

**EXPERIENCIAS EXITOSAS ADQUIRIDAS EN LA MODERNIZACIÓN DE SISTEMAS  
DE CONTROL  
CASOS DE ESTUDIO:  
OPERACIÓN REMOTA CENTRALES HIDRÁULICAS**

Danny Stiven Ramirez Bermudez  
Empresa de Energía del Pacífico E.S.P. S.A  
Calle 15 No. 29B-30 Autopista Cali –Yumbo  
E-mail: dramirez@celsia.com  
Cali – Colombia

Luis Alfredo Esteves Meneses  
Empresa de Energía del Pacífico E.S.P. S.A  
Calle 15 No. 29B-30 Autopista Cali –Yumbo  
E-mail: laesteves@celsia.com  
Cali - Colombia

**Resumen**

En este artículo se presentan las experiencias adquiridas durante el desarrollo de la iniciativa centrada en la actualización tecnológica en una búsqueda futura para la gestión y operación remota de una central hidráulica menor, se presenta la metodología desarrollada en iniciativas que hacen parte de esta visión como son: la actualización de bocatomas en cuatro centrales de la Empresa de Energía del Pacífico EPSA.

**Introducción**

La estrategia implementada en el desarrollo de las iniciativas ha permitido identificar beneficios técnicos desde el punto de vista tecnológico mejorando la seguridad y confiabilidad del proceso, beneficios financieros al cumplir con las expectativas de retorno para los proyectos realizados por la compañía, disminución de riesgos asociados a la actividad ejecutada por personas en los sitios intervenidos, mejorando su calidad de vida y bienestar. Mediante la implementación de nuevos modos de control se ha optimizado el uso del recurso hídrico disponible para

generación, garantizando el caudal ecológico establecido en cada central en cumplimiento a los requerimientos legales de la Autoridad Ambiental.

**Metodología**

Se plantea una metodología descrita en cinco etapas: la primera etapa se basa en la identificación de las necesidades y requerimientos del personal de cada central, en la segunda etapa se define el alcance de los trabajos a desarrollar para mejorar las condiciones existentes identificadas en la etapa uno, la tercera etapa se refiere al establecimiento del equipo de trabajo multidisciplinario que garantice la ejecución sostenible de las iniciativas, en la cuarta etapa se definen las estrategias para una implementación exitosa de las actividades y finalmente en la etapa cinco como parte del ciclo PHVA se plantean los indicadores que permiten realizar el seguimiento.

De acuerdo con la metodología desarrollada se encontraron los siguientes hitos, los cuales son de amplia cobertura para el desarrollo de iniciativas de actualización tecnológica que involucren el proceso de operación remota:

1. Descripción general del funcionamiento del sistema a intervenir.
2. Definir equipo humano de trabajo para el desarrollo de la iniciativa.
3. Verificación de los requerimientos planteados en la normativa ambiental aplicable a la central hidroeléctrica o sitio de intervención.
4. Identificar variables críticas de monitoreo y/o control para la operación remota.
5. Identificar equipos y sistemas involucrados para control y monitoreo remoto de las variables críticas.
6. Identificar los equipos, sistemas y subsistemas que se tienen y cuales hacen falta para realizar la operación remota.
7. Evaluación de funciones del personal actual en el sitio a intervenir
8. Definición de las nuevas funciones para el personal.
9. Realizar la gestión de riesgos asociados al tener operación remota del sistema intervenido.
10. Gestión social sobre la transición hacia la operación remota.
11. Realizar plan de mantenimiento del sistema intervenido.

### **Implementación**

Como caso de estudio se presenta la aplicación de la metodología descrita anteriormente en las bocatmas de algunas centrales hidroeléctricas menores de 20 MW. En la Figura 1, Figura 2 y Figura 3 se evidencian la disposición de las bocatmas desde una fotografía aérea.



