



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



Gestión de activos en la central hidroeléctrica Baba: modernización del limpiarrejas para maximizar la disponibilidad y el ROI

Mauricio Boada Herrera
Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP
E-mail: mauricio.boada@celec.gob.ec
Guayaquil – Ecuador

Resumen

La central hidroeléctrica Baba enfrentaba graves problemas por acumulación de desechos en la toma de carga, afectando la disponibilidad y generando pérdidas superiores a USD 2,2 millones (2014–2017). El limpiarrejas original ejercía un efecto adverso sobre la capacidad operacional además de ser inseguro. En 2018 se instaló un equipo óleo-hidráulico automatizado, que eliminó paradas, mejoró eficiencia y disponibilidad, y logró una amortización estimada en ocho meses.

Introducción

La central Baba tiene un régimen estacional marcado, con sus mayores caudales de ingreso entre los meses de enero a mayo (complementaria a la hidrología de la cuenca amazónica), periodo en el cual la central tiene el recurso suficiente para operar las 24 horas del día. El periodo “seco” es más largo, y comprende los meses de junio a diciembre, donde opera periodos más cortos e incluso llegando a operar solamente en horas pico, cuando el nivel del embalse así lo permite.

Toda el agua turbinada en la hidroeléctrica Baba es trasvasada al embalse Daule Peripa, en donde nuevamente es aprovechada para generar electricidad desde la Central Marcel Laniado de Wind.

La generación media anual de la central Baba es de aproximadamente 150 GWh y se concentra en los cinco primeros meses del año por la época lluviosa propia de la región, es decir casi el 80%

de producción de la central debe entregarse durante este periodo.

La toma de carga de la hidroeléctrica (Fig. 1) es una estructura de hormigón con dos entradas de forma rectangular abocinada, cuya solera está ubicada en la cota 105,00 ms. n. m., cada una provista de una sección rectangular de 7,00 x 8,60 m para alojar las rejas y de una compuerta tipo vagón de 5,00 x 5,00 m. Tiene una longitud de 130 m y su caudal de diseño es de 180 m³/s, dividido en dos galerías diseñadas para un gasto de 90 m³/s cada una.



Figura 1. Toma de carga y rejas (Dique 4), previo al llenado del embalse Baba

La problemática

Con el incremento de las precipitaciones, los primeros días de enero (de cada año), los caudales de ingreso al embalse Baba se incrementan y por tanto el nivel comienza a subir, esto provoca que la basura (plásticos y vidrios principalmente), la vegetación acuática (lirio acuático -*Eichhornia crassipes*-), ramas y troncos del espejo de agua



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



sean arrastrados hacia las obras de Toma en el Dique 4.

La acumulación de los desechos antes mencionados en la toma de carga es un factor limitante para el manejo y administración efectiva del recurso agua, porque dificulta o limita la generación de energía.

El sistema SCADA de la central, entre las múltiples señales que monitorea para la operación segura de los sistemas y/o equipos, tiene configurado para la toma de carga la señal denominada “PÉRDIDA DE CARGA”, esta es un indicativo de la cantidad de basura acumulada en la toma y fue ajustada para alertar al Operador bajo los criterios:

- Alarma 1,20 m
- Disparo 1,50 m

La maniobra entre la señal de alarma y disparo (30 cm) consiste en mantener las Unidades con la potencia que garantizan su operación en un rango “seguro” para evitar el disparo, esto es en la práctica disminuir la carga hasta 8MW (mínimo técnico); pero este modo de operación resulta ineficiente porque la demanda del S.N.I. exige que la central produzca su máxima potencia en especial en las horas pico.

Para la limpieza de las rejillas, se disponía de un pórtico limpiarrejillas móvil sobre rieles (Fig. 2), de accionamiento electromecánico puesto que funcionaba con motores y cables, para la limpieza el rastrillo realiza dos movimientos:

- Subir/Bajar y
- Abrir /Cerrar.

El cierre era únicamente por el peso del brazo que hace las veces de “mordaza” para el rastrillo, pues no posee un accionamiento de tipo hidráulico.

Esta limpieza que se esperaba pudiera realizarse únicamente con una persona desde la cabina de mandos, en la práctica no fue posible porque los movimientos limitados del limpiarrejillas y su poca

capacidad (aprox. 1 m³) requirió de otros equipos y personal adicional para su ejecución.

