

Sección **ESPECIAL**



Diagnóstico de pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH)

Diagnosis of small hydropower plants (SHP)

RAMIRO ORTIZ FLÓREZ

PhD. en Evaluación de Recursos Energéticos Renovables. Ingeniero Electricista.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2498-9496>

ramiro.ortiz@correounivalle.edu.co

Recibido: 12/04/2026 Aceptado: 8/05/2026

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

En este artículo se presentan metodologías para el diagnóstico de PCH, con un aporte importante, basado en la experiencia del autor al hacer el diagnóstico de 16 proyectos con una capacidad nominal en placa de 45,9 MW, los cuales han operado en un rango entre 50 y 115 años. Esta experiencia podrá contribuir a quien esté interesado en extender la vida útil de su PCH.

Palabras claves: pequeña central hidroeléctrica, diagnóstico, rehabilitación, modernización.

Abstract

This article presents methodologies for the assessment of small hydropower plants (SHP), with a significant contribution based on the author's experience in diagnosing 16 projects with a combined nameplate capacity of 45.9 MW whose operational life ranges between 50 and 115 years. This experience may provide valuable guidance to those interested in extending the service life of their SHP.

Keywords: small hydropower plant, assessment, rehabilitation, modernization.

INTRODUCCIÓN

Desde el momento de la aplicación comercial de la energía eléctrica (EE), a finales del siglo XIX, no ha dejado de ser un factor determinante para la economía y el desarrollo. Si bien se sabe que la EE se utilizó en principio para los sistemas de alumbrado público de las principales ciudades, en remplazo de los faroles de petróleo y gas, después se convirtió en la fuerza motriz que necesitaban la industria y el comercio, y a la vez se constituyó en una herramienta necesaria para el confort de los hogares.

Las primeras centrales de generación de energía eléctrica (GE) eran, por lo regular, hidráulicas de bajas potencias con generadores de corriente continua, ubicadas cerca de los centros de consumo debido al escaso desarrollo del transporte de la EE y destinadas para los alumbrados públicos. Posteriormente, a mediados de la primera mitad del siglo XX, el desarrollo de la GE en corriente alterna permitió aumentar la potencia y la capacidad de transmisión, lo cual llevó a que una gran mayoría de los municipios tuvieran una pequeña central hidroeléctrica (PCH), construida con recursos económicos propios y parte de la ingeniería de diseño y construcción regional.

Este esquema hizo que la prestación del servicio de energía eléctrica fuera dispersa y estuviera a cargo de entidades oficiales, de los órdenes regional y nacional, con distintos niveles de especialización y de participación en la capacidad de generación, transformación y transporte de energía. Sin embargo, la demanda creciente de EE se tuvo que atender con proyectos de mayor capacidad financiados por el Estado, los cuales fortalecieron los sistemas electroenergéticos regionales, los que luego se interconectaron en un sistema nacional. Dicho esquema, que se desarrolló como un monopolio estatal, permitió hacer una planeación integral y una operación conjunta de las empresas regionales, en las que se promovió la construcción de grandes centrales hidroeléctricas, dejando de lado los pequeños aprovechamientos hidroenergéticos.

No obstante, esto dio lugar a ineficiencias, que en conjunto con el alto nivel de endeudamiento pusieron las finanzas del sector eléctrico en condiciones precarias, las cuales se acentuaron en la década de los ochenta y produjeron una delicada situación de insolvencia en la mayoría de las empresas del sector eléctrico.

Lo anterior condujo a que el Estado implementara la “Estrategia de reestructuración del sector eléctrico” en el año 1991, por medio de la cual le abrió las puertas al sector privado para la inversión en nuevos proyectos de generación eléctrica; así, el Estado se convirtió en garante de la prestación del servicio público, y para esto creó entidades encargadas de la regulación, control, inspección y vigilancia.

Esta alternativa de mercado, que incentiva a la par nuevas GE, también permite que los proyectos se modernicen, en especial las PCH que han cumplido su vida útil, sobre todo cuando su tecnología ya es obsoleta y sus componentes se han deteriorado; por este motivo, su ineficiencia reduce su confiabilidad y disponibilidad, al tiempo que incrementa los costos de operación y mantenimiento, lo que afecta directamente sus ingresos económicos.

