



Diagnóstico del estado técnico de los turbogrupos de la Central Termoeléctrica 10 de octubre

Diagnosis of the technical condition of the turbine-generator sets of the 10 de octubre Thermal Power Plant

Neeldes Matos Ramírez^I, Gleibys Francisca Ramos Roque^{II}, Onis Cobas Olivares^{II}, Eduardo Sierra Gil^I*, Nioelba Fuentes Felicó^{II}, Davel Borges Vasconcellos^I

^I Universidad de Camagüey, Cuba

^{II} Central Termoeléctrica "10 de octubre", Camagüey, Cuba

* Autor de la correspondencia: eduardo.sierra@reduc.edu.cu

Recibido: 16 de abril de 2026

Aprobado: 30 de agosto de 2026

Este documento posee una [licenciaCreativeCommonsReconocimiento-NoComercial4.0internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



RESUMEN/ABSTRACT

En el presente trabajo se diagnosticó el estado técnico de los turbogrupos de la Central Termoeléctrica 10 de octubre en Nuevitás, Camagüey, Cuba, ante las limitaciones del mantenimiento preventivo planificado vigente, evaluando la confiabilidad y la gestión de mantenimiento mediante indicadores de clase mundial. Los materiales y métodos incluyeron el cálculo de índices de operatividad, durabilidad, mantenibilidad, eficacia del mantenimiento, mano de obra y costos. Los resultados mostraron una disponibilidad del 70,66 % en el bloque 5 y del 65,69 % en el bloque 6, muy por debajo del 90 % deseado. La eficiencia global del equipo alcanzó solo el 35,02 % y el 69,94 %, respectivamente, mientras el tiempo de mantenimiento correctivo superó ampliamente al programado. Se concluyó que la central requiere mejoras urgentes en su programa de mantenimiento y gestión de costos, siendo la disponibilidad y la eficiencia global los indicadores más críticos.

Palabras clave: centrales termoeléctricas; confiabilidad; mantenimiento; turbogrupos.

This study assessed the technical condition of the turbogenerator sets at the 10 de Octubre Thermoelectric Power Plant in Nuevitás, Camagüey, Cuba, in light of the limitations of the current planned preventive maintenance program, evaluating reliability and maintenance management using world-class indicators. The materials and methods included the calculation of indices for operability, durability, maintainability, maintenance effectiveness, labor, and costs. The results showed an availability of 70.66% in Unit 5 and 65.69% in Unit 6, well below the desired 90%. The overall efficiency of the equipment reached only 35.02% and 69.94%, respectively, while corrective maintenance time far exceeded the scheduled time. It was concluded that the plant requires urgent improvements to its maintenance program and cost management, with availability and overall efficiency being the most critical indicators.

Keywords: maintenance; reliability; thermal power plants; turbine-generator sets.

INTRODUCCIÓN

El diagnóstico del estado técnico de los turbogrupos en centrales termoeléctricas se ha consolidado como un eje estratégico para preservar la confiabilidad, eficiencia y vida útil de activos críticos en un sector sujeto a envejecimiento acelerado y demandas de flexibilidad operativa [1, 2]. La transición desde esquemas de mantenimiento preventivo o correctivo hacia modelos predictivos basados en condición responde a la necesidad de anticipar fallos en componentes estructurales y rotativos, como ejes, álabes y cojinetes [3, 4], permitiendo cuantificar degradaciones incipientes y reducir drásticamente las paradas no programadas [5, 6].

Cómo citar este artículo:

Neeldes Matos Ramírez y otros. Diagnóstico del estado técnico de los turbogrupos de la Central Termoeléctrica 10 de octubre. Ingeniería Energética. Vol. 47(2026): publicación continua. ISSN 1815-5901.

Sitio de la revista: <https://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/index>

Esta evolución se sustenta en la integración sistemática de técnicas de monitoreo continuo, análisis de datos históricos y validación física, lo que optimiza intervenciones y mitiga el riesgo de averías catastróficas [7, 8]. Las metodologías actuales combinan análisis espectral de vibraciones [4, 9], termografía infrarroja [10], espectrometría de aceites lubricantes [7, 11], pruebas de aislamiento eléctrico [12] y modelado termodinámico de rendimiento [13], potenciadas por algoritmos de aprendizaje automático [14] y redes neuronales profundas [15]. La incorporación de sensores IoT [16], computación en el borde [17] y gemelos digitales [18], ha habilitado plataformas de diagnóstico híbrido que fusionan ecuaciones constitutivas con flujos de datos operativos en tiempo real [8]. Estos sistemas identifican anomalías como desbalanceos, desalineaciones, fatiga térmica o contaminación de fluidos [19, 10], y proyectan la vida útil remanente mediante indicadores de salud técnica normalizados, facilitando decisiones basadas en riesgo y alineando el mantenimiento con objetivos de disponibilidad [20, 6].

La generación de electricidad en centrales termoeléctricas (CTE) constituye un pilar estratégico para el desarrollo económico y social de Cuba. La Central Termoeléctrica 10 de octubre, ubicada en Nuevitás, Camagüey, cuenta actualmente con una capacidad instalada de 240 MW distribuida en sus bloques 5 y 6. Sin embargo, diversos estudios y la experiencia operativa indican que el mantenimiento preventivo planificado (MPP) vigente, establecido en el Manual de Opreación y Mantenimiento de Centrales Eléctricas SOMCE de 1996, presenta limitaciones frente a las exigencias actuales de confiabilidad y eficiencia. El deterioro acelerado de los equipos, la violación de los ciclos de mantenimiento por restricciones económicas y la escasa integración de técnicas predictivas han derivado en una baja disponibilidad operacional y un incremento de los costos de mantenimiento. A nivel internacional, se reconoce que la implementación de indicadores de clase mundial y la integración de la operación con el mantenimiento son vías efectivas para mejorar la eficiencia global de los equipos (EGE) y reducir el tiempo dedicado a tareas correctivas.