Adicionalmente a las limitaciones del limpiarrejillas, propias de su diseño y que se evidencian con el registro fotográfico (Anexo 1), se suman las pérdidas económicas que se tuvieron cuando las unidades de la central pararon para efectuar la limpieza de la toma.

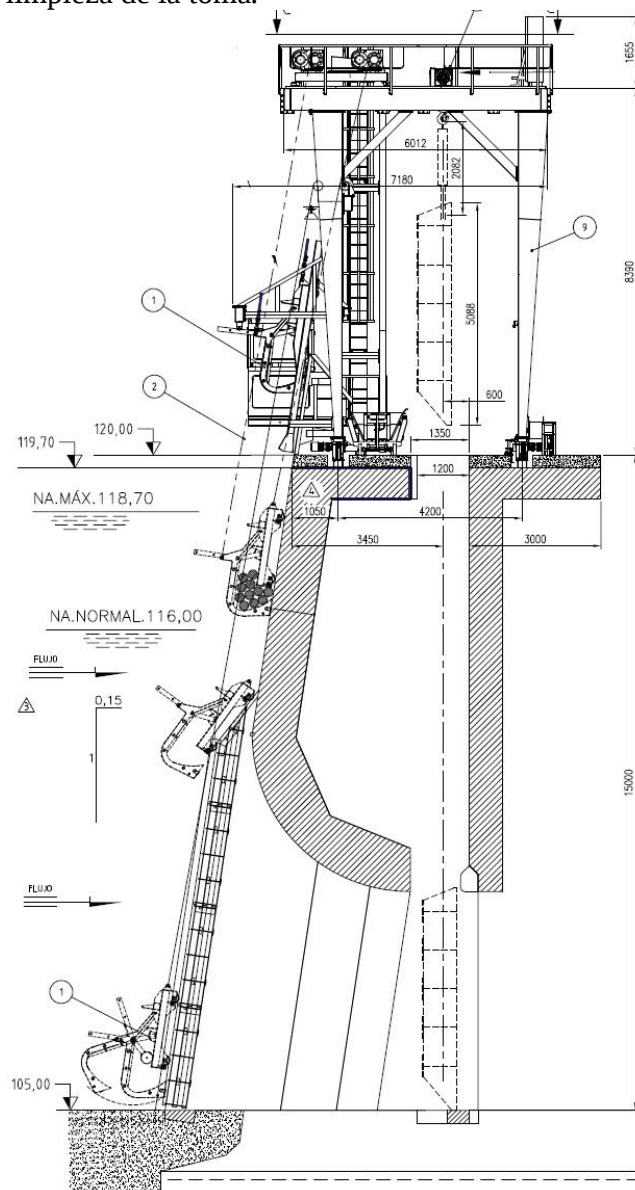


Figura 2. Funcionamiento del limpiarrejillas en la toma de carga de la hidroeléctrica Baba [1]



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



Las pérdidas económicas en la hidroeléctrica Baba por venta de energía que se tuvieron hasta el año 2018, en que los trabajos de limpieza de la toma de carga se ejecutaron de manera rutinaria todos los fines de semana, constan en la tabla 1. Para evaluar el costo se ha tomado como precio base 6,21 ¢\$/KWh (por su tarifa preferencial) y la potencia promedio que pudo haberse producido durante las horas de ejecución del trabajo de limpieza.

También fue valorado el costo que representaba dejar de trasvasar el agua turbinada hasta el embalse Daule Peripa, y para evaluarlo económicamente, se calculó la energía remanente asociada al volumen de agua no trasvasada y se consideró como precio base 4,00 ¢\$/KWh (en promedio para los años de análisis).

Tabla 1. Pérdidas económicas por limpieza de las rejas (indisponibilidad + agua no trasvasada)

Año	Pérdidas por indisponibilidad (sin generación) Central Baba	Pérdidas por agua no trasvasada a Daule Peripa	Subtotal de pérdidas
2014	\$303.434,88	\$392.015,25	\$695.450,14
2015	\$224.592,10	\$290.156,26	\$514.748,36
2016	\$281.757,64	\$364.009,87	\$645.767,50
2017	\$175.980,02	\$227.353,06	\$403.333,08
2018	\$215.085,83	\$246.217,47	\$461.303,31
Total			\$2.720.602,38

Otros costos que también deben tomarse en cuenta son los de: mano de obra y equipos asociados que se empleaban para realizar la limpieza, tabla 2.