Por esto se requiere hacer un diagnóstico, en el que se determine la condición de estado del sistema, aplicando diferentes metodologías que fundamenten la decisión de rehabilitar estas pequeñas centrales hidroeléctricas, modernizarlas o repotenciarlas, con el fin de que recuperen su eficiencia y continúen operando en condiciones similares a las originales durante varias décadas.

En este artículo se presentan metodologías para el diagnóstico de PCH, con un aporte importante, basado en la experiencia del autor al hacer el diagnóstico de 16 proyectos con una capacidad nominal en placa de 45,9 MW, los cuales han operado en un rango entre 50 y 115 años. Esta experiencia le servirá a quien esté interesado en extender la vida útil de su PCH.

METODOLOGÍA

Cuando la gerencia observa que hay daños recurrentes en la PCH que producen un aumento en los costos directos e indirectos por actividades de **administración, operación y mantenimiento** (AOM), y además no dispone de información histórica de su mantenimiento, debe tomar la decisión de hacer un diagnóstico que permita evaluar el estado de la planta y los planes de acción que se han de seguir.

El resultado de este diagnóstico es determinar la condición de estado de la PCH y las acciones que hay que implementar para garantizar la operación segura, con un factor de planta que valide la inversión que se debe hacer en la PCH. Finalmente, el diagnóstico pro-

pone acciones para extender la vida útil, bien sea por rehabilitación, modernización o repotenciación, tales como las siguientes:

- **Rehabilitación.** Retorna la eficiencia y la capacidad de la PCH a sus condiciones iniciales de funcionamiento, gracias a adecuaciones en sus obras civiles o a la renovación de equipos electromecánicos en mal estado, con la misma tecnología o similar.
- **Modernización.** Consiste en la instalación de tecnologías que transmiten a otros centros de control sus procesos internos y externos, gracias a dispositivos y equipos de medición y control interconectados; esto incluye la medición de variables hidráulicas, mecánicas y eléctricas, además del estado visual de la planta. En el marco de la modernización es posible instalar o sustituir equipo hidráulico y electromecánico con equipo de control para operación remota, sin que esto signifique un aumento por potencia de la planta.
- **Repotenciación.** Está condicionada por la disponibilidad de captar un mayor caudal del recurso hidroenergético para incrementar su potencia; esto implica, aparte de nuevos permisos, su rediseño y la adquisición de equipos electromecánicos modernos de mayor potencia, con instrumentación para operación y medición remota.

La clave para tomar la decisión técnico-económica que permita extender la vida útil de la PCH, bien sea por rehabilitación, modernización o repotenciación, se basa en una evaluación integral. Para esto se requiere un diagnóstico que integre información de tipo normativo, técnico, ambiental y financiero, seguido de históricos de datos, y posteriormente de pruebas o ensayos a las estructuras civiles y los equipos electromecánicos. La propuesta final de elección de cualquiera de estas opciones está condicionada a permisos que le den viabilidad financiera a la inversión.

En una **pequeña central hidroeléctrica**, el diagnóstico parte de una información básica, que luego fundamenta la aplicación de metodologías para la evaluación de obras civiles o equipo electromecánico, que son las que al final precisan la alternativa seleccionada. En todo caso, el diagnóstico comienza con una información básica.

Información normativa, técnica, ambiental y financiera

Esta es una información base para el diagnóstico, que empieza con la fecha de puesta en operación de la planta, la cual es fundamental para conocer su estado en los marcos regulatorio, contable, técnico y económico, al igual que para hacer un balance de su ciclo de vida económico.

En el diagnóstico, el marco regulatorio indica la vigencia de las licencias ambientales y del alquiler de terrenos (si es el caso); en materia contable, es preciso determinar si el bien ya está depreciado, ejercicio que se encuentra muy ligado a la vida útil de sus componentes, dado que en una PCH es común que los terrenos adquieran un mayor valor en el tiempo; hay que tomar en cuenta que la vida útil de los componentes de una **pequeña central hidroeléctrica** son diferentes. La vida útil de los componentes para las obras civiles (en particular, para la captación) es mayor que la de los componentes para el equipo electromecánico.