**Figura 1. Boca toma Amaime**

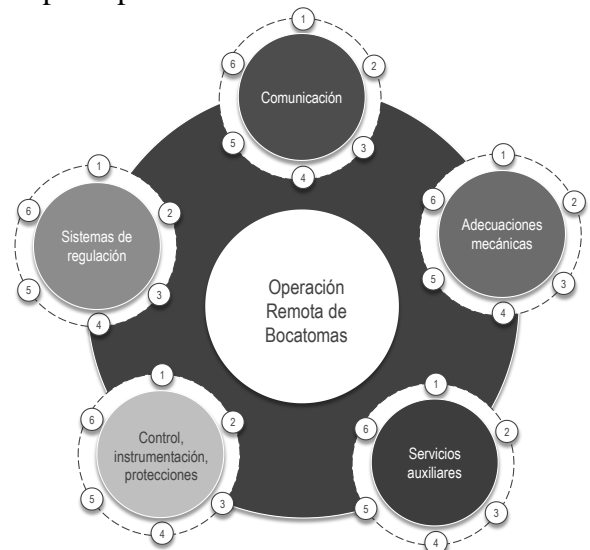


**Figura 2. Boca toma Tulua Alto**



**Figura 3. Boca toma Tulua Bajo**

De acuerdo con la validación de los sitios y sistemas a intervenir, en la Figura 4 se presenta los principales sistemas a intervenir.



**Figura 4. Sistemas principales a intervenir**

### **Variables críticas**

Para la operación remota de las bocatomas se deben monitorear y/o controlar las siguientes variables:

- Niveles:
  - Nivel azud, requiere respaldo
  - Nivel canal ecológico
  - Nivel canal aducción
  - Nivel tanque de carga canal N1 – entrada túnel, requiere respaldo
  - Nivel tanque de carga canal N2 – tanque
- Sedimentos
  - Concentración sedimentos
  - Nivel sedimentos en desarenadores

### **Sistemas – equipos críticos**

Para garantizar el monitoreo y/o control de las variables críticas para la generación y el cumplimiento de caudal ecológico, se debe realizar la operación remota en las bocatomas de los siguientes sistemas y/o equipos:

- Compuerta radial
- Compuerta entrada desarenador 1
- Compuerta entrada desarenador 2
- Compuerta salida desarenador 1
- Compuerta salida desarenador 2
- Limpia rejillas captación
- Limpia rejillas entrada túnel

### **Sistemas monitoreo críticos para la operación remota**

Los sistemas a monitorear en la bocatoma son:

- Azud
- Canal aducción
- Desarenadores
- Tanque de carga

El monitoreo se realizará por medio de:

- Sistemas de indicación remota de niveles y sedimentación
- Sistemas de cámaras en puntos críticos
- Sistemas de iluminación de puntos críticos

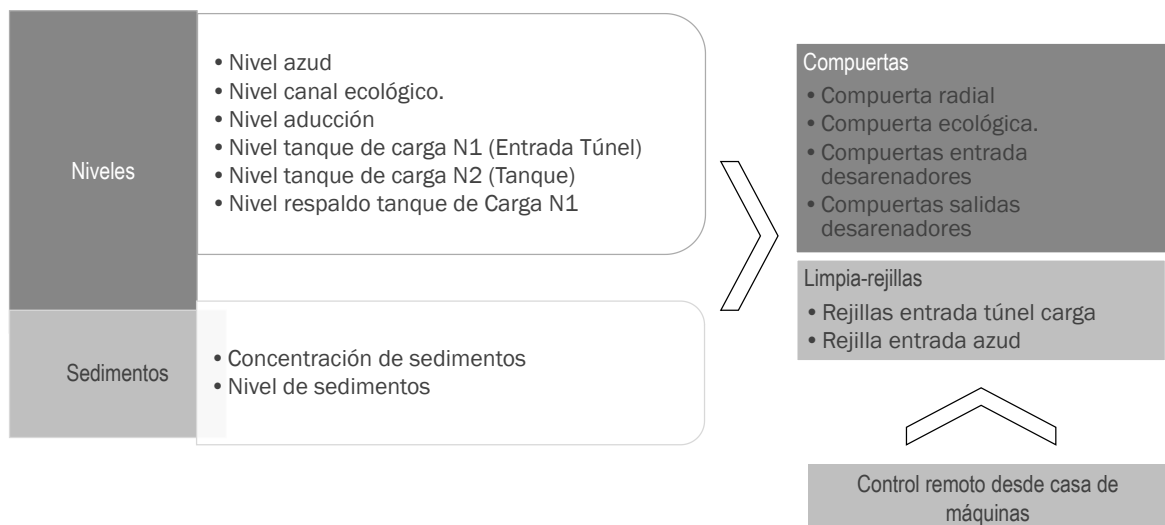
### **Sistemas secundarios para la operación remota**

- Sistema de alimentación eléctrica.
- Sistema de comunicaciones desde bocatoma hasta casa de máquinas (se propone por medio de fibra óptica con velocidad de 1 a 10 Gb/s)

### **Sistemas de último recurso**

Evaluar los sistemas, equipos y protocolos de contingencia como respaldo para la situación más crítica para la operación remota

En la Figura 5 se presenta el resumen de lo descrito anteriormente.



