

# Innovación y crecimiento potencial de la energía renovable. Caso práctico: minicentrales hidroeléctricas

*Innovation and potential growth of renewable energy. Practical case: Mini hydroelectric plants*

Francisco Javier Martínez Monseco

## Resumen

La energía hidroeléctrica es una de las energías renovables más desarrolladas desde hace muchos años, pero en el contexto actual de mejora de procesos, es necesaria la máxima disponibilidad y eficiencia energética. En la gestión de los activos físicos de generación eléctrica, la figura del departamento de mantenimiento desarrolla su trabajo realizando una gestión de un presupuesto anual dedicado y esperando que, con mayor o menor fortuna, no se produzca una avería grave y que la disponibilidad del activo sea la máxima. La tendencia de las organizaciones es ir reduciendo cada año el presupuesto de mantenimiento (OPEX), con lo cual cada vez es más difícil poder garantizar los coeficientes de gestión. Uno de los aspectos clave hoy en día es poder utilizar una metodología con la que podamos identificar correctamente el estado del activo a mantener con herramientas de optimización combinadas (análisis modal de fallos y efectos [AMFE], análisis de criticidad, análisis de ciclo de vida y el mantenimiento centrado en confiabilidad [RCM]) que pueden optimizar el OPEX, pero que, a la vez, pueden servir como base de análisis de mejoras del activo (rediseño mediante el gasto en capital [CAPEX] que aporte valor añadido a la organización) frente a la optimización del mantenimiento (implica reducir costes y aflorar posibles ahorros futuros en la gestión del activo). Esta metodología se tiene que justificar con los sistemas identificados como críticos y poder justificar ante la organización proyectos de mejora del activo como un incremento de ingresos del negocio y no simplemente como un gasto a tener que amortizar.

## Palabras clave

Energía hidroeléctrica, innovación, gestión de activos, RCM, AMFE.

## Abstract

*Hydroelectric energy has been one of the most developed renewable energies for many years, but in the current context of process improvement, maximum availability and energy efficiency is necessary. In the management of physical assets of electricity generation, the figure of the department of Maintenance carries out its work by managing a dedicated annual budget and hoping that with greater or lesser luck there will not be a serious breakdown and that the availability of the asset is the maximum. The tendency of organizations is to reduce the maintenance budget (OPEX) each year, making it increasingly difficult to guarantee management coefficients. One of the key aspects today is to be able to use a methodology where we can correctly identify the state of the asset to be maintained with combined optimization tools (AMFE, criticality analysis, life cycle analysis and RCM) that can optimize the OPEX, but which, at the same time, can serve as a basis for analyzing improvements to the asset (redesign using capex that provides added value to the organization) versus optimizing maintenance (it implies reducing costs and bringing out possible future savings in asset management). This methodology has to justify the systems identified as critical, and be able to justify projects to improve assets in front of the organization as an increase in business income and not simply as an expense to be amortized.*

## Keywords

Hydroelectric energy, innovation, asset management, RCM, AMFE.

Recibido / received: 27/07/2021. Aceptado / accepted: 26/05/2022.

Ingeniero eléctrico. Responsable de Mantenimiento de las centrales hidroeléctricas de Barcelona y Girona en Enel Power Generation Hydro.

Autor para correspondencia: Francisco Javier Martínez Monseco, [jmartinez1638@alumno.uned.es](mailto:jmartinez1638@alumno.uned.es)



Presa y central hidroeléctrica en el embalse de Aguilar de Campoo (Palencia). Foto: Shutterstock.

## Introducción

### Gestión de los activos físicos

Se considera “un activo físico” cualquier objeto que posea valor para la organización o un propietario. Dicho “valor” se genera cuando el objeto en cuestión cumple con su función ante una determinada demanda de su funcionamiento. El no cumplimiento de esa demanda para funcionar causará unas consecuencias negativas que deberemos gestionar para poder reponer la función inicial determinada. Desde el departamento de mantenimiento de cualquier organización es fundamental tener información del estado de dicho activo en cada momento y poder planificar las correspondientes acciones para que cumpla la función requerida en cada momento. Por ello, no deberemos afrontar el reto del mantenimiento como una gestión anual de un presupuesto que cada vez es menor y que, además, implica priorizar en cuanto a las acciones a realizar, sin tener claramente justificada dicha justificación ante la organización. Es fundamental, por tanto, emplear herramientas de optimización del mantenimiento con las que podamos identificar claramente los problemas que tenemos que

afrontar y, así, tener una base sólida para definir una estrategia justificada de acciones delante de la organización.