Tabla 2. Equipos y personal que se utilizaban para la limpieza

Equipos	Personal
Limpiarrejas	1 operador y 2 ayudantes
Bote	1 operador y 1 ayudante
Camión grúa	1 operador
Volqueta	1 operador

El coste de los equipos no fue valorado, por tanto, no se incluye en el análisis; pero se ha calculado el costo de la mano de obra, mismo que ascendió a \$ 17.320,68. Es decir, las pérdidas económicas en el período comprendido entre los años 2014-2018 ascendieron a \$ 2.737.923,06.

Enfoque estratégico y táctico de la gestión de activos (limpiarrejas)

Valor del activo en la generación hidroeléctrica

Siendo que un “activo es un artículo, cosa o entidad que tiene un valor real o potencial para una organización” [2], la toma de agua es en especial un eslabón crítico en la cadena de valor de la generación de energía y por tanto el limpiarrejas encargado de su limpieza también lo es. De acuerdo con la ISO 55000:2024 es una decisión estratégica la gestión del ciclo de vida porque busca la creación de valor.

La norma define no conformidad como el “incumplimiento de un requisito” [2], además al incumplir su función, el valor es negativo porque genera costos sin aportar los beneficios esperados.

Po su parte, la norma EN 16646:2014, ve en la modernización un proceso crítico dentro del ciclo de vida de los activos físicos [3].

En la medida que la limpieza de la toma de carga se hizo cada vez más frecuente en especial en la época lluviosa y que ya no era suficiente con disminuir la potencia gradualmente hasta el límite técnico, empleando como herramienta el diagrama de decisión de RCM II [4], puesto que: existía un afecto adverso a la capacidad operacional de la planta y sobre todo que este modo de falla presentaba una pérdida de función y riesgos de seguridad para el personal que realizaba esta tarea; la decisión técnica fue reemplazarlo.

La EN 16646:2014 define la modernización como la modificación o mejora de un activo cuando



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



existe una disconformidad, con el fin de cumplir con requisitos nuevos o cambiantes, integrando los avances tecnológicos disponibles; también destaca que la modernización es, en sí misma, un proceso que contiene todas las fases de un ciclo de vida completo.

Bajo la perspectiva de la ISO 31000:2018, el reemplazo del limpiarrejas se analiza como una acción para gestionar el efecto de la incertidumbre sobre los objetivos [5] (corporativos), y el propósito fundamental es la creación y protección del valor, mejorando el desempeño y facilitando el logro de los objetivos operativos y financieros.

Para la ISO 55000, la gestión de activos crea valor mediante un equilibrio entre: costos, riesgos y oportunidades, en este caso; reemplazar el limpiarrejas permite: mejorar el desempeño financiero, reducir la incertidumbre, garantizar el cumplimiento (requisitos ambientales y legales), preservar la reputación y mantener la confianza de los interesados.

Al reemplazar, la organización demuestra una gestión responsable (*stewardship*) que considera la sostenibilidad económica e incluso la social, evitando dejar obligaciones residuales costosas para el futuro.

La solución

El reemplazo del limpiarrejas fue la opción escogida para modificar la probabilidad de fallas y cambiar las consecuencias negativas de un mal funcionamiento.

Para finales del año 2016 se iniciaron las gestiones de adquisición de un nuevo limpiarrejas, que preste (entre otros) los siguientes beneficios: versatilidad; eficiencia de movimientos, giros, tiempos, cargas y descargas; permita cargar grandes cantidades de basura, además de objetos pesados como: troncos, animales, etc.; reduzca al máximo la necesidad de personal; y evite

taponamientos en las rejillas, que reducen la productividad.

