exigida. Este desarrollo será útil en países con recursos hídricos dispersos. (Colciencias, 2005)

### 1.3 POTENCIAL DE LAS PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS EN COLOMBIA.

Colombia ha sido clasificada, como el cuarto país en el mundo con capacidad hidráulica. Según las estadísticas, Colombia tiene un caudal en los principales ríos de 52.075, m<sup>3</sup>/s y un área total de 1.141.748 km<sup>2</sup>. En cuanto a hidroelectricidad en proyectos grandes, según el Inventario de Interconexión Eléctrica S.A. -ISA-, se cuenta un potencial de 93.085 MW con unos inventarios de 308 proyectos mayores de 100 MW. De este potencial se han instalado 7.700 MW. Según el Plan Energético Nacional - PEN-, en pequeñas Centrales Hidroeléctricas, se ha estimado un potencial global de 25.000 MW instalables, de los cuales según el inventario del Programa Nacional de Energías No Convencionales y de estudios adelantados por la Universidad Nacional de Colombia, se han construido 197 Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, con una capacidad instalada aproximada de 168,2 MW. A pesar de contar con este gran potencial, en proyectos grandes sólo se ha explotado un 8,27% y en Pequeñas centra-

les hidroeléctricas el 0,67%.

## 1.4 SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN PARA PCH.

Actualmente, se están desarrollando esfuerzos para mejorar la eficiencia de las PCH, que incluyen: avances recientes en electrónica, para facilitar la operación de la turbina y el generador a velocidades variables; así mismo, proyectos relacionados con el control electrónico y la telemetría, permitiendo monitorear e intervenir en la operación de la PCH de forma remota, disminuyendo costos y mejorando la eficiencia y calidad del servicio.

Estos sistemas de automatización permiten realizar avances en la eficiencia de la PCH, así como mitigar efectos de las limitaciones de este tipo de generación.

## 1.5. UN PROYECTO SOBRESALIENTE Y ÚNICO:

El proyecto inyectará a la zona oriental de Boyacá una energía que requiere la población de influencia y ha sido pilar fundamental para avanzar en planes de expansión regional.

Dadas sus especiales características, el proyecto PCH Tunjita quedó registrado ante la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático, lo cual significa que es un proyecto que reduce mitiga las emisiones de gases efecto invernadero y ha sido reconocido por su favorable impacto ambiental, social y económico para la zona donde se encuentran sus instalaciones. Así mismo, fue reconocido por el Gobierno Nacional de Colombia a través de Colciencias como un Proyecto de Desarrollo Tecnológico en sus procesos, al involucrar aplicaciones de automatización que aprovechan los recursos naturales y brinda desarrollo a la región y al país.

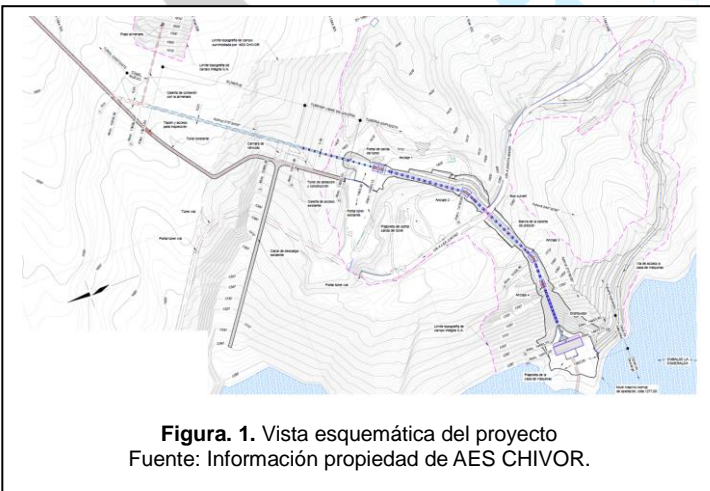


Figura. 1. Vista esquemática del proyecto  
Fuente: Información propiedad de AES CHIVOR.

En efecto, se destaca por la tecnología requerida para su operación y su fundamento en optimización energética que consiste en aprovechar dos (2) veces el mismo recurso hidráulico para generación de energía eléctrica usando infraestructura de embalse y túnel ya existente. Para tal fin fue necesario considerar una topología especial que produzca la mayor energía eléctrica posible con dos (2) generadores de turbina Francis de 9,8 MW cada uno, integrados a un transformador elevador de 13.800 a 115.000 voltios para conectarse a una nueva subestación construida por la Empresa de Energía de Boyacá, la cual permitirá exportar la energía al Sistema Interconectado Nacional- SIN. Las aguas turbinadas se descarga-

rán al embalse La Esmeralda para ser nuevamente aprovechadas en la Central Chivor. Así mismo, las aguas que superen los requerimientos de las turbinas Francis serán también desviadas al embalse La Esmeralda mediante dos (2) válvulas de derivación con capacidad para evacuar hasta 20 m<sup>3</sup>/s cada una.