Las estrategias de optimización más útiles que podemos aplicar de manera combinada en el día a día de la gestión de mantenimiento son:

- Análisis de modos de fallo y efectos de los sistemas del activo físico.
- Análisis del ciclo de vida de los sistemas del activo físico.
- Análisis de riesgos y priorización por criticidad.
- Mantenimiento centrado en fiabilidad (RCM).

Estas estrategias permiten tener una base justificativa ante la dirección de la empresa para plantear acciones tanto de optimización del mantenimiento como de actuaciones de mejora o rediseños en el activo físico gestionado.

### Análisis de ciclo de vida activo

Todas las empresas realizan acciones para trabajar con sus activos físicos y obtener beneficios de su confiabilidad. Lamentablemente, la experiencia indica que estas acciones y gestiones, en general, son aisladas y desordenadas, de manera tal que las empresas no logran obtener un retorno máximo de sus

activos. En consecuencia, en lugar de pensar en la necesidad de “reducción de costos de mantenimiento de un activo”, una visión a mediano y largo plazo obliga a pensar en la maximización del beneficio de ciclo de vida de un activo, el cual surgirá de la diferencia entre los ingresos del ciclo de vida y el costo del ciclo de vida [1]. Para conseguir este objetivo, lo primero es cambiar el concepto de cómo analizar al mantenimiento y como ubicarlo en el contexto de las demás funciones empresariales. Todas las funciones existen, pues aportan algo al resultado; si no, no existirían, y si estamos hablando de empresas industriales, comerciales y de servicios, ese resultado es el lucro en el negocio en que se encuentran. Para una organización es fundamental adoptar aquellas acciones que se consideren apropiadas durante el ciclo de vida de dichos activos para lograr el equilibrio óptimo entre su coste de ciclo de vida, riesgo y desempeño (gestión del riesgo durante el ciclo de vida).

### La energía hidroeléctrica. Minicentrales hidroeléctricas

La generación de electricidad con minicentrales hidroeléctricas se desa-

rolló en la mayoría de los países en los inicios del siglo XX y, en muchos casos, no se han realizado demasiadas adecuaciones y mejoras intentando conseguir los máximos ingresos de generación eléctrica con los mínimos costes de explotación. El estudio de optimización del mantenimiento y aplicación de mejoras tecnológicas en pequeñas centrales hidroeléctricas ofrece posibilidades de potencial desarrollo y crecimiento, debido a la diversidad de caudales que aún son susceptibles de ser aprovechados con las nuevas tecnologías. La capacidad hidroeléctrica mundial instalada (excluyendo la hidroeléctrica de bombeo) fue de 1.189 GW a finales de 2019.

La energía hidroeléctrica proporciona una fuente de electricidad de bajo coste y, si la planta incluye el almacenamiento en el embalse, también proporciona una fuente de flexibilidad. Esto permite proporcionar servicios de flexibilidad como respuesta de frecuencia, capacidad de arranque en negro y reservas giratorias. Esto, a su vez, aumenta la viabilidad de la planta al incrementar los flujos de ingresos del propietario de los activos, al tiempo que permite una mejor integración de las fuentes de energía renovable variable (ERV) para cumplir los objetivos de descarbonización. Además de los servicios de flexibilidad de la red, la energía hidroeléctrica puede almacenar energía durante semanas, meses, estaciones e incluso años, dependiendo del tamaño del embalse. Otro aspecto para tener en cuenta en el análisis de proyectos hidroeléctricos es que combinan servicios de suministro de energía y agua. Pueden incluir planes de riego, suministro de agua municipal, gestión de sequías, navegación y recreación y control de inundaciones, todo lo cual proporciona beneficios socioeconómicos locales. De hecho, en algunos casos la capacidad hidroeléctrica se desarrolla debido a una necesidad existente de gestionar los caudales del río y la energía hidroeléctrica puede incorporarse al diseño.

#### Costes totales de instalación en proyectos hidroeléctricos

Los proyectos hidroeléctricos tienen dos componentes principales de costes:

- Las obras civiles para la construcción de la central hidroeléctrica, que incluyen cualquier desarrollo de la infraestructura necesaria para



Figura 1. Azud minicentral hidroeléctrica. Fuente: Enel Power Generation Hydro.



Figura 2. Minicentral hidroeléctrica del Pirineo de Girona. Fuente: Enel Power Generation Hydro.

Componente del proyecto hidroeléctrico	Costes totales de OM proyectos hidroeléctricos (porcentaje, análisis 25 proyectos mundiales 2018 IRENA)		
	Mínimo	Medio	Máximo
Costes de operación	20	51	61
Salarios	13	39	74
Otros	5	16	28
Material	3	4	4

Tabla 1. Hydropower project O&M costs by category from a sample of 25 projects [2]. Costes de OM del proyecto Hydropower por categoría a partir de una muestra de 25 proyectos.

acceder al sitio, la conexión a la red, cualquier trabajo relacionado con la mitigación de los problemas ambientales identificados y los costes de desarrollo del proyecto.