No obstante, en la CTE 10 de Octubre no existe una metodología sistemática que integre, de forma práctica, indicadores de confiabilidad (probabilidad de fallo, tiempo medio hasta el fallo, recurso gamma, entre otros) con índices de gestión de costos y de mano de obra, basados en estándares internacionales. La falta de registros históricos procesados, la insuficiente aplicación del análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) y la ausencia de un diagnóstico estructurado que considere tanto la durabilidad como la mantenibilidad de los turbogrupos impiden identificar con precisión las causas raíz de las indisponibilidades. El presente trabajo tiene como objetivo diagnosticar el estado técnico de los turbogrupos de la CTE 10 de Octubre mediante la aplicación de una metodología basada en indicadores de clase mundial, que articula índices de confiabilidad (operatividad, durabilidad, mantenibilidad), indicadores de eficacia del mantenimiento (disponibilidad, EGE, tiempo por fallas) e índices de gestión de costos y mano de obra. A partir de este diagnóstico integral, se busca establecer una línea base cuantitativa que permita, en etapas posteriores, rediseñar los ciclos de mantenimiento y mejorar la eficiencia energética de la planta. De esta forma, se espera contribuir a la toma de decisiones fundamentadas para incrementar la confiabilidad operacional y reducir los costos asociados a las paradas no programadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Indicadores de confiabilidad

La confiabilidad como propiedad compleja, tiene que evaluarse a través de índices que representan a sus propiedades más importantes, a continuación se explican los índices que representan a estas cuatro propiedades [21].

a) Índices de operatividad:

Probabilidad de fallo: Es la probabilidad de que se produzca un fallo durante un trabajo útil dado y se representa por $F(t)$. Probabilidad de trabajo sin fallo: Es la probabilidad de que no se produzca un fallo durante un trabajo útil dado y se representa por $R(t)$. Intensidad de fallos: Es la densidad probabilística del surgimiento del fallo de un ítem no reparable durante un trabajo útil dado y se representa por $\lambda(t)$. Flujo de fallos: Similar al índice anterior, pero para ítems reparables y se representa por $W(t)$. Tiempo medio hasta el fallo: Es el valor esperado del trabajo útil hasta el fallo del ítem y se representa por las siglas MTTF. Tiempo medio entre fallos: Es el valor esperado del trabajo útil entre fallos del artículo reparable y se representa por $MTBF = \bar{t}_0$. Se calcula de forma similar al MTTF, pero con los tiempos entre fallos como evento.

b) Índices de durabilidad:

Recurso medio: Es el valor esperado del recurso técnico del ítem (vida útil media). Se evalúa similar al MTTF, pero definiendo el evento convenientemente. Recurso gamma: Es el recurso que alcanza el ítem con una probabilidad de trabajo sin fallos "gamma". Se calcula según la expresión de $R(t)$ para la ley de distribución. y dado un valor "gamma" se puede determinar el recurso " t_γ " correspondiente. El recurso gamma se utiliza para la determinación y evaluación de la garantía de los ítems. Recurso asignado: Es el trabajo útil del artículo después del cual se suspende su utilización independiente de su estado técnico. Este es el índice que se emplea en el mantenimiento preventivo cuando se establece el cambio de una pieza o sistema de forma planificada. Se puede determinar sobre la base del estudio de confiabilidad del ítem. Plazo de servicio: Es la expresión calendaria del trabajo útil del ítem y se relaciona con él a través del régimen de trabajo. Plazo medio de servicio: Es el valor esperado del plazo de servicio de un ítem.

c) Índices de mantenibilidad:

Tiempo medio de mantenimiento: Es el valor esperado del tiempo empleado para el mantenimiento de un ítem. Tiempo medio improductivo total:

Es el valor esperado del tiempo total de estadía debido al fallo. Ambos se evalúan de forma similar al índice tiempo medio hasta el fallo, definiendo convenientemente la variable. Probabilidad de ejecutar mantenimiento en un tiempo dado: se puede determinar por la ecuación (1):

$$P(t_m) = \int_0^t f(t_m) dt \quad (1)$$

Dónde: “tm” es el tiempo empleado para la ejecución del mantenimiento al ítem y “t” es el tiempo dado.

d) Índices de conservabilidad:

Tiempo medio de conservación: Es el valor esperado del tiempo durante el cual el ítem conserva su capacidad de trabajo mientras se encuentra en fases de transportación y/o almacenaje en condiciones dadas. Tiempo gamma de conservación: Es el tiempo calendario hasta el cual un porcentaje gamma de ítems conserva su capacidad de trabajo en condiciones de transportación y/o almacenaje. La calidad desde el punto de vista de explotación de un ítem se evalúa integralmente a través de todos los índices expuestos.

Índices de confiabilidad a utilizar

Índices simples

Dentro de estos índices se analizarán los siguientes:

a) Índice de funcionabilidad.