El envejecimiento de los equipos de la PCH conlleva salidas no programadas, que reducen su disponibilidad e incrementan las pérdidas en la producción de energía e ingresos; esto significa costos por AOM que se tienden a incrementar, al tiempo que la eficiencia y el factor de la planta disminuyen.

El análisis de la información base permite identificar la pendiente decreciente de los ingresos provenientes por la generación y la pendiente creciente de los costos por AOM. El resultado del diagnóstico en esta etapa determinará el momento en que estas se crucen. Un diagnóstico conservador indicará que en este momento la PCH se ha depreciado, por cuanto la vida económica coincidió con la vida útil. No obstante, la vida económica es más corta que la vida de servicio técnico, es decir, que ningún componente de la PCH se debe reemplazar antes de su depreciación.

En esta primera fase se visualiza la necesidad de avanzar en el diagnóstico y se infiere el impacto de aumentar la vida útil de la **pequeña central hidroeléctrica**. El siguiente paso es identificar en los archivos de la planta datos históricos que, en caso de estar disponibles, es pertinente —en la medida de lo posible— reconstruirlos.

Históricos de datos

El diagnóstico de la **pequeña central hidroeléctrica** requiere conocer la información básica necesaria para

valorar detalladamente la alternativa que se debe seguir. Para esto es pertinente identificar la calidad o la consistencia de la PCH, así como identificar la información que no se encuentra disponible y es importante para proceder a reconstruirla.

Con este propósito, se debe considerar la siguiente información general:

- Datos de la planta (potencia, caída y caudal nominal).
- Número de unidades (potencia y caudal nominal por unidad).
- Fecha de inicio de operación.
- Plano general de la planta, con cotas georreferenciadas, trazado del canal con obras anexas, trazado de la tubería de presión, perfil de la tubería de presión y planos de las obras civiles.
- Planos eléctricos, así como de protección y control de la planta.
- Datos técnicos de los equipos hidromecánicos (compuertas, válvulas, tuberías de conducción y presión).
- Datos de la turbina: tipo, potencia, velocidad, sobrevelocidad, momento de inercia, caída neta (nominal), caudal (nominal) y cota del eje.
- Datos del generador: tipo, potencia, voltaje, corriente, velocidad, sobrevelocidad y factor de potencia.

Para complementar la información general, es pertinente conocer los siguientes datos:

- Área de la cuenca.
- Histograma del caudal concesionado en bocatoma y su permanencia.
- Curva de frecuencias y de probabilidades en bocatoma.
- Caudal máximo y su periodo de ocurrencia.
- Caudal ecológico según la legislación ambiental.
- Granulometría y calidad del agua.
- Altura desde bocatoma hasta el eje de turbina.
- Altura desde el tanque de carga hasta el eje de turbina.
- Altura nominal estática y dinámica desde el tanque de carga hasta el eje de turbina.

Además de la información base, es indispensable conocer la siguiente información histórica de la planta:

- Curva de probabilidad de caudales en bocatoma.
- Histórico de caudales en el canal.
- Generación histórica diaria por hidrogrupo.

- Histórico y causa de las contingencias.
- Estado de la cuenca aguas arriba por reforestación o deterioro.
- Riesgo de amenaza sísmica.

Pruebas y ensayos a las estructuras civiles y equipos electromecánicos

Con base en la información previa, se debe hacer un programa de evaluación que defina los componentes que se van a inspeccionar, seguido por las pruebas y ensayos que requieran las obras civiles y los equipos electromecánicos.

A partir de la fecha de entrada en operación comercial de la PCH, se puede visualizar su vida útil o, en su defecto, la vida remanente para cada una de las obras civiles y el equipo electromecánico. De acuerdo con autores y organizaciones, la vida útil de la PCH en su conjunto debe estar en un rango entre 50 y 100 años; sin embargo, las obras civiles y el equipo electromecánico tienen periodos diferentes, por lo que se presume que se pueden rehabilitar, modernizar o repotenciar. De acuerdo con la Regional SimaPro Centre Switzerland, en su documento *Life Cycle Inventories of Hydroelectric Power Generation* (2012), la vida útil de las obras y los equipos de una PCH debe estar en un rango, tal como se indica a continuación (figura 1).