- Los costes de adquisición relacionados con los equipos electromecánicos.

Costes medios totales para proyectos de desarrollo de centrales hidroeléctricas (2010-2019) de capacidad menor de 50 Mw: **1.641 USD/Kw**

#### Costes de mantenimiento y operación

Los costes anuales de operación y mantenimiento suelen indicarse como un porcentaje del coste de inversión por kW y año. Los valores típicos oscilan entre el 1% y el 4%. IRENA ha recopilado previamente datos de O&M sobre 25 proyectos [2] y encontró un coste medio de O&M que era ligeramente inferior al 2% de los cos-

tes totales instalados por año, con una variación de entre el 1% y el 3% de los costes totales instalados por año. La Agencia Internacional de la Energía (AIE) asume unos costes de O&M del 2,2% al 3% para los proyectos mini-hidráulica. Los costes de operación y mantenimiento suelen incluir una provisión para la renovación periódica de los equipos mecánicos y eléctricos, como la revisión de la turbina, el rebobinado del generador y las reinversiones en los sistemas de comunicación y control, pero excluyen las renovaciones importantes de los equipos electromecánicos y la renovación de las tuberías forzadas, los raíles, etc. La sustitución de estos equipos es poco frecuente, con una vida útil de 30 años o más en el caso de los equipos electromecánicos y de 50 años o más en el caso de las tuberías forzadas y los raíles. Esto significa que la inversión original se ha amortizado por completo

en el momento en que hay que realizar estas inversiones. Por tanto, es fundamental poder analizar las diferentes mejoras tecnológicas en los equipos de las centrales hidroeléctricas para poder realizar una modernización con una aportación de beneficios al propio activo físico.

### Innovación y crecimiento potencial de las minicentrales hidroeléctricas desde la gestión de activos y el mantenimiento

#### Optimización del activo desde el análisis del mantenimiento en centrales hidroeléctricas. Sistemas y modos de fallo críticos y estrategias de optimización del mantenimiento

Uno de los aspectos más importantes en la aplicación de la estrategia de mantenimiento de una central hidroeléctrica es poder dividir el activo físico en una serie de sistemas definidos por una agrupación de funciones a cumplir en el funcionamiento normal. En la figura 3 se definen los diferentes sistemas y equipos que componen cada sistema en una central hidroeléctrica.

#### Análisis desde el RCM: las siete acciones básicas

Para el desarrollo del proceso RCM, es necesario realizar siete acciones acerca del activo o sistema que se intenta analizar. En la figura 4 [4] se enumeran.