**Figura 5. Definición variable y equipos críticos**

## **Resultados**

### **Intervención bocatomas**

Como parte del proceso de intervención en ejecución, en las siguientes figuras se ilustra parte de los equipos y sistemas planteados para la ejecución de la iniciativa.



**Figura 6. Intervención Boca toma Amaime**



**Figura 7. Intervención Boca toma Tulua Alto**



**Figura 8. Intervención Boca toma Tulua Bajo**

En la Tabla 1 se presenta parte de los beneficios y riesgos socio ambiental identificado para la iniciativa, así como también las acciones propuestas que permiten fortalecer los beneficios del proyecto y mitigar los riesgos identificados. Se identifica como un punto clave la comunicación asertiva con los equipos humanos, en búsqueda de disolver cualquier duda referente al objetivo real de este tipo de intervenciones en la cual se busca reducir los riesgos locativos a los que se ven expuestas las personas, mejorando sus condiciones de trabajos.

Como parte del proceso se realizó la recopilación de todos aquellos incidentes, que desde el punto de vista del “operador” u encargado de actividades en la zonas intervenidas, eran los mayores riesgos locativos a los que se veían expuestos en su trabajo entre los cuales resaltan el riesgo en el desplazamiento a sitios remotos, exposición a condiciones atmosféricas adversas (derrumbes, empalizadas del rio), entre otros.

Este proceso de sensibilización se ejecuta a través del equipo de analistas sociales, lo cual permitió mitigar el impacto generado por el cambio. La mayor estrategia para mantener el personal actual y mantener la correcta operación de la central, es implementar brigadas que atiendan varias centrales por turnos o por eventos de mantenimiento y limpieza en las captaciones, así se afecta en menor medida las funciones que desempeñan actualmente, se fomenta el empleo con responsabilidad social y se garantiza la adecuada operación y mantenimiento de las centrales.

Gracias a la capacidad técnica desarrollada en conjunto con los diferentes frentes de trabajo desarrollados para este tipo de iniciativas, se ha iniciado el proceso de actualización para la gestión remota de dos unidades de generación presentes en el complejo de generación Río Cali.



**Tabla 1. Presentación beneficios y riesgos socio ambientales identificados inicialmente**

Aspectos	Impactos socio ambientales	Acciones propuestas
Actualizar sistemas de control	Beneficio: Mejorar la confiabilidad de los métodos utilizados para el control del caudal ecológico en la central	Documentar las mejoras implementadas relacionadas con el control de caudal ecológico de tal manera que se pueda llevar la trazabilidad y el histórico de las actualizaciones realizadas
Maximizar el aprovechamiento del recurso hídrico	Beneficio: Optimización del uso del recurso hídrico, lo cual aporta al cumplimiento del Plan de Uso Eficiente y Ahorro del Agua (PUEAA)	Actualizar el PUEAA de cada central y presentarlo a la respectiva autoridad ambiental
	Riesgo: Utilizar mayor caudal del asignado para generación de energía eléctrica	Verificar que no se utilice un mayor caudal al asignado por la Autoridad Ambiental. El riesgo será mitigado implementando el control de nivel con consignas y limitadores, de tal manera que se garantice el caudal ecológico establecido para la central
Implementar la capacidad de control remoto	Riesgo: Afectación al personal que actualmente opera los sistemas, por reubicación o cambio de funciones	Implementar un proceso de sensibilización para minimizar el impacto generado por el cambio. La estrategia es implementar brigadas que atiendan varias centrales por turnos o por eventos de mantenimiento y limpieza en captaciones

Con la implementación de estas intervenciones se ha mejorado la confiabilidad: la modernización de los sistemas y equipos asociados a las unidades de generación, permite tener un mayor monitoreo de las variables críticas del proceso, diagnosticar las fallas, aumentar la seguridad y aumentar la disponibilidad de las unidades ante el Sistema Interconectado Nacional (SIN).