Los aspectos que se analizaron (tabla 3) para determinar las características de diseño que el nuevo equipo debía tener y de este modo representar una solución integral a los problemas de: acumulación de basura, obstrucción de la toma de carga y la disminución de la producción de energía fueron:

Tabla 3. Características del equipo

Parámetro	Necesidad
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Tipo	Oleo hidráulico
Capacidad de carga	2.0 toneladas
Sistema de extracción de desechos	Brazo con tenaza
Sistema de fuerza hidráulico	Si
Distancia horizontal de trabajo	24 m
Sistema de control hidráulico del rastrillo	Si
Radio de giro	360 grados
Cabina giratoria	Si
AUTOMATIZACIÓN	
Operable a través de un PLC	Si
Modo de operación manual	Si
Modo de operación automático	Si
Integración con el sistema SCADA	Si
Permite programar secuencias de limpieza	Si
OPERATIVIDAD	
Número de operarios	1
Grados de libertad	3
Tiempo estimado del ciclo de limpieza y transferencia (máx.)	5 min
Tipo de ciclo de limpieza y transferencia	Continuo



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



Horas-hombre ciclo de limpieza y transferencia (máx.)	30 min
Operación con las turbinas en funcionamiento	Incluso a potencia máxima
Capacidad para extraer lodos, piedras y cualquier objeto que esté cerca del fondo de la reja	Si
Control de la posición del rastrillo en el ascenso y descenso	Si
Capacidad de sumersión del brazo con tenaza	Si
Puede cumplir doble función: limpieza de rejas y movimiento de compuertas o ataguías	Si
MANTENIMIENTO	
Requiere mantenimiento	Mínimo
Incluye repuestos	Si
TIEMPO DE ENTREGA	
Tiempo de fabricación y puesta en servicio	≤ 200 días

El equipo que se aprecia en la figura 3, se instaló a mediados de 2018 y sus prestaciones (por completo) pudieron verificarse a partir del 2019.

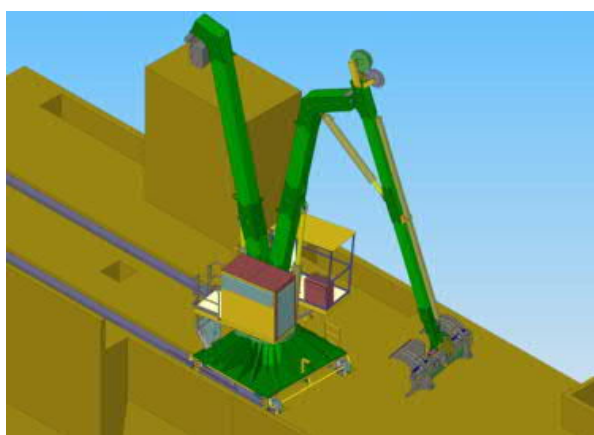


Figura 3. Funcionamiento del nuevo limpiarrejas en la toma de carga de la hidroeléctrica Baba

Beneficios: disponibilidad, eficiencia operativa, rentabilidad

Disponibilidad: En el año 2019 (Fig. 4), no existieron paradas programadas por limpieza de la toma, solamente fue necesario realizar una parada no programada el 08 de abril de 4,7 horas porque la barrera flotante que está ubicada a la salida del Canal 3 cedió y la basura allí acumulada llegó intempestivamente a la toma, de manera tal que las unidades se dispararon por “pérdida de carga”. Sin embargo, se debe resaltar que un evento similar ocurrió el 05 de septiembre de 2015, pero en aquella ocasión la limpieza tomó aproximadamente 24 horas y una indisponibilidad total de la Central de aproximadamente 48 horas.

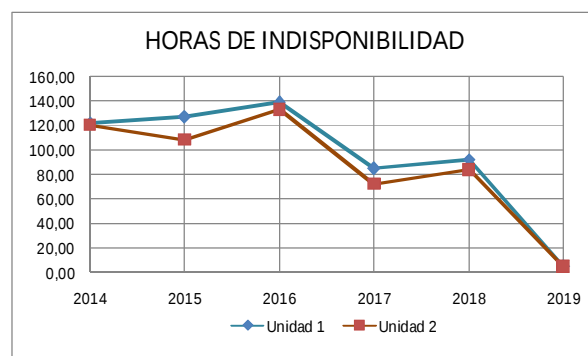


Figura 4. Horas de indisponibilidad, central Baba 2014-2019

Potencia máxima: Analizando los registros históricos del periodo enero-mayo de los años 2014-2019 se evidencia que, en el 2019, en tres de los cinco meses la hidroeléctrica operó más horas a potencia máxima que en los años previos al cambio de limpiarrejas. Resulta interesante también indicar que en mayo del 2014 el caudal de ingreso promedio fue 264,74 m³/s y en mayo del 2019 fue 194,287 m³/s, es decir un 27% menor; y las horas de sincronismo de mayo del 2019 a potencia máxima comparadas con mayo del 2014 también fueron un 27% menor. Esto no necesariamente establece una relación lineal, pero



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



si nos permite afirmar que con un caudal de ingreso mayor y con el limpiarrejas adecuado, seguramente se tendrán más horas de sincronismo a potencia máxima.