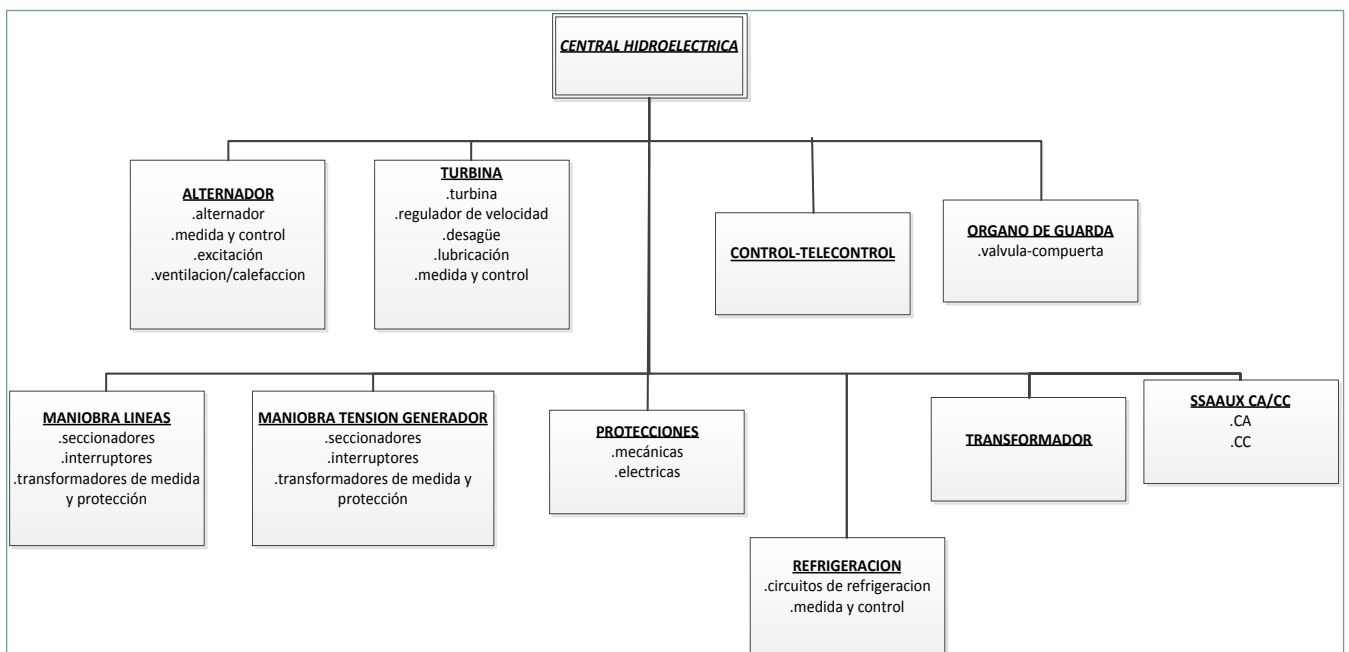


Figura 3. Sistemas y equipos que componen cada sistema de una central hidroeléctrica [3].

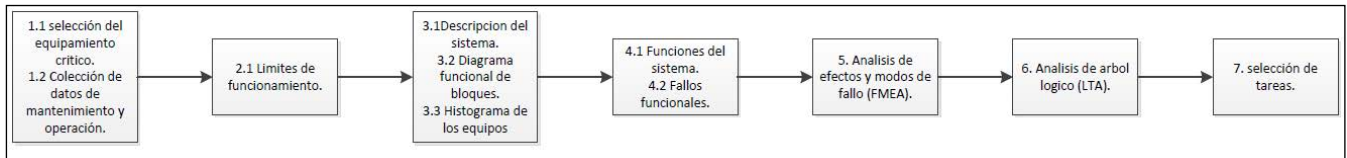


Figura 4. Principales pasos del RCM [4].