Por la parte financiera [1] se han obtenido evaluaciones positivas con este tipo de iniciativas que apalancan la viabilidad del proyecto, como ejemplo en la Tabla 2 se relaciona la energía promedio generada en una de las centrales objeto de actualización, debido a que la energía generada es una variable dinámica que cambia constantemente de acuerdo a los factores hidrológicos que afectan al país, bien sea la temporada de El Niño (calor) o La Niña (lluvia). Para el desarrollo del análisis financiero se usa el promedio

histórico anual de la central, se toma un registro base desde el 2010 hasta Agosto de 2017 y se estima el precio de Bolsa promedio en un valor de \$111 kW-h. La tasa mínima de retorno requerida esperada por la compañía para un proyecto de este tipo es de 9,94% y se asume una variación anual del IPC del 3,5% para todos los costos del proyecto. Se plantea una reducción de costos del 33,33%, esto gracias a que los nuevos equipos y sistemas tienen mayor vida útil y requieren de menores intervenciones de mantenimiento durante el año.

La experiencia de proyectos realizados en otras de las centrales hidráulicas de la compañía, utilizando sistemas de control, monitoreo y protección similares, muestra que los costos de operación pueden llegar a reducirse hasta la tercera parte.

**Tabla 2. Análisis financiero inicial**

Ítem	Valor	Unidad
Energía promedio generada	6.500.000	kW-h/año
Precio de bolsa promedio	\$ 111	COP
TMRR	9,94%	Porcentaje
IPC	3,50%	Porcentaje
Reducción de costos	33,33%	Porcentaje

**En la**

Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos en el análisis de la viabilidad financiera del proyecto. Con el análisis financiero se determinó que el proyecto es viable de acuerdo con los siguientes resultados: Tasa Interna de Retorno (TIR: 10,14%) es mayor que la Tasa Mínima de Retorno Requerida por la compañía para este tipo de proyectos (TMRR: 9,94%), el valor presente neto es positivo y la producción del proyecto es mayor que los costos necesarios para su implementación.

Con el análisis de viabilidad realizado se encontró que el periodo de recuperación de la inversión es de 5 años. Estas iniciativas son muy atractivas técnicamente debido a que permiten maximizar el aprovechamiento del recurso hídrico, implementar la capacidad de control remoto de la central, implementar nuevos modos de control, aumentar la eficiencia del proceso, mejorar la confiabilidad, mejorar la capacidad de diagnóstico de las unidades de generación, reducir los costos de operación con la implementación de tecnología con mayor vida útil y ser amigable al mismo tiempo con el medio ambiente.

**Tabla 3. Resultados TIR y VPN**

TIR	10,14%
VPN	\$7.868.301
Periodo recuperación de la inversión (Años)	5
Viabilidad del proyecto	Proyecto Viable

**Conclusiones**

Las experiencias adquiridas en esta implementación han permitido reproducir a corto plazo las mejores prácticas aprendidas durante los distintos procesos (Know How), garantizando la articulación de las nuevas tecnologías con el entorno social y ambiental.

Mediante la correcta identificación del riesgo de afectación al personal que actualmente opera las bocatomas, por reubicación o cambio de funciones, se realiza un proceso de sensibilización a través del equipo de analistas sociales que permitió mitigar el impacto generado por el cambio.

**Referencias bibliográficas**

[1] Garcia O. L. (2009). Administración Financiera: Fundamentos y aplicaciones (4 edición).

Danny Stiven Ramirez Ing Electricista.  
Ingeniero de Gestión Técnica Generación Hidráulica EPSA.  
Tel: (57) (2) 321 0000 Ext: 52291  
Celular: (57) 318 212 8842  
Calle 15 No. 29B-30 Autopista Cali-Yumbo  
E-mail: dramirez@celsia.com  
Cali – Colombia

Luis Alfredo Esteves M.Sc, Ing Electricista.  
Ingeniero de Mantenimiento Eléctrico Generación Hidráulica EPSA. Experiencia en operación y mantenimiento de Centrales Hidroeléctricas, Actualización tecnológica.  
Tel: (57) (2) 321 0000 Ext: 52988  
Calle 15 No. 29B-30 Autopista Cali-Yumbo  
E-mail: laesteves@celsia.com  
Cali – Colombia