Probabilidad de trabajo sin fallas durante un intervalo de tiempo dado P (t): Es la propiedad del objeto técnico que establece que en los límites de un período de explotación no surjan fallas y se expresa a través de la ecuación (2).

$$P(t) = \frac{N_o - n(t)}{N_o} \quad (2)$$

Dónde: N_o - Cantidad de equipos trabajando al principio de la prueba; $n(t)$ - Cantidad de equipos que fallaron al final del trabajo.

De igual manera se calculó la probabilidad de la falla Q (t), mediante la ecuación (3).

$$Q(t) = 1 - P(t) \quad (3)$$

Tiempo de trabajo medio hasta la falla (t): Es la esperanza matemática del trabajo del objeto técnico hasta que alcanza la primera falla y se expresa por la ecuación (4).

$$t_o = \frac{\sum_{i=1}^{N_o} t_{oi}}{N_o} \quad (4)$$

Dónde: $\sum t_{oi}$ - Sumatoria del tiempo promedio de trabajo hasta la primera falla y N_o - Cantidad de equipos al principio de la prueba.

Índices complejos de la confiabilidad

Flujo de la falla W(t), expresado por la ecuación (5).

$$W(t) = \frac{n(t)}{N(\Delta t)} \quad (5)$$

Dónde: $n(t)$ - Cantidad de objetos que fallaron al cabo del período de tiempo y $N(\Delta t)$ - Cantidad de vehículos con capacidad de trabajo en el intervalo de tiempo (Δt).

Coefficiente de disponibilidad (K_d): Es la probabilidad de que el objeto técnico esté apto para el trabajo en un momento arbitrariamente escogido, excepto en los períodos de mantenimiento, en el transcurso de los cuales la utilización del objeto no se prevé y se determina por la ecuación (6).

$$K_d = \frac{T_o}{T_o + T_b} \quad (6)$$

Dónde: T_o - tiempo o volumen de trabajo hasta la falla y T_b - tiempo promedio invertido en la eliminación de la falla.

Coeficiente de utilización técnica Kut: Es la relación entre el valor esperado del tiempo en que el objeto técnico mantiene su capacidad de trabajo, y la suma de este y el tiempo de todas las paradas ocasionadas por los mantenimientos y las reparaciones, durante un período cualquiera de su utilización, determinado por la ecuación (7).

$$K_{ut} = \frac{t_{sum}}{t_{sum} + t_{mt} + t_{rep}} \quad (7)$$

Dónde: tsum - tiempo del objeto con capacidad de trabajo; tmt - tiempo adicional de parada debido a los mantenimientos planificados y no planificados. (No se consideran las paradas por motivos organizativos) y trep - tiempo adicional de parada por reparaciones planificadas y no planificadas.

Coeficiente de disponibilidad operativa Kdo: Este coeficiente caracteriza la posibilidad de que el objeto tenga capacidad de trabajo en cualquier momento del tiempo. Su valor puede ser determinado por la ecuación (8):

$$K_{do} = K_d \cdot P(t) \quad (8)$$

Dónde: Kd - coeficiente de disponibilidad y P(t) - probabilidad de trabajo sin fallas durante un intervalo de tiempo dado.

Aplicación de los indicadores de Clase Mundial

Los índices de clase mundial son un conjunto de indicadores para elevación de mantenimiento que son calculados a través de fórmulas comunes en todos los países [22, 23]. Los índices pueden ser cuantitativos o cualitativos, pero la idea es al máximo, hacer uso de los cuantitativos, puesto que se minimiza el componente subjetivo de la evaluación.

Indicadores de eficacia del Mantenimiento

Son aquellos destinados a mostrarle, principalmente, a la Gerencia de Mantenimiento cómo anda su gestión, desde el punto de vista de efectividad en la ejecución, es decir, disponibilidad de la Planta, número de paradas, tiempo perdido por paradas, etc. [24, 25]. Como un criterio generalizado se puede considerar que la disponibilidad de un equipo debe ser mayor al 90%, la velocidad de producción del orden del 95%, y el porcentaje de producto conforme del orden del 99%, con lo cual la Eficiencia Global del Equipo EGE debe ser del orden del 85%, tabla 1.

Tabla1. Indicadores de Eficacia del Mantenimiento

Eficacia del Mantenimiento	Expresión de cálculo	Descripción
% Disponibilidad del Equipo D	$D = 100 \cdot \frac{TPP - TPNP}{TPP}$	TPP, es el tiempo planeado para la producción. TPNP, es el tiempo de paradas no programadas.
% Velocidad de Producción Vp	$V_p = 110 \cdot \frac{U_{pr}}{U_p}$	Upr, son las unidades producidas. Up son las unidades planeadas.
% Producto conforme Pc	$P_c = 100 \cdot \frac{U_{pr} - U_{nc}}{U_p}$	Unc, son las unidades no conformes.
Eficiencia global del equipo EGE	$EGE = D \cdot V_p \cdot P_c$	
% Trabajo no programado Wnp	$W_{np} = 100 \cdot \frac{T_{np}}{T_{mtto}}$	Tnp, son las horas de trabajo no programado. Tmtto, son las horas totales laboradas en Mantenimiento.
% Tiempo debido a fallas Tf	$T_f = 100 \cdot \frac{T_{falla}}{TPNP}$	Tfalla, es el tiempo perdido debido a fallas.
% Horas de reparación Hrep	$H_{rep} = \frac{T_{rep}}{T_{mtto}}$	Trep, son las horas de mantenimiento empleadas en reparar averías.
(Confiabilidad) TPEF	$TPEF = \frac{T_{op}}{N_{arr}}$	Top, es el tiempo real de operación de la planta. Narr, es el número de arranques de Planta.
TPPR	$TPPR = \frac{T_{falla}}{N_{arr}}$	Narr, es el número de arranques de Planta.