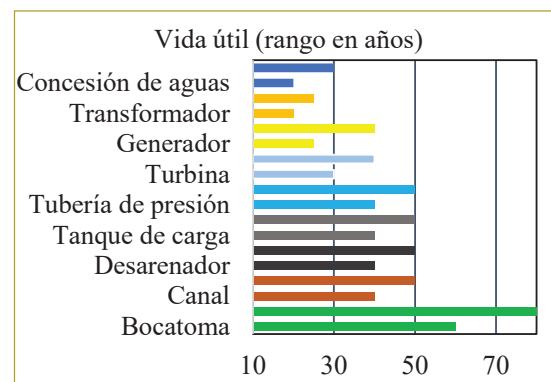


Figura 1. Tiempo de concesión de aguas, vida útil de las obras civiles y equipos electromecánicos.

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de Regional SimaPro Centre Switzerland.

Aparte de la vida útil de los equipos y las obras civiles, es importante considerar la duración de la concesión de aguas para PCH, que generalmente se otorga por un plazo de 20 a 30 años, pero puede llegar hasta los 50 años.

Esta información (figura 1), a partir de la fecha de entrada en operación comercial, es básica para determinar la vida remanente de cada uno de ellos, pero esto depende de cómo haya sido su mantenimiento, del envejecimiento producido por el uso de los equipos y de la fatiga que estos presentan. No obstante, se pueden presentar causas externas que reducen el factor de planta, la eficiencia y su vida útil, tales como el cambio en el régimen hidrológico por efecto del cambio climático, el aumento de la granulometría y pH del recurso energético, inestabilidad en las paredes del canal y operación de la planta fuera del rango técnico.

Un factor relevante para considerar se basa en que la bocatoma se diseña según el caudal máximo que se presenta en un determinado periodo de retorno, el cual en su momento no previó los efectos del cambio climático; por tal motivo, su vida útil será menor en cuanto se estén presentando caudales que superen su diseño en estabilidad.

Una vez que se tiene un dato aproximado de la vida útil de los componentes de la PCH, se verifica la disponibilidad de la información indicada como “histórico de datos”, y ante la ausencia de parte de esta información el diagnóstico indicará su necesidad de reconstruirla para proceder con cualquiera que sea la alternativa futura de la planta. Sin embargo, es probable que haya que actualizar y digitalizar los planos de las estructuras civiles y eléctricas de la PCH con instrumentos de medida más precisos, con sistemas georreferenciados.

Así mismo, es usual desconocer la eficiencia del proceso de transformación de energía, por lo que es necesario cuantificar las pérdidas en la tubería de presión, en la turbina y en el generador. Esta información permitirá determinar la potencia hidráulica a la entrada de la turbina, la potencia mecánica entregada por la turbina y la potencia eléctrica activa generada. Para establecer tales pérdidas se deben instalar instrumentos de medida que permitan conocer los siguientes parámetros: caudal, caída, par motor en el eje de la turbina, velocidad mecánica y potencia eléctrica activa. Gracias a esta medida es posible identificar acciones directas, bien sea en tubería, turbina o generador.

Adicionalmente, se debe actualizar el estudio geológico en las zonas donde se ubican las obras civiles de las PCH para conocer el estado actual del terreno, acción que requiere hacer exploraciones de campo con

sus respectivos análisis de laboratorio, para corroborar la estabilidad actual de las obras y los riesgos que estas tienen. Además, se requiere hacer su modelación en *software* especializado para diferentes condiciones de flujo, con el fin de verificar las láminas de flujo, velocidades, esfuerzo cortante en diferentes condiciones de caudal y periodos de retorno, todo esto complementado con la verificación de las dimensiones.