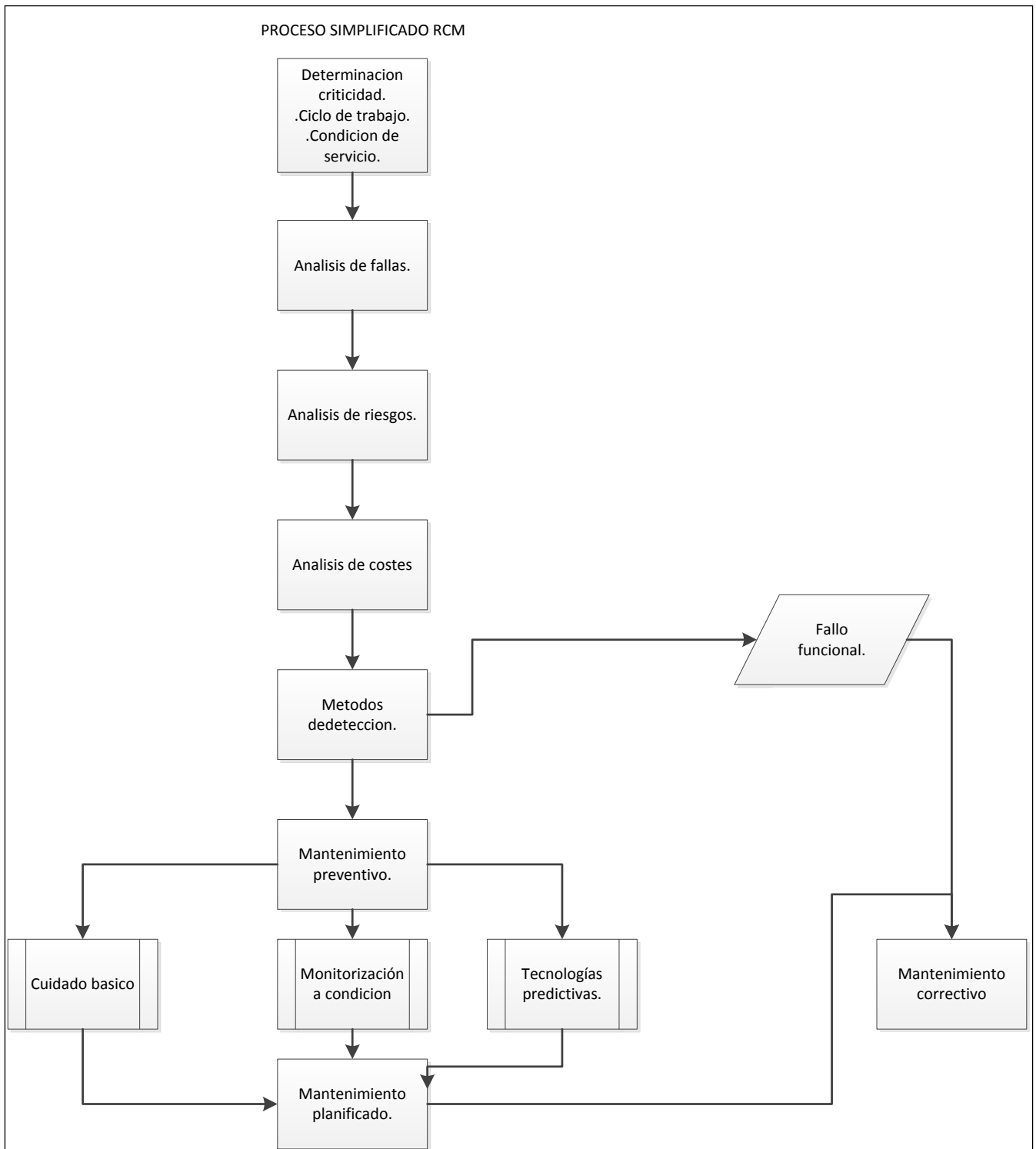


Figura 5. Proceso simplificado RCM [5].

Estas 7 acciones constituyen la base de análisis que nos tenemos que plantear para cada activo físico, de cara a conocerlo y definir realmente cuál es la función que le exigimos, cómo puede fallar y qué debemos realizar para minimizar dichos fallos.

Una vez definidas las acciones de análisis de la metodología RCM, en la figura 5 [5] se define el proceso a seguir con las acciones por definir.

A continuación, se definen las diferentes acciones a definir en cualquier sistema industrial a analizar mediante RCM.

**Funciones y parámetros de funcionamiento**

Antes de poder definir qué proceso aplicar para determinar qué debe hacerse para que cualquier activo físico continúe haciendo aquello que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional, necesitamos hacer dos cosas:

- Determinar qué es lo que sus usuarios quieren que se haga.
- Asegurar que sea capaz de realizar aquello que sus usuarios quieren que se haga.

Por eso, el primer paso en el proceso de RCM es definir las funciones de cada activo en su contexto operacional, junto con los parámetros de funcionamiento deseados [6,7].

**Fallos funcionales**

Los objetivos del mantenimiento son definidos por las funciones y expectativas de funcionamiento asociadas al activo en cuestión. El único hecho que

puede hacer que un activo no pueda desempeñarse conforme a los parámetros requeridos por su usuario es alguna clase de fallo. Esto sugiere que el mantenimiento cumple sus objetivos al adoptar un abordaje apropiado en el manejo de un fallo. Sin embargo, antes de poder aplicar herramientas apropiadas para el manejo de un fallo, necesitamos identificar qué fallos pueden ocurrir. El proceso de RCM lo hace en dos niveles:

- En primer lugar, identifica las circunstancias que llevan al fallo.
- Luego se pregunta qué eventos pueden causar que el activo falle.

**Modos de fallo**

Una vez que se ha identificado el fallo funcional, el siguiente paso es tratar de identificar todos los hechos que pueden haber causado cada estado de fallo. Estos hechos se denominan modos de fallo. Los modos de fallo posibles incluyen aquellos que han ocurrido en equipos iguales o similares operando en el mismo contexto. También incluyen fallos que actualmente están siendo prevenidos por regímenes de mantenimiento existentes, así como fallos que aún no han ocurrido, pero son consideradas muy posibles en el contexto en cuestión [6,7].

**Efectos de fallo**

La cuarta acción en el proceso de RCM consiste en hacer un listado de los efectos del fallo, que describe lo que ocurre cuando acontece cada modo de fallo. Esta descripción debe incluir toda la información necesaria

para apoyar la evaluación de las consecuencias del fallo, tal como:

- Qué evidencia existe (si la hay) de que el fallo ha ocurrido.
- De qué modo representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente (si es que la representa).
- De qué manera afecta a la producción o a las operaciones (si las afecta).
- Qué daños físicos (si los hay) han sido causados por el fallo.
- Qué debe hacerse para reparar el fallo.