Índices de Gestión de Mano de Obra

Todos los mecanismos de control de mano de obra, deben ser orientados en el sentido de obtener mayor aprovechamiento de los recursos humanos disponibles como todo, como también propiciar al personal mayor seguridad y satisfacción en el desempeño de sus atribuciones. Dentro de los índices de mantenimiento que se refieren a la mano de obra se destacan:

Trabajo en Mantenimiento Programado: Relación entre las horas hombre gastadas en trabajos programados y las horas hombre disponible, se entiende por "horas hombre disponible" aquellas presentes en la instalación y físicamente posibilitados de desempeñar los trabajos requeridos, este indicador se expresa por la ecuación (9).

$$TEMP = \frac{\sum HHMP}{\sum HHDP} \cdot 100 \quad (9)$$

Trabajo en Mantenimiento Correctivo: Relación entre las horas hombre gastadas en reparaciones correctivas (reparación de fallas) y las horas hombre disponible, determinado por la ecuación (10).

$$TEMC = \frac{\sum HHMC}{\sum HHDP} \cdot 100 \quad (10)$$

Otras Actividades del Personal de Mantenimiento: Relación entre las horas hombre gastadas en actividades no ligadas al mantenimiento de los equipos de la Unidad de Producción, llamadas "Trabajos de Apoyo", y horas hombre disponible, que se expresa por la ecuación (11).

$$OAPM = \frac{\sum HHGA}{\sum HHDP} \cdot 100 \quad (11)$$

Capacitación del Personal de Mantenimiento: Relación entre las horas hombre gastadas en capacitación del personal de mantenimiento y las horas hombre disponible, que se determina por la ecuación (12).

$$PECI = \frac{\sum HHEI}{\sum HHDP} \cdot 100 \quad (12)$$

Índices de Gestión de Costos

Costo de Mantenimiento por el Valor de Reposición: Relación entre el costo total de mantenimiento acumulado de un determinado equipo y el valor de compra de un equipo nuevo (valor de reposición), expresado por la ecuación (13).

$$CMRP = \frac{\sum CTMN}{VLRP} \cdot 100 \quad (13)$$

Costo de mantenimiento por Facturación: Relación entre el costo total del mantenimiento y la facturación de la empresa en el período de análisis, determinado por la ecuación (14).

$$CMFT = \frac{CTMN}{FTEP} \cdot 100 \quad (14)$$

Componente del costo de Mantenimiento: Relación entre el costo total del mantenimiento y el costo total de la producción, que se determina por la ecuación (15).

$$COMN = \frac{CTMN}{CTPR} \cdot 100 \quad (15)$$

El costo total de la producción incluye los gastos directos e indirectos de ambas dependencias (operación y mantenimiento), inclusive los respectivos lucros cesantes. Progreso en los Esfuerzos de Reducción de Costos : Relación entre el trabajo en mantenimiento programado y el índice anterior, expresado por la ecuación (16).

$$PERC = \frac{TBMP}{CMFT} \quad (16)$$

Este índice indica la influencia de la mejoría o empeoramiento de las actividades de mantenimiento bajo control con relación al costo de mantenimiento por facturación arriba indicado. Costo relativo con personal propio: Relación entre los gastos con mano de obra propia y el costo total del área de mantenimiento en el período considerado, que se determina por la ecuación (17).

$$CRPP = \frac{\sum CMOP}{CTMN} \cdot 100 \quad (17)$$

Costo relativo con material: Relación entre los gastos con material y el costo total del área de mantenimiento en el período considerado, expresado por la ecuación (18).

$$CRMT = \frac{\sum CMAT}{CTMN} \cdot 100 \quad (18)$$

Costo de Mano de Obra Externa: Relación entre los gastos totales de mano de obra externa (contratación eventual y/o gastos de mano de obra proporcional a los servicios de contratos permanentes) y la mano de obra total empleada en los servicios (propia y contratada), durante el período considerado, determinado por la ecuación (19).

$$CMOE = \frac{\sum CMOC}{\sum (CMOC + CMOP)} \cdot 100 \quad (19)$$

En el cálculo de ese índice pueden ser considerados todos los tipos de mano de obra contratada sea por servicios permanentes o eventuales. Costo de Mantenimiento con relación a la Producción: Relación entre el costo total de mantenimiento y la producción total en el período, que se expresa por la ecuación (20).

$$CMRP = \frac{\sum CTMN}{P RTP} \cdot 100 \quad (20)$$

Esta relación es dimensional, toda vez que el denominador es expresado en unidades de producción (ton, kW, km recorridos etc.). Costo de Capacitación: Relación entre el costo de entrenamiento del personal de mantenimiento y el costo total de mantenimiento, expresado por la ecuación (21).

$$CTET = \frac{\sum CEPM}{CTMN} \cdot 100 \quad (21)$$

Este índice representa los elementos de gastos de mantenimiento invertido en el desarrollo del personal a través de entrenamientos internos y externos, pudiendo ser complementado con el índice del costo de capacitación "per-cápita", o sea, en la inversión en capacitación por la cantidad de personal entrenado. Inmovilizado en Repuestos: Relación entre el capital inmovilizado en repuestos y el capital invertido en equipos, determinado por la ecuación (22).