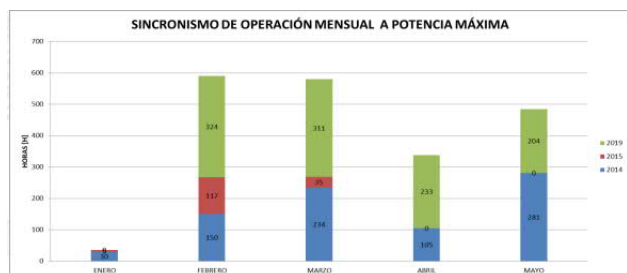


Figura 5. Sincronismo a máxima potencia, 2014-2019

Eficiencia operativa: Se analizarán tanto el incremento del trasvase hacia el embalse Daule Peripa, así como el de generación en la central Baba.

En el 2019, hubo incremento en el volumen de agua trasvasado, como se muestra en la tabla 4, por lo tanto, también en la energía remanente asociada a este volumen y además los ingresos que representarán este incremento.

Tabla 4. Volumen trasvasado al embalse
Daule Peripa

	Volumen Trasvasado (Hm ³)	Energía Remanente (GWh)
PROMEDIO 2014-2018	2019,49	285,08
2019	2154,71	302,04
INCREMENTO	135,22	16,96

Se calcularon los ingresos económicos que representan el incremento de 15,04 GWh en la energía producida los primeros seis meses del año (época lluviosa), que representan aproximadamente el 78% de la generación histórica anual de la Central.

Tabla 5. Ingresos por venta de energía
central Baba

	Energía Producida (GWh)	Ingresos (\$)
PROMEDIO 2014-2018	100,98	6.270.625,81
2019	116,02	7.204.618,79
INCREMENTO	15,04	933.992,98

Así también, comparando los años 2016, 2017 y 2019 (fig. 6) cuyos caudales de ingreso promedio en el período enero-mayo fueron muy similares, y específicamente los años 2017 y 2019 en que prácticamente los caudales de ingreso fueron los mismos: 264,72 m³/s y 269,69 m³/s. Sin embargo, en el 2017 solamente se produjeron 95,07 GWh a diferencia de los 116,02 GWh que producidos en el 2019. Además, la variación en horas de operación entre uno y otro período solamente es del 4%, por lo que la mayor producción se debe principalmente al mayor número de horas que la central operó a potencia máxima.

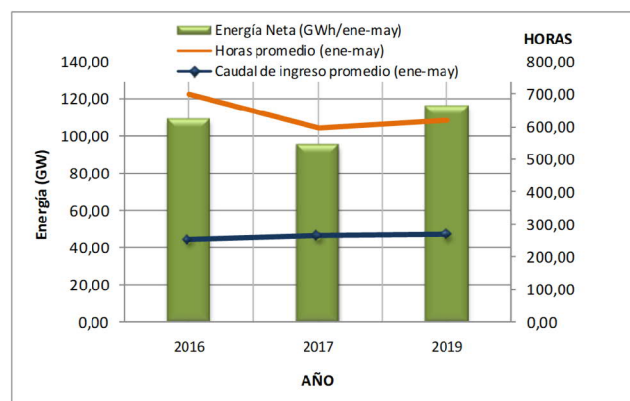


Figura 6. Eficiencia operacional, 2016-2017 y 2019

Para analizar la rentabilidad, en la tabla 6 se presentan los costes asociados al nuevo limpiarrejas.