**Consecuencias del fallo**

Un punto fuerte de RCM es que reconoce que las consecuencias de los fallos son más importantes que sus aspectos técnicos. El proceso de RCM clasifica estas consecuencias en cuatro grupos, de la siguiente manera:

- Consecuencias de fallos ocultos: los fallos ocultos no tienen un impacto directo, pero exponen a la organización a fallos múltiples con consecuencias serias y hasta catastróficas.
- Consecuencias ambientales y para la seguridad: un fallo tiene consecuencias para la seguridad si es posible que cause daño o la muerte a alguna persona. Tiene consecuencias ambientales si infringe alguna normativa o reglamento ambiental tanto corporativo como regional, nacional o internacional.
- Consecuencias operacionales: un fallo tiene consecuencias operacionales si afecta a la producción (cantidad, calidad del producto,

Valor	Nivel de afectación	Seguridad	Medio ambiente	Producción	Mantenimiento	Frecuencia
0	Sin impacto	Sin efecto	Sin polución	Sin parada	Sin coste	>5 años
1	Menor	Sin efecto en la seguridad y sin tratamiento	Polución menor	Parada menor	Coste de mantenimiento menor	1<x<5 años
2	Moderado	Efectos limitados en la seguridad	Alguna polución	Parada dentro de límite	Coste de mantenimiento aceptable	1 mes<x<1 año
3	Grave	Daños serios, pérdida de potencial de la función de seguridad	Polución significativa	Parada dentro de límites aceptables	Coste por encima del normal	1 semana<x<1 mes
4	Catastrófico	Pérdida de vidas. Sistemas críticos no operativos	Polución mayor	Parada de producción	Coste de mantenimiento alto	x<1 semana

Tabla 2. Matriz de análisis de criticidad de activos genéricos [8].



Figura 5. Minicentral hidroeléctrica y azud de captación de canal (fuente: Enel Power Generation Hydro).