$$IMRP = \frac{\sum CIRP}{\sum CIEQ} \cdot 100 \quad (22)$$

Se debe tener cuidado en el cálculo de este índice para considerar los repuestos específicos y parte de los no específicos utilizados en los equipos bajo la responsabilidad del área de mantenimiento, siendo pues un índice que generalmente se torna difícil de calcular debido al establecimiento de esta proporcionalidad. Costo de Mantenimiento por Valor de Venta: Relación entre el costo total de mantenimiento acumulado de un determinado equipo y el valor de venta de ese equipo, que se determina mediante la ecuación (23).

$$CMVD = \frac{\sum CTMN}{VLVD} \cdot 100 \quad (23)$$

Costo Global: Valor de reposición menos la suma del Valor de Venta con el Costo Total de Mantenimiento de un determinado equipo, expresado mediante la ecuación (24).

$$CMVD = VLPR - (VLVD + CTMN) \quad (24)$$

RESULTADOS y(o) DISCUSIÓN

En la tabla 2, se muestran los resultados del cálculo de los índices de confiabilidad, así como se realizan las valoraciones pertinentes en cada uno de ellos para el bloque 5.

Tabla2. Resultado de los Índices e indicadores de confiabilidad del bloque 5

Índices y coeficientes	Resultados (%)	Explicación
Índices de operatividad		
Probabilidad de fallo	25.2	Existe un 25.2 % de probabilidad de que se produzca un fallo durante el periodo de trabajo útil de la unidad generadora.
Probabilidad de trabajo sin fallo	71.3	La unidad generadora puede trabajar el 71.3 % del tiempo sin que ocurran fallos.
Índices de durabilidad		
Plazo de servicio	0.0416	El coeficiente del régimen de trabajo cumple con la condición siguiente: $0 < K_r \leq 1$
Índices de mantenibilidad		
Tiempo medio de mantenimiento	21.17	El 21.17 % del tiempo de trabajo planificado se empleó en el mantenimiento de la unidad.
Tiempo medio improductivo total	29.33	El 29.33 % del tiempo de trabajo planificado se empleó en trabajos por averías o fallos del equipo.
Índices e indicadores de confiabilidad		
Probabilidad de trabajo sin fallas durante un intervalo de tiempo dado P (t) (Índice de funcionabilidad)	P(t)=74.77 Q(t)=25.23	Se logró generar el 74.77 % de los MWh planificados sin presentar fallas. Se encuentra fuera de rango (90-95) Existió 25.23 % de probabilidad de fallo, periodo durante el que no se generó.
Índices complejos de la confiabilidad.		
Coeficiente de disponibilidad (Kd)	74.77	Se encuentra fuera de rango (85-90)
Coeficiente de utilización técnica Kut	58.56	Comportamiento desfavorable al estar por debajo del rango(90-95), lo que demuestra que los tiempos de restablecimiento de las averías son elevados al existir un tiempo prolongado entre la detección de la falla y su solución.
Coeficiente de disponibilidad operativa Kdo	55.90	El coeficiente de disponibilidad operativa se encuentra por debajo del rango, debido a la frecuente salida de explotación y la poca probabilidad de trabajo sin falla.

Principales resultados de los indicadores de Clase Mundial

En la tabla 3, se muestran los resultados de la evaluación de los Índices de Gestión de Mantenimiento asociados a los indicadores de Clase Mundial.

Tabla 3. Resultado de los Índices de Gestión de Mantenimiento asociados a los indicadores de Clase Mundial del bloque 5

Eficacia del Mantenimiento	Resultados %
% Disponibilidad del Equipo D	70.66
Eficiencia global del equipo EGE	35.02
% Trabajo no programado W_{np}	58.07
% Tiempo debido a fallas T_f	100
% Horas de reparación H_{rep}	138.50
(Confiabilidad) TPEF	93.88
TPPR	38.58

Siguiendo lo anteriormente expuesto, el cálculo de los indicadores de gestión de mano de obra se presenta en la tabla 4.

Tabla 4. Comportamiento de los Indicadores de Gestión de mano de obra del bloque 5

Eficacia del Mantenimiento	Resultados %
Capacitación del personal de Mto	0
Trabajo de Mto programado	0.33
Trabajo en Mto correctivo	3.69
Otras actividades del personal de Mto	96.4

En el año 2023 no se capacitó a la fuerza de trabajo vinculada a la actividad de mantenimiento, por lo que el indicador de gasto de capacitación de la fuerza de trabajo es cero; el trabajo de mantenimiento programado es de 0.33 %, pues de las 504 órdenes de trabajo que se ejecutaron en el período, sólo 4 fueron de mantenimiento programado, por lo que se refuerza la hipótesis de que se trabaja contra averías y no por el plan de mantenimiento; el trabajo por mantenimiento correctivo se comporta al 3.69 %, lo que justifica con los resultados del indicador anterior; mientras que el elemento otras actividades del personal de mantenimiento, representa el 96.4 % del tiempo. La disponibilidad (D) es del 70.66 %, cuando debía estar por encima del 90 %, por lo que la unidad generadora no estuvo disponible el 29.34 % del tiempo que tenía planificado generar, por lo tanto, la Eficiencia Global del Equipo (EGE) es del 35.02 %, este indicador se encuentra muy por debajo de lo establecido como límite que es el 85 %.