Una vez que se disponga de esta información, un grupo de expertos inspecciona los equipos de control, protección y medida, además de que identifica los lugares que requieren un análisis más detallado, con toma de muestras o pruebas, que pueden ser las siguientes:

- Toma de muestra del caudal para verificar granulometría y pH.
- Toma de muestra de concreto en las obras civiles donde hay hierro a la vista o fisuras.
- Toma de muestra de la tubería de presión.
- Hacer prueba de vibraciones, calidad de aceite de lubricación y refrigeración, pruebas de vacío y cortocircuito en el equipo electromecánico.

Gracias a la información recopilada en el diagnóstico se puede cuantificar la energía anual media histórica generada en bornes de la planta, valor que se puede comparar con el estándar de generación de PCH similares, que en su defecto mínimo es de 0,7. A partir de este valor se deben identificar las causas, que se originan en indisponibilidades de la planta o, en su defecto, en ineficiencia de sus equipos.

La eficiencia se ha valorado previamente con una de las pruebas ya mencionadas; sin embargo, la indisponibilidad está asociada a diferentes factores, como los siguientes:

- Cambio en la hidrología por aumento de caudales máximos y mínimos durante periodos secos, rangos que afectan la generación.
- Cambio en la granulometría y el pH del caudal que afecta las turbinas.
- Deterioro de las obras civiles por inestabilidad del terreno o filtración.
- Paradas de emergencia recurrentes que afectan la tubería de presión por golpe de ariete.
- Generación de energía en niveles muy bajos que deterioran las turbinas por cavitación.

- Sistema de control para arranque y parada manuales.
- Descargas atmosféricas que desconectan la planta.
- Paradas no programadas por deterioro de equipos auxiliares.

Al final, el estudio diagnóstico presenta un análisis de las causas de la eficiencia y de las indisponibilidades que permite hacer un análisis técnico económico que valide su rehabilitación o modernización. Si este diagnóstico está orientado a visualizar la repotenciación, su resultado le indica las capacidades del recurso, de sus obras hidráulicas y de su equipo electromecánico, complementado con los permisos técnicos y ambientales requeridos.

RESULTADOS

El análisis de las indisponibilidades y sus causas es un tema relevante dentro del estudio diagnóstico, dado que permite comparar la capacidad de generación de la PCH respecto al comportamiento real, información que ayuda a focalizar los esfuerzos en las principales fuentes de indisponibilidad. Como ejemplo se presenta la experiencia en el diagnóstico de 16 proyectos con una capacidad nominal en placa de 45,9 MW, los cuales han operado en un rango entre 50 y 115 años (tabla 1), que podrá contribuir a reducir los fallos de una PCH.

Como se describió previamente, se toma la información de la fecha en que la planta se puso en operación comercial, y según las plantas analizadas se hallaron los siguientes años y potencias (tabla 1).

Al comparar la información de la tabla 1 con la de la figura 1, se advierte que la obra que todavía tiene vida es la bocatoma; sin embargo, los efectos del cambio climático, efectos erosivos y uso del agua han podido afectar seriamente su estructura. En el diagnóstico de estas PCH, el autor puede citar todas las bocatomas que estaban averiadas o definitivamente ausentes. Así mismo, se observó que el desarenador, el tanque de carga y los aliviaderos tenían procesos importantes de abrasión, con compuertas gravemente afectadas, operadas aun con mando manual.

Igualmente, se nota que el canal se construyó en tierra o mampostería, motivo por el cual presenta inestabilidad por filtración en sus paredes que causan desprendimiento de su talud. La tubería de presión en algunas de estas PCH ha presentado fugas o ha colap-

Tabla 1
Años de operación de PCH y su potencia instalada

PCH	Años de operación	Potencia instalada (kW)
1	53	360
2	53	24.000
3	58	1.420
4	59	5.400
5	60	1.440
6	64	2.480
7	64	604
8	66	600
9	70	600
10	70	600
11	70	700
12	73	4.320
13	85	900
14	92	450
15	115	1.000
16	115	1.000

sado, debido a inestabilidad en sus anclajes y a causa de fatiga del material; además, la válvula principal es obsoleta y de operación manual.