## 1.6. GEOGRAFÍA DEL PROYECTO:

La Casa de Máquinas estará ubicada en inmediaciones del municipio de Macanal, departamento de Boyacá y será del tipo superficial donde albergará las dos (2) unidades, tableros de control, protección y fuerza, así como los sistemas de servicios auxiliares requeridos. La subestación de transformación 13,8/115 kV y la bahía de conexión a 115 kV serán de propiedad de la PCH. La subestación Tunjita 115 KV (propiedad de EBSA).

Las estructuras civiles de túnel de conducción y bocatoma se localizan entre los municipios de Macanal, Garagoa y Miraflores. La casa de Máquinas se encuentra alejada de la zona de embalse de Tunjita unos 15 km en línea recta, sin embargo, debido a las condiciones geográficas de la zona es necesario usar rutas alternas que toman en promedio unas 2 horas de tránsito entre los diferentes puntos. Adicionalmente, la casa de máquinas de esta pequeña central, se encuentra alejada de la planta principal de Chivor, desde donde se realizará el control y supervisión remotos de toda la instalación de Tunjita, lo que incrementa el reto para un control óptimo de las instalaciones localizadas en distintos puntos.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 SUPERVISIÓN Y CONTROL REMOTOS INNOVACION PARA LAS OPERACIONES DE LA CENTRAL TUNJITA

Realizar la Operación remota de un proyecto tan especial como la PCH Tunjita implica cambiar la manera de cómo se podría asegurar su eficiencia y desarrollar algoritmos muy específicos a las condiciones requeridas. Para cumplir con los criterios de seguridad, confiabilidad, y eficiencia en la operación de la Central Tunjita, se desarrolla un Sistema de Supervisión y Control (SCADA) que radica su nivel de inteligencia y complejidad en tres (3) aspectos fundamentales: La topología especial del proyecto que define varias variables de control, la ubicación geográfica de las variables a controlar y los medios para realizar la operación remota de la PCH desde la Central Chivor.

#### 2.1.1 VARIABLES DE CONTROL:

La inteligencia de control debe integrar simultáneamente al menos cinco (5) variables: (i) Medición en línea de los caudales aportantes al embalse de Tunjita. (ii) Medición en línea del nivel del embalse en bocatoma ubicada a 20 Km de la Planta. (iii) Supervisar la posición y mandos para la apertura o cierre automáticos de las válvulas que desviarán al embalse La Esmeralda los caudales excedentes que no son turbinados por la PCH. (iv) considerar la curva de cargabilidad del generador y (v) Curva de eficiencia de la turbina Francis. Lo anterior sin considerar las variables de control de despacho, y de las variables de la red eléctrica del SIN.

#### 2.1.2 REDES DE COMUNICACIÓN INTERCONECTAN LOS DIFERENTES SITIOS GEOGRÁFICOS DEL PROYECTO:

Por su parte, la operación remota desde la Central Chivor ubicada a 40 Km de la PCH Tunjita, permitirá aprovechar la experiencia y conocimiento de las personas y optimizar los procesos de calidad ya existentes en

Chivor. El Desarrollo Tecnológico aquí generado, permitirá integrar conocimiento, tecnología y experiencia en un solo propósito: Operar la PCH en forma segura, confiable y eficiente.

Superar obstáculos de la agreste geografía de la región ha sido otro reto importante para llevar en forma exitosa las comunicaciones entre los diferentes puntos. La disponibilidad y redundancias serán variables que deben ser garantizadas para la operación remota de la PCH. Sinergias con las empresas de transporte de energía, comunicaciones y de tecnología convergerán en el objetivo propuesto. Importantes estudios de compatibilidad magnética, protección eléctrica, resistencia de materiales deberán soportar los diseños de las redes. Sistemas de computación, servidores y ciberseguridad serán también componentes primordiales.