El porcentaje de trabajo no programado (W_{np}) es del 58.07 %, por lo que se vuelve a demostrar que predominan los trabajos imprevistos o no programados por encima de lo planificados, lo que se confirma que se trabaja contra averías la mayor parte del tiempo; el tiempo debido a las fallas (T_f) representa el 100 % del tiempo de mantenimiento; el % de horas de reparación (H_{rep}) es de un 138,50, lo que confirma que el tiempo de reparación por fallas supera con creces al tiempo programado por mantenimiento, lo que refuerza lo planteado en el porcentaje de trabajo no programado (W_{np}); la confiabilidad (TPEF) indica que entre una falla y otra se trabajaron en el período 93.88 horas con confiabilidad y buenos resultados con relación al tiempo real trabajado por la unidad generadora (4694.36h); el tiempo promedio para reparar (TPPR) es de 38.58 horas por cada arranque, lo que representa el tiempo que como promedio demoran las intervenciones programadas realizadas.

Durante el trabajo de campo no se contó con la información necesaria para evaluar los indicadores de confiabilidad del bloque 6, por lo que solo se realizó la evaluación y análisis de los indicadores de clase mundial. En la tabla 5, se muestran los resultados de los indicadores de clase mundial para este bloque.

Tabla 5. Resumen de los resultados de los indicadores clase mundial para el bloque 6

Indicador	valor	Análisis del resultado
Índices de Gestión de Mantenimiento		
<i>Tiempo Medio Entre Fallas</i>		Este indicador no se puede calcular ya que el tiempo de operaciones de los equipos no se lleva.
<i>Tiempo Medio para Reparación</i>	Bloque 6 Bomba principal B 1.73hrs/falla Bomba Auxiliar B 2.75hrs/falla Reg. hidráulico 2.08hrs/falla Regulador Skoda A 3hrs/falla	El tiempo de reparación no se da criterio por falta de datos de los equipos. No se llevan los tiempos de operación de los equipos
<i>Tiempo Medio para Falla</i>		Este indicador no se puede calcular ya que el tiempo de operaciones de los equipos no se lleva.
Indicador de Disponibilidad	65,69%	Este indicador se calcula para el bloque seis ya que por equipo no se lleva el tiempo plan y real para operar. Este valor de disponibilidad es bajo ya que para que sea una disponibilidad aceptable debe estar alrededor de un 90%.
<i>Confiabilidad o tiempo medio entre falla</i>	153.52 hrs	Cada 153.52 horas el bloque 6 arranca ya sea por tiempo planificado de mantenimiento o por mantenimiento por avería.
<i>% Velocidad de Producción</i>	106.33%	Tiene un comportamiento adecuado debe estar en el orden de un 95 %.
<i>Eficiencia Global del Equipo</i>	69.94%	La eficiencia global es baja ya que queda por debajo del 85 %.
Índices de Gestión de Mano de Obra		
Trabajo en Mantenimiento Programado	0.35 %	De las horas hombres disponibles solo se usa un 0.30% para realizar trabajos preventivos de mantenimientos.
<i>Trabajo en Mantenimiento Correctivo</i>	25.08 %	De las horas hombres disponibles se usa un 25.08% para realizar trabajos correctivos.
<i>Otras Actividades del Personal de Mantenimiento.</i>	74.57 %	Un 74.57% de las horas hombres se dedican a realizar otras tareas.
<i>Capacitación del Personal de Mantenimiento</i>	0	No se realizó capacitación

El análisis de las órdenes de trabajo de los mantenimientos realizados en el año 2022 y 2023 evidenció que solo el 10.92%, 4.93% respectivamente corresponden a mantenimientos preventivos y un 89.02 %, 95.06% a mantenimientos correctivos. Lo que demuestra que se trabaja contra avería y no por un plan de mantenimiento. La disponibilidad del bloque 5 (D₅) es del 70.66 %, cuando debía estar por encima del 90 %, la Eficiencia Global del Equipo (EGE) es del 35.02 % por lo que este indicador se encuentra muy por debajo de lo establecido como límite, que es el 85 %. La disponibilidad del bloque 6 (D₆) es del 65,69% debe estar alrededor de un 90%, la confiabilidad cada 153.52 horas el bloque arranca ya sea por tiempo de mantenimiento planificado o por mantenimiento correctivo, la Eficiencia Global del Equipo (EGE) es del 69.94%, es baja ya que queda por debajo del 85 %, este bloque ha estado trabajando con carga limitada.

CONCLUSIONES

Se establece una metodología basada en indicadores de clase mundial, que integra indicadores de confiabilidad, operatividad, durabilidad y mantenibilidad, además de incorporar índices de mano de obra y de gestión de costos en el mantenimiento para el diagnóstico del estado técnico y evaluación del desempeño de los bloques de generación de las CTE en relación con la actividad de mantenimiento y se realiza un análisis riguroso a partir de la aplicación de la metodología a los bloques 5 y 6 de la CTE 10 de octubre. Durante el trabajo de campo se evidenciaron problemas en la recopilación de datos de operación y mantenimiento en el bloque 6 de la CTE, lo que impidió la realización del análisis de los indicadores de confiabilidad en el mismo, permitiendo solo la evaluación de los indicadores de clase mundial. La metodología está basada en las tendencias y enfoques más recientes en mantenimiento industrial y se utiliza la información más actualizada para el análisis de los bloques de generación de la CTE.