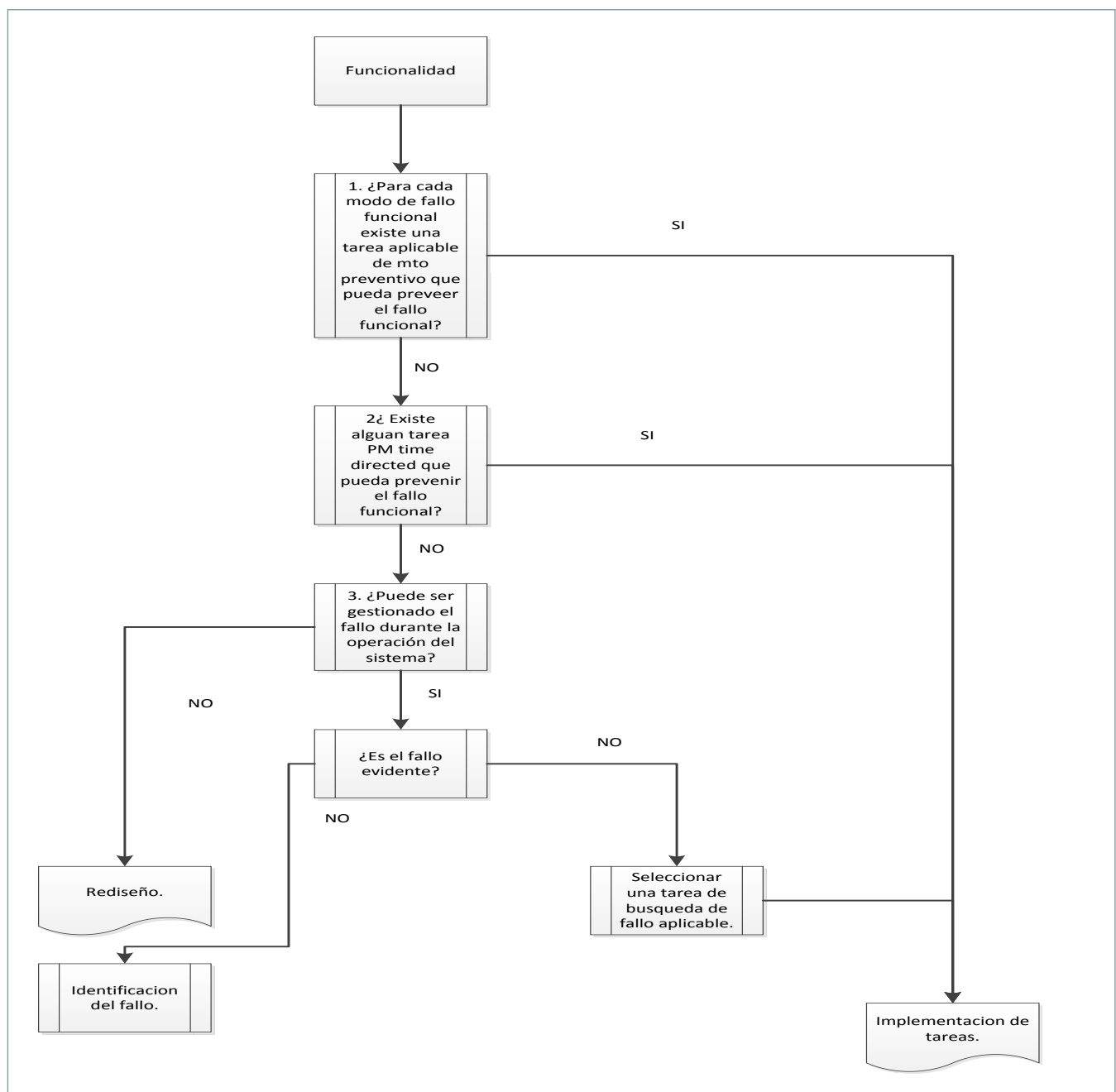


Figura 6. Análisis del árbol lógico RCM (5).

Sistema	Modo de fallo	Falla	Propuesta de mantenimiento	Rediseño	Ventajas frente a propuesta de mantenimiento
Alternador	Fallo en el aislamiento del alternador con cortocircuito, espiras y avería catastrófica del sistema	Eléctrica	Ensayos del estado del alternador con periodicidad corta para conocer cómo está el alternador previo a avería catastrófica	Nuevo alternador de imanes permanentes asociado a un convertidor de frecuencia que permita que el grupo hidroeléctrico pueda funcionar a velocidad variable evitando caudal mínimo técnico turbinable y con mayor eficiencia del caudal turbinado	Mayor producción anual de la central al aprovechar los caudales mínimos técnicos turbinables
Turbina	Rotura de alabes de la turbina por degradación del material y cavitaciones	Mecánica	Ensayos predictivos de vibraciones, control de aceites de cojinetes para conocer el estado de la turbina previo a avería importante	Sustitución de turbina actual del grupo con deterioros graves en alabes y degradación de material por turbina de mayor curva de eficiencia por ejemplo tipo turbina Crossflow	Mayor producción anual en caudales y saltos variables por gran eficiencia desde el 12% al 100% del caudal
Control central-canal	Avería eléctrica o mecánica de grupo sin aplicación por parte del telemando de una parada de emergencia	Eléctrica-electrónica	Mantenimiento preventivo periódico para comprobar el estado de la instrumentación de campo	Montaje de monitorización de datos inalámbricos (temperatura, presión, caudal de refrigeración, niveles, vibraciones)	Vigilancias mediante sistema de monitorización <i>on line</i> para tener la base de datos de características del equipo, el historial de averías y resoluciones
Canal central de la hidroeléctrica	Grietas en el canal central. Avería catastrófica del sistema	Obra civil	Control del estado del canal mediante vaciado e inspección de manera periódica	Montaje de paneles solares flotantes en zona del canal de entrada central (zona limpiarrejas)	Mayor producción anual de la central al añadir la energía solar fotovoltaica a la energía hidroeléctrica vertida en la red
Azud central hidroeléctrica	Fallo en la regulación caudal de agua concesional con falta de caudal ecológico en el río	Eléctrica-electrónica	Mantenimiento preventivo periódico para comprobar el estado de la instrumentación de campo	Montaje de hidrotornillo en el paso de agua regulada desde el azud para el control del caudal ecológico de río	Mayor producción anual de la central al añadir la energía del hidrotornillo a la energía hidroeléctrica de la central vertida en la red
SSAAux central. Achique central	Fallo en el funcionamiento de bombas de achique con inundación de la central	Eléctrica-mecánica	Mantenimiento preventivo trimestral con comprobación del funcionamiento sistema auxiliar	Montaje de placas solares y batería para garantizar el suministro en BT de los servicios auxiliares de la central. Bomba achique con alimentación solar	Mayor producción anual de la central al reducir el consumo eléctrico de servicios auxiliares de la central con incremento de generación eléctrica de la central hidroeléctrica
Transformador	Fallo en el aislamiento del transformador combinado con agrietamiento juntas	Eléctrica	Ensayos del estado del transformador para conocer su situación	Sustitución del transformador de potencia y servicios auxiliares por transformador seco	Mejora medioambiental de la instalación

Tabla 3. Tabla de propuestas de rediseños planteadas para una minicentral hidroeléctrica.



atención al cliente o costos operacionales), además del costo directo de la reparación.

- Consecuencias no operacionales: los fallos que caen en esta categoría no afectan a la seguridad ni la a producción; solo se relacionan con el costo directo de la reparación.

#### Priorización de las acciones a realizar sobre los sistemas críticos del activo físico

A partir del análisis de modos de fallo de las centrales hidroeléctricas, una serie de modos de fallos críticos constituyen la base de priorización de actuación debido al riesgo detectado de producirse.