Para tal fin se implementaron redes de fibra óptica y elementos asociados que permiten una comunicación rápida, confiable y segura y se desarrollarán algoritmos de control que permitan la integración del SCADA existente en Chivor con el nuevo SCADA de la PCH Tunjita, de tal modo que desde Chivor se pueda realizar cualquier maniobra en las unidades, la subestación de conexión en 115 kV, variables en ríos y embalse, poner en marcha las dos (2) unidades y conectarlas a la Red o viceversa y supervisar las condiciones de la subestación, sistemas auxiliares, cámara de válvulas, bocatomas, etc.

Se estima que el SCADA requiera transmitir unas tres mil (3.000) señales en tiempo real entre los puntos geográficos asociados a las instalaciones.

Algunas características específicas serán:

#### Supervisión en bocatoma:

Señal de nivel de embalse y de caudal de los tres (3) ríos aportantes, transmitidos en tiempo y un sistema de circuito cerrado de televisión CCTV. Dichas señales son requeridas para regular la operación de las válvulas de descarga y para regular la generación de las unidades de la planta.

#### Supervisión y Control de Válvulas de Descarga:

Equipos e instrumentación digital que originan las señales de supervisión, el control local mediante interfaz hombre-máquina (IHM) y remoto desde el SCADA de la planta. Se consideran entre otras, las señales de posición, porcentaje de apertura, caudal evacuado y variables análogas de niveles de aceite y presión en tanques de centralinas, tensión de servicios auxiliares, etc. La operación de las válvulas debe cumplir con parámetros tales como vibraciones, ruido, tiempos de apertura/cierre, estas variables deberían ser incluidas en la supervisión. Considerar los sistemas de respaldo para el suministro de servicios esenciales a los equipos y al área donde sean instalados. Se incluye el sistema de CCTV para realizar el monitoreo del área para control de accesos.

#### Supervisión y Control de unidades, transformadores y servicios auxiliares:

Los despachos de energía de la Planta se realizarán mediante los algoritmos que permiten el control de paro/arranque de cada unidad, sincronización al SIN y toma de carga de acuerdo con las curvas de cargabilidad establecidas. Algunas de las variables eléctricas, tales como Potencia activa, potencia reactiva y voltajes se enviarán al sistema SCADA del Centro Nacional de Despacho-CND para permitir la supervisión remota desde el CND.

**Supervisión y Control de Patio y Bahías de Conexión:**  
Tableros de control de las bahías de generación, de línea y barras serán operados localmente. Las señales de control de dichas bahías se deben centralizar en el Sistema SCADA de Tunjita para realizar la supervisión y control remoto desde la sala de control de la Planta Tunjita y desde allí transportarlas a la Central Chivor mediante la red de comunicaciones.

#### Sistema de Medición de Energía:

Para efectos de las transacciones comerciales de la energía producida y cumpliendo con la reglamentación vigente, se implementará el sistema de medición de energía en tiempo real mediante contadores de energía activa y reactiva ubicado en la frontera de generación. Las lecturas de contadores se deben enviar mediante redes de comunicación a los computadores de gestión y al SCADA de la planta Tunjita y al centro de control de Chivor.

### 3. RESULTADOS

En la actualidad (marzo 2014), el proyecto se encuentra en fase de construcción de la obra civil de casa de máquinas, refuerzo estructural del túnel de conducción finalización de las obras de la subestación de conexión (Ver Figura 2). Se estima su entrada en operación para mayo de 2015.



Figura. 2. PCH Tunjita en Construcción 2014.  
Foto: AES CHIVOR

### 4. CONCLUSIÓN

La presente propuesta describe una iniciativa para la generación de energía eléctrica desde una pequeña central hidroeléctrica que permitirá su operación de manera remota gracias a la aplicación de tecnologías de control automático y en red para la optimización de su operación. Se espera esta pequeña central entre en operación integral a mediados del año 2015, donde se reconocerán sus bondades tecnológicas y abrirá posibilidades de investigación para nuevos mecanismos de automatización y diseño de este tipo de pequeñas centrales.

## BIBLIOGRAFÍA

COLCIENCIAS, Plan Estratégico Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería. 2005-2015.

Doolla, S. and T. Bhatti (2006). "Automatic generation control of an isolated small-hydro power plant." *Electric power systems research* 76(9): 889-896.

IASH- International Association for Small Hydro, 2011. Definition of SHP. See also: <http://www.iash.info/definition.htm>.

Jefferies, E. J. (1979). "The application potential of hydro power." *Energy* 4(5): 841-849.

ZEBALLOS, R. y VIGNOLO, J.M. (2000) ¿Redes de transmisión o generación distribuida? Facultad de Ingeniería-IIE Montevideo.