El resultado constituye un diagnóstico inicial que identifica las limitaciones de la gestión de mantenimiento en los turbogrupos, determinando los indicadores de confiabilidad globales, la metodología utilizada puede extenderse a otras CTE para la evaluación de la eficiencia y eficacia de la gestión de mantenimiento en la conservación de las capacidades funcionales de los equipos de los turbogrupos.

REFERENCIAS

- [1] Maican, C., *et al.* "Review of Fault Detection and Diagnosis Methods in Power Plants: Algorithms, Architectures, and Trends". *Appl. Sci.* 2025, vol. 15, n. 11, p. 6334. ISSN 2076-3417. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/11/6334>
- [2] Enomoto, Y. "Advances in Steam Turbines for Modern Power Plants". Woodhead Publishing. Sawston, Cambridge. 2022, p. 491-530. ISBN 9780-3239-1551-9. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/362201080_Steam_turbine_retrofitting_for_the_life_extension_of_power_plants
- [3] Rani, P., y Agrawal, A. "Failure analysis of a low-pressure stage steam turbine blade". *Nondestruct. Test. Eval.* 2023, vol. 38, n. 4, p. 668-682. ISSN 1058-9759. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/366348554_Failure_analysis_of_a_low-pressure_stage_steam_turbine_blade
- [4] Vulovic, M., *et al.* "Dynamic Balancing and Vibration Analysis of Rotor Turbines: Methodologies and Applications in Predictive Maintenance". *Symmetry.* 2025, vol. 17, n. 5, p. 743. ISSN 2073-8994. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-8994/17/5/743>
- [5] Khalil, A., y Rostam, S. "Machine Learning-based Predictive Maintenance for Fault Detection in Rotating Machinery: A Case Study". *Eng. Technol. Appl. Sci. Res.* 2024, vol. 14, n. 2, p. 13181-13189. ISSN 2241-4487. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/379546597_Machine_Learning-based_Predictive_Maintenance_for_Fault_Detection_in_Rotating_Machinery_A_Case_Study
- [6] El-Shafei, A. "Advances in Engine and Powertrain Research and Technology: Design Simulation Testing Manufacturing". Springer International Publishing. New York, United States, 2022, pp. 343-380. ISBN 9793-0309-1869-9. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.researchgate.net/publication/359878908_Advances_in_Engine_and_Powertrain_Research_and_Technology&ved=2ahUKEwiX0-vg_vWWAxVa78kDHR9YMv0QFnoECBMQAQ&usg=AOvVaw1OOhwKYIqD_N13pg23puMh
- [7] Li, D., *et al.* "Power plant turbine power trend prediction based on continuous prediction and online oil monitoring data of deep learning". *Tribol. Int.* 2024, vol. 191. ISSN 1879-2464. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/375563623_Power_plant_turbine_power_trend_prediction_based_on_continuous_prediction_and_online_oil_monitoring_data_of_deep_learning
- [8] Ignjatovska, A., *et al.* "Physics-Based, Data-Driven, and Physics-Based Data-Driven Methods for Diagnostics of Rotating Machinery-State of the Art". *Ann. Fac. Eng. Hunedoara.* 2023, vol. 21, n. 1, p. 43-52. ISSN 2601-2332. Disponible en: <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://search.proquest.com/openview/15947253cbd5c06e10a9a7368541df6f/1%3Fpq-origsite%3Dgscholar%26cbl%3D616472&ved=2ahUKEwjAxbWUGPaWAXV7Pt4AHYQqNVIQFnoECCAQAQ&usg=AOvVaw0Z8T6ad2-5vEWd5VmZEcPZ>
- [9] Ajewole, T., *et al.* "APPLICATION OF MACHINE LEARNING TO PREDICTION OF TURBINE ROTOR VIBRATION IN STEAM POWER PLANT". *J. Energy Saf. Technol. JEST.* 2023, vol. 6, n. 2, p. 1-9. ISSN 3135-0801. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/373423697_APPLICATION_OF_MACHINE_LEARNING_TO_PREDICTION_OF_TURBINE_ROTOR_VIBRATION_IN_STEAM_POWER_PLANT
- [10] Wang, R., *et al.* "A Review of Fault Diagnosis Methods for Rotating Machinery Using Infrared Thermography". *Micromachines.* 2022, vol. 13, n. 10, p. 1644. ISSN 2072-666X. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2072-666X/13/10/1644>
- [11] S. P., *et al.* "OIL MONITORING AND PREDICTIVE MAINTENANCE STRATEGIES: TRIBOLOGICAL METHODS FOR SUSTAINABLE INDUSTRIAL MANAGEMENT, MACHINERY RELIABILITY, AND ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENTS". *J. Balk. Tribol. Assoc.* 2025, vol. 31, n. 6. ISSN 0742-4787. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://openurl.ebsco.com/contentitem/gcd:191247136%3Fsid%3DDebsco:plink:crawler-gcd%26id%3DDebsco:gcd:191247136%26crl%3Dc%26jml%3D13104772&ved=2ahUKEwiT2K65i_aWAXX84ckDHAE RIvMQFnoECB8QAQ&usg=AOvVaw0zHkaRTPAJuEpUiGTR5TxI
- [12] Masoumi, Z., *et al.* "Signal-Model-Based Fault Diagnosis in Windings of Synchronous Generator". *IEEE Trans. Ind. Inform.* 2023, vol. 19, n. 3, p. 2942-2951. ISSN 1491-0050. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9785786/>
- [13] Petrovic, M., *et al.* "Improving Steam Turbine Plants Performance Through Advanced Testing and Simulation". *Energies.* 2025, vol. 18, n. 7, p. 1615. ISSN 1996-1073. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1996-1073/18/7/1615>