En términos generales, la obsolescencia que presentan estas obras civiles impacta de manera directa en las horas de funcionamiento de la planta, debido a que hay que remover y reparar recurrentemente el canal, por lo que se requiere parar el funcionamiento de la planta cuando empieza a llover. En el diagnóstico también se encontró que el cambio en la granulometría y el pH del caudal le ha causado a la turbina desgaste por abrasión y erosión, motivo por el cual se propone efectuar estudios de la calidad del agua y de estabilidad geológica de las obras civiles de la PCH, aparte de la toma de muestras de concreto y del material de la tubería, con el propósito de conocer su estado actual y valorar la vida remanente.

La información histórica que se recopiló gracias al diagnóstico da cuenta de que la turbina, el generador y el transformador se han reparado cuando han presentado fallas, pero sin un previo análisis de la causa raíz; sus reparaciones en forma individual conducen a una operación empírica, que reduce la potencia entregada, bien sea en la turbina o en el generador, de modo tal que el ajuste de potencia se hace con la potencia menor. Esto significa ineficiencia en la producción y cavitación

en los equipos, efectos que producen vibración y afectan los cojinetes, por lo que hay que reparar de nuevo el equipo; no obstante, en esta reparación se deberá considerar una propuesta de rediseño de rodete y de cambio en el aislamiento del generador.

En las PCH se encontró que la regulación de excitación del generador es por resistencias, la regulación de caudal es oleohidráulica, el sincroscopio generalmente es de lámparas y el interruptor principal es de resortes, todos operados en forma manual, procesos que para el arranque y la parada dependen de la habilidad del operador; esto hace que la sincronización del sistema no sea del todo precisa y conlleve corrientes elevadas, que afectan mecánicamente al hidrogroppo y electromagnéticamente al generador.

Así mismo, la parada de emergencia es más compleja por el tiempo que requiere el operador para hacer esta maniobra, debido a que los sistemas de regulación de excitación, caudal y cierre de la válvula principal son manuales. Durante este tiempo se presenta sobrevelocidad en la máquina, la cual el operador atenúa al colocar un tablón de madera en el volante de inercia que actúa como freno, maniobra que es usual en turbinas Francis. El diagnóstico en esta condición propone la actualización de los sistemas de excitación y regulación de caudal, a la par de la instalación de equipos de medida y automatización que modernicen el arranque y la parada del hidrogroppo.

Como el control de la planta es manual, se puede observar la ausencia de medidores de caudal —y particularmente de manómetros— que den cuenta de la caída neta estática y dinámica, a partir de los cuales se infiere la potencia hidráulica que llega a cada turbina. De igual manera, cuando el manómetro del tubo de aspiración está fuera de funcionamiento o ausente en las turbinas de reacción, no se puede valorar el nivel de cavitación que tiene la turbina, en particular cuando opera a bajas potencias. En esta condición, el diagnóstico no puede determinar la potencia hidráulica e inferir la potencia mínima de operación de la turbina, por lo que se recomienda la instalación de los equipos de medida, preferiblemente modernos, que permitan hacerle el seguimiento a la cavitación, ya que este fenómeno conlleva vibración en los equipos, la cual deteriora el rodete de turbina y los cojinetes del hidrogroppo. Esto último origina indisponibilidad en la planta, la cual no

es visible si no se tiene operativo el manómetro en el tubo de aspiración y el seguimiento de su medida.

Para establecer la eficiencia del proceso de transformación de energía en la PCH se requiere determinar las pérdidas de potencia hidráulica, mecánica y electromagnéticas (figura 2); esto exige la instalación de instrumentos de medida de los siguientes parámetros: caudal, caída, par motor en el eje de la turbina, velocidad mecánica y potencia eléctrica. El resultado de esta medida identifica acciones directas, bien sea en tubería, turbina o generador; sin embargo, para esta prueba se requieren instrumentación especializada y profesionales capacitados.