En muchos casos, es necesario priorizar el equipo más crítico en una planta industrial para evitar fallos importantes y definir un programa de mantenimiento. Por tanto, el objetivo principal del análisis de criticidad es definir el equipo crítico basado en las peores consecuencias de la falta con respecto a aspectos como seguridad, ambiente, producción y costos. A partir de esto, el sistema de clasificación que se presenta en la tabla 2 [8], que oscila entre 1 y 4, evalúa y puntuaciones de cada aspecto.

#### Definición de opciones estratégicas de mejora en el activo físico. Minicentral hidroeléctrica

La definición de opciones estratégicas de mejora en el activo físico sería pasar de ver el departamento de mantenimiento de la visión actual de “generación de costos” a conseguir ser una unidad de evaluación del activo físico a mantener y analizar rigurosamente las diferentes posibilidades de optimización de dicho activo físico. Hasta ahora, la función del mantenimiento se ha centrado en establecer una serie de estrategias de optimización basadas en la consecución de disponibilidad y fiabilidad al mínimo

coste posible. Mediante esta visión parcial de negocio conseguimos que el máximo margen de mejora pueda pasar por garantizar el funcionamiento del activo físico con menor coste, pero sin generar un valor añadido al negocio. La idea es analizar el activo físico por parte del departamento de mantenimiento desde la base de ser “el mejor conocedor del activo físico en la organización para poder obtener toda la información y datos de análisis de manera objetiva”, evitando que la propia organización decida los rediseños y las inversiones a aplicar en el activo físico sin tener como principal fuente de información el análisis que ha realizado el departamento de mantenimiento [3,9].

- Análisis integral del activo físico para mejora y eficiencia desde el punto de vista del mantenimiento (optimización OPEX y justificación razonada de propuesta de CAPEX generadora de valor añadido al negocio).
- Ficha de análisis activo físico desde el punto de vista del mantenimiento (plan de mantenimiento anual).
- Coste del mantenimiento anual del activo físico (OPEX).
- Criticidad y priorización de acciones a analizar en los sistemas críticos y los modos de fallo más críticos.
- Soluciones de optimización de la explotación del sistema (ajustes para mantenimiento de la función).
- Propuesta integral de actuaciones.

#### Conclusiones

Considerando la estrategia definida de análisis del mantenimiento y teniendo listadas las acciones prioritarias que realizar en el activo físico (central hidroeléctrica) que habíamos reflejado en la figura 3, obtendríamos las propuestas indicadas en la tabla 3 que podríamos presentar a la organización

como mejoras del propio activo físico a partir del análisis técnico económico de cada una.

Para finalizar, solo hay que indicar que la estrategia planteada puede servir para cualquier activo físico que mantengamos y que, como mejores conocedores de su estado, podamos explicar cualquier tipo de actuación con justificación de optimización del propio activo.

#### Agradecimientos

Al personal de Enel Power Generation Hydro O-M de la UPH Ebro Pirineos por todos los conocimientos y saber hacer que demuestran en el día a día de la gestión de las centrales hidroeléctricas.

#### Bibliografía

1. Calixto E. Gas and Oil Reliability Engineering: Modeling and Analysis. Gulf Professional Publishing, 2016.
2. Irena (2020). Renewable Power Generation Costs in 2019, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
3. Martínez Monseco, Francisco Javier. "Analysis of maintenance optimization in a hydroelectric power plant." *Journal of Applied Research in Technology & Engineering* 1.1, 2020; p. 23-9.
4. Afefy, Islam H. Reliability-centered maintenance methodology and application: a case study 2010. Scientific Research SciRes, Engineering2, 2010; p. 863-73.
5. International Atomic Energy Agency. IAEA-TECDOC-1590. Application of Reliability Centred Maintenance to Optimize Operation and Maintenance in Nuclear Power Plants. IAEA, Viena 2007.
6. Smith A.M., Hinchcliffe G.R. RCM-Gateway to World Class Maintenance. Elsevier, 2003.
7. Moubray, John. Reliability-centered maintenance, 1997.
8. Sifonte J.R., Reyes-Picknell J.V. Reliability Centered Maintenance—Reengineered: Practical Optimization of the RCM Process with RCM-R®. Productivity Press, 2017.
9. Martínez Monseco, Francisco Javier. "Análisis básico de las mejoras en el mantenimiento de un sistema industrial (modos de fallo, rediseños, frecuencia de tareas y acciones de planes de mantenimiento)." *Mantenimiento: ingeniería industrial y de edificios* 327, 2019; p. 6-11.