- [14] Su, H., *et al.* "Application of deep learning to fault diagnosis of rotating machineries". Meas. Sci. Technol. 2024, vol. 35, n. 4. ISSN 1361-6501. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6501/ad1e20>
- [15] Naqvi, H., *et al.* "AI-Driven Resilient Fault Diagnosis of Bearings in Rotating Machinery". Sensors. 2025, vol. 25, n. 22. ISSN 1424-8220. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1424-8220/25/22/7092>
- [16] Jebaraj, S., *et al.* "Cloud-Powered Precision: Revolutionizing Fault Detection in Thermal Power Plants". International Conference on Research Methodologies in Knowledge Management, Artificial Intelligence and Telecommunication Engineering (RMKMATE). Chennai, India. 2023, p. 1-5. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10368674>
- [17] Embia, G., *et al.* "Edge Computing-Based Conditional Monitoring". John Wiley & Sons, Estados Unidos, 2023, p. 249-270. ISBN 9781-1198-3678-0. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781119836780.ch10>
- [18] Liu, H., *et al.* "Digital Twin-Driven Machine Condition Monitoring: A Literature Review". J. Sens. 2022, vol. 2022, n. 1. ISSN 1687-7268. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2022/6129995>
- [19] Kumar, M., *et al.* "Detection of Cracks in Turbomachinery Blades by Online Monitoring". J. Eng. Gas Turbines Power. 2023, vol. 145. ISSN 1528-8919. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/358213222_Detection_of_Cracks_in_Turbomachinery_Blades_by_Online_Monitoring
- [20] Wang, Y., y Xu, W. "A novel decision optimization for thermal power unit based on condition-based predictive maintenance and equilibrium optimizer". Phys. Commun. 2024, vol. 65. ISSN 2399-6528. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/380238723_A_Novel_Decision_Optimization_for_Thermal_Power_Unit_Base_d_on_Condition-based_Predictive_Maintenance_and_Equilibrium_Optimizer
- [21] Ekwaro, S., *et al.* "Probabilistic Prognostics and Health Management of Energy Systems". Eds., Cham: Springer International Publishing, Suiza, 2017, p. 263-269. ISBN 9783-3195-5852-3. Disponible en: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-55852-3>
- [22] Eti, M., *et al.* "Integrating reliability, availability, maintainability and supportability with risk analysis for improved operation of the Afam thermal power-station". Appl. Energy. 2007, vol. 84, n. 2, p. 202-221. ISSN 1872-9118. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/223172488_Integrating_reliability_availability_maintainability_and_supportability_with_risk_analysis_for_improved_operation_of_the_Afam_thermal_power-station
- [23] Abdel, S., *et al.* "Decision Making Applications in Modern Power Systems". Eds., Academic Press. Estados Unidos. 2020, cap. 13, p. 337-364. ISBN 9780-1281-6626-0. Disponible en: www.researchgate.net/publication/336149977_Decision_Making_Applications_in_Modern_Power_Systems
- [24] Hernández, P., "Optimización del mantenimiento preventivo utilizando las técnicas de diagnóstico integral. Fundamento teórico-práctico". Ing. Energética, vol. 29, n. 2, p. 14-25, 2008. ISSN 1815-5901. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3291/329127758005.pdf>
- [25] Herrera, G., *et al.* "Diagnóstico de las centrales termoeléctricas en Colombia y evaluación de alternativas tecnológicas para el cumplimiento de la norma de emisión de fuentes fijas". Épsilon. 2008, vol. 1, n. 10. ISSN 3138-7829. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/955/95501006.pdf>

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses en relación con la publicación de este artículo.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Neeldes Matos Ramírez: <https://orcid.org/0000-0002-1371-8877>

Conceptualización, formulación y evaluación de objetivos y metas, análisis de resultados, escritura del borrador del artículo, revisión y corrección del borrador del artículo.

Onis Cobas Olivares: <https://orcid.org/0009-0000-5820-4629>

Participó en el diseño de la investigación, diseño del modelo, simulación, el procesamiento de los datos, la redacción del manuscrito, la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.

Gleibys Francisca Ramos Roque: <https://orcid.org/0009-0001-5348-5510>

Participó en el diseño de la investigación, diseño del modelo, simulación, el procesamiento de los datos, la redacción del manuscrito, la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.

Nioelba Fuentes Felicó: <https://orcid.org/0009-0000-0315-7810>

Participó en el diseño de la investigación, diseño del modelo, simulación, el procesamiento de los datos, la redacción del manuscrito, la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.

Eduardo Sierra Gil: <https://orcid.org/0000-0001-5216-2771>

Supervisión, liderazgo en planificación y ejecución de actividades de investigación, conceptualización, formulación y evaluación de objetivos y metas, análisis de resultados, escritura y revisión del artículo.

Davel Borges Vasconcellos: <https://orcid.org/0009-0004-2388-1215>

Conceptualización, formulación y evaluación de objetivos y metas, análisis de resultados, revisión y corrección del borrador del artículo.