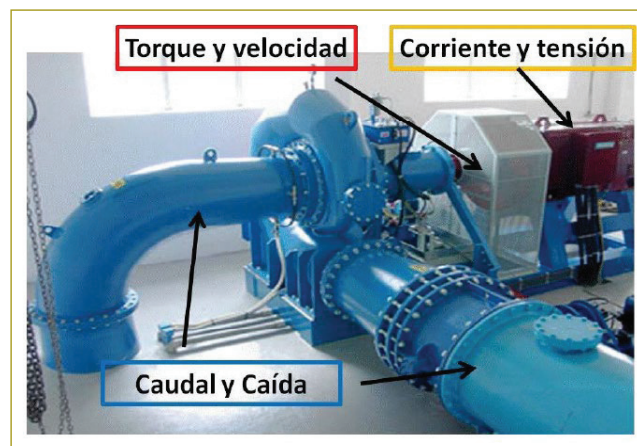


Figura 2. Variables de monitoreo en una PCH.

Fuente: Elaboración propia.

En términos generales, el resultado del diagnóstico de estas pequeñas centrales hidroeléctricas cuantificó que la eficiencia es de 0,5, en promedio, y que el factor de planta no superó el 0,4. El análisis de eficiencia, según información disponible, se origina en la obsolescencia de la tubería y el equipo hidroeléctrico, así como en el bajo factor de planta; esto tiene varias causales: deterioro de canales, caudales elevados, descargas atmosféricas, daños no previstos en la tubería y el equipo hidroeléctrico, entre otras.

CONCLUSIONES

Un número muy importante de centros de investigación han elaborado metodologías y procedimientos analíticos y experimentales que, por medio de sus resultados, son precisos al momento de extender la vida de una

PCH o de sus componentes; sin embargo, hacer el diagnóstico general de la planta es el primer paso para implementar acciones que renueven la planta y extiendan su vida útil. La aplicación de estas metodologías a las PCH trae beneficios ambientales y energéticos, que en consideración del autor tendrían un mayor impacto si la regulación energética y ambiental estimulara el uso eficiente del recurso. Esto podría significar el ajuste de la normativa a una regulación en función de la potencia total entregada por el recurso energético, tasándolo en forma similar a la capacidad energética que tienen los combustibles fósiles. Tal vez este sería el camino para promover la rehabilitación, modernización o repotenciación de las PCH.

Un aspecto que hay que tener en cuenta en una pequeña central hidroeléctrica cuyo diagnóstico revela buenas prácticas en mantenimiento es que este puede proponer su repotenciación, basado en el rediseño del rodete de la turbina o en el rediseño electromagnético del generador.

Para construir una PCH se exigen permisos sociales, de conexión y medioambientales, entre otros; una vez que se han obtenido, se procede a obtener los recursos financieros para su construcción y la venta de la energía en mercado a largo plazo. Todos tienen compromisos económicos sujetos a varios riesgos, como técnicos,

hidrológicos, del mercado y de la TRM, que hacen complejo el cierre financiero; en cambio, los riesgos por rehabilitar, modernizar o repotenciar una PCH son menores, lo cual garantiza el cierre financiero.

Las actividades multidisciplinarias que debe hacer el diagnóstico exige profesionales expertos en cada uno de los temas tratados.

Es probable que una recomendación del diagnóstico sea corregir el montaje del hidrogroppo, en razón de que en varias PCH se observan codos de 90° a la entrada de la turbina.

La gerencia de la PCH desempeña un papel muy importante a la hora de implementar las acciones propuestas en el diagnóstico.

REFERENCIAS

- De la Pedraja Tomán, R. (1985). *Historia de la energía en Colombia, 1537-1930*. El Áncora Editores. ISBN 8489209561, 9788489209565.
- De la Pedraja Tomán, R. (1993). *Petróleo, electricidad, carbón y política en Colombia*. El Áncora Editores. ISBN 958-9012-77-9. <https://esu-services.ch/fileadmin/download/publicLCI/flury-2012-hydroelectric-power-generation.pdf>.
- <https://www.worldbank.org/en/topic/energy/publication/operation-and-maintenance-strategies-for-hydropower>.
- JICA (2013). The Project for Construction and Rehabilitation of Small Hydropower Plants in Rattanakiri Province. https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12111852_01.pdf.