Tabla 6. Costos asociados al equipo instalado



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



Año	Descripción	Monto (\$)
0 (2018)	Adquisición	\$ 748.104,00 (incluido IVA)
	Operación	\$ 0,00 (opera de manera automática)
	Mantenimiento	\$ 100,51 (Eléctrico y Mecánico)
1 (2019)	Operación	\$ 0,00
	Mantenimiento	\$ 505,79 (E&M y estimado hasta fin de año)
TOTAL		\$ 748.710,30

Nota: En los años siguientes los costos de O&M se han incrementado progresivamente, pero en ningún caso han sido superiores al 10% del costo del equipo. A manera de ejemplo en el año 2025 se realizó un contrato de mantenimiento mayor (con el fabricante) que tuvo un costo aproximado de \$ 55.000,00.

Al comparar estos costos con los de beneficios de la tabla 5, se determina que el retorno sobre la inversión se obtuvo en el primer año, que fue un resultado mucho mejor al esperado.

Lecciones aprendidas

La incorporación de un nuevo equipo permitió reducir y estabilizar la incertidumbre asociada al tiempo de indisponibilidad de la planta. Un activo con mayor confiabilidad disminuye significativamente la probabilidad de ocurrencia de eventos de parada no programada.

A nivel de confiabilidad, el nuevo limpiarregas opera como un mecanismo de control más efectivo para mantener el riesgo dentro de parámetros tolerables. Al disponer de tecnología actualizada, incrementa la capacidad de adaptación y respuesta (rápida) frente a variaciones operativas del entorno, como incrementos súbitos del caudal de ingreso al embalse.

Hubo mejoras en la mantenibilidad y disminución ostensible del tiempo de restauración tras una falla. Disponer de un equipo moderno hizo que se

requieran menos paradas por mantenimiento, permitiendo que la planta opere más tiempo y (periodos mayores) a máxima potencia.

La gestión de activos orientada en administrarlos de manera óptima permite a la organización alcanzar resultados sostenibles, fortaleciendo las decisiones del ciclo de vida fundamentadas en un análisis técnico de riesgos, asegurando sostenibilidad, desempeño y resiliencia operativa.

El diagrama de decisión de RCM II, evidenció que el limpiarregas no solamente limitaba la capacidad operacional en el sentido (amplio) de: producción, calidad, costes operativos y servicio de la planta; además era posible que se causen lesiones o accidentes mayores durante la extracción de los desechos con el antiguo limpiarregas.

De acuerdo con las normas ISO 55001, ISO 3100 y EN 16646, reemplazar algo porque "no sirve" es una decisión integral para proteger el valor de la organización de manera que los activos brinden el máximo beneficio posible mientras se minimizan los riesgos y costos asociados.

Bajo esas normas, un equipo que no desempeña la función para la cual fue diseñado, no debe interpretarse solamente como el término de su vida útil, sino como una no conformidad de carácter crítico que obstaculiza la generación y entrega de valor por parte de la organización.

Bibliografía

- [1] CELEC EP. (2011, octubre). *Máquina limpiarregas y pórtico rodante: Toma de agua (Escala 1:70)* [Plano técnico].
- [2] International Organization for Standardization. (2024). *Asset management - Management systems - Requirements (ISO 55001:2024)*. ISO.



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



[3] European Committee for Standardization. (2014). *Maintenance — Maintenance within physical asset management (EN 16646:2014)*. CEN.

[4] Moubray, J. (1997). *Reliability-centered maintenance* (2nd ed.). Industrial Press.

[5] International Organization for Standardization. (2018). *Risk management — Guidelines (ISO 31000:2018)*. ISO.

[6] Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP). (2024). *Plan estratégico empresarial 2024–2025*.

Mauricio Boada Herrera, recibió su título de ingeniero en Electricidad de la Escuela Superior Politécnica del Litoral en 2006. Cuenta también con una maestría en Economía y Dirección de Empresas y está culminando sus estudios de maestría en Electrónica y Automatización. Trabaja como jefe de ingeniería de mantenimiento y producción, además ha desempeñado cargos como gerente, subgerente de producción, jefe de central, jefe de operación en CELEC EP; sus áreas de estudio están relacionadas con: los mercados eléctricos, la eficiencia energética, la integración energética regional, las energías renovables y la gestión de O&M de centrales de generación.

Mauricio Boada Herrera
Carchi 702 y Av. 9 de Octubre
Guayaquil – Ecuador
+593 985 980 240