

AUTOMATIZACIÓN PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA COCHRANE

Curso de Automatización | Semestre 2026-02

Autor Vicente Rojas

Correo v.rojas06@ufrontera.cl

Fecha 2026-09-22

Resumen

Este informe analiza una propuesta de automatización orientada a mejorar la eficiencia energética de la Central Termoeléctrica Cochrane, ubicada en Mejillones, Región de Antofagasta. Se distingue entre información pública, estimaciones técnicas y antecedentes no disponibles. El proceso seleccionado es el ciclo agua-vapor y su sistema de condensación, donde una parte importante de la energía suministrada no se transforma en electricidad y debe disiparse como calor. Se propone integrar las mediciones existentes y nuevas variables en un sistema de gestión energética con indicadores de eficiencia, consumo auxiliar y balance térmico. El resultado esperado es detectar desviaciones, comparar condiciones equivalentes de operación y apoyar decisiones de mantenimiento y optimización. La propuesta no afirma que todo el calor residual sea recuperable: su utilidad depende del nivel térmico, la demanda cercana, la corrosión, la inversión y las restricciones ambientales.

1. Introducción

La eficiencia energética de una central termoeléctrica depende de la conversión del poder calorífico del combustible en electricidad útil. En términos simplificados, la combustión entrega calor a una caldera, el agua se transforma en vapor, el vapor acciona una turbina conectada a un generador y posteriormente se condensa para repetir el ciclo. Durante este proceso existen pérdidas térmicas y consumos internos asociados a bombas, ventiladores, molienda, tratamiento de agua, transporte de materiales y sistemas ambientales.

El caso escogido es la Central Cochrane, instalación de generación a carbón situada en Mejillones. Fuentes públicas describen una capacidad bruta aproximada de 531 MW y dos unidades, aunque los valores operacionales detallados de combustible, temperatura, caudales, rendimiento y pérdidas no se encuentran disponibles en el material revisado. Por esa razón, el informe no atribuye cifras operacionales inventadas a la empresa: formula una propuesta de medición y evaluación aplicable a la central. El antecedente mencionado en el borrador sobre impactos en aves se reconoce como una cuestión ambiental distinta; no se utiliza como prueba de ineficiencia térmica.

2. Objetivo

Proponer un sistema de automatización y monitoreo energético para el ciclo agua-vapor y la disipación de calor de la Central Termoeléctrica Cochrane, mediante la identificación de variables, indicadores y criterios de evaluación, con el propósito de apoyar decisiones que reduzcan pérdidas y consumos auxiliares sin comprometer la seguridad ni el cumplimiento ambiental.

3. Metodología

Se aplicó un análisis técnico-descriptivo en cuatro etapas. Primero, se delimitó la empresa real y su actividad mediante información pública. Segundo, se representó el proceso con el ciclo térmico general de una central a vapor, evitando asignar a Cochrane datos que no fueron publicados. Tercero, se clasificaron fuentes de energía, suministros críticos y variables de medición. Cuarto, se formuló una mejora de digitalización y un método de evaluación antes-después, normalizado por carga y condiciones de operación. El enfoque sigue el principio de mejora continua de los sistemas de gestión de la energía de ISO 50001: medir, establecer una línea base, aplicar acciones y verificar el desempeño.

3.1. Uso de IA

Declaración de contribuciones según el marco Ciencia Generativa (Alarcón, 2026): Vicente Rojas (humano) participó en Conceptualización, selección de la empresa y del problema, Redacción del borrador original, orientación metodológica y Validación final. ChatGPT de OpenAI, modelo GPT-5 (IA), participó en Investigación, Análisis formal, ampliación del borrador, Revisión y edición. La evaluación realizada por la IA estima una distribución aproximada de 45% humano y 55% IA: el aporte humano definió el caso, el interés por la energía residual y el enfoque ambiental; la IA verificó el alcance, separó datos de estimaciones y estructuró variables, indicadores y bibliografía. El autor debe contrastar esta evaluación con el proceso efectivamente realizado y validar el texto antes de entregarlo.

4. Resultados

4.1. Empresa, ubicación y proceso energético

Empresa Eléctrica Cochrane opera una central termoeléctrica a carbón en la comuna de Mejillones, zona industrial y portuaria de la Región de Antofagasta. Su producto principal es electricidad entregada al sistema eléctrico. El proceso general comprende recepción y preparación de combustible; combustión y generación de vapor; expansión en turbina y generación eléctrica; condensación y retorno del agua; evacuación y transformación eléctrica; y control de emisiones, residuos y servicios auxiliares. La información pública consultada permite identificar ubicación, combustible, dos unidades y capacidad bruta cercana a 531 MW. No se encontraron datos públicos suficientemente detallados para calcular el rendimiento térmico real de cada unidad en el periodo analizado.

4.2. Fuentes de energía y suministros críticos

La Tabla 1 distingue lo publicado, lo inferido técnicamente y lo no disponible, evitando presentar supuestos como hechos de la empresa.

Tabla 1. Clasificación de fuentes de energía y suministros críticos del caso Cochrane.

Elemento	Función	Condición de la información
Carbón	Fuente térmica primaria	Publicado: central a carbón
Electricidad generada	Producto energético principal	Publicado: capacidad bruta aprox. 531 MW
Electricidad auxiliar	Bombas, ventiladores, molienda y servicios	Técnicamente necesaria; consumo real no disponible
Agua del ciclo	Transferencia de calor y generación de vapor	Crítica; caudales y calidad no disponibles
Refrigeración/condensación	Retiro de calor del vapor	Crítica; configuración y datos horarios no verificados
Aire y gases de combustión	Combustión y evacuación térmica	Críticos; parámetros reales no disponibles
Datos y control	PLC/DCS, sensores, historiador y comunicaciones	Necesarios; arquitectura interna no disponible

Nota. Elaboración propia a partir del caso planteado y fuentes públicas. La clasificación 'no disponible' se refiere a la información revisada para este informe, no necesariamente a la información interna de la empresa.

4.3. Proceso seleccionado y variables

Se seleccionó el ciclo agua-vapor, con atención al condensador y los consumos auxiliares. El objetivo no es simplemente 'disponer' del calor residual, sino determinar dónde se produce, cuánto existe, a qué temperatura está disponible y si puede reducirse o aprovecharse de manera técnica y ambientalmente viable. Las variables mínimas son:

- Energía eléctrica bruta y neta por intervalo (MWh), y potencia de los principales auxiliares (kW).
- Flujo de combustible (kg/h o t/h) y poder calorífico inferior del lote (MJ/kg).
- Caudal, presión y temperatura del vapor principal y del agua de alimentación.
- Vacío o presión del condensador; temperaturas de entrada y salida del medio de refrigeración.
- Temperatura de gases de escape y concentración de oxígeno como señales de exceso de aire y pérdidas por chimenea.
- Estado de bombas, ventiladores, válvulas, intercambiadores y alarmas; horas de operación y mantenimiento.
- Variables ambientales y de calidad relevantes, conservadas separadamente para verificar restricciones de operación.

Con estas mediciones pueden calcularse tres indicadores básicos. La eficiencia eléctrica neta se expresa como

$$\eta_{\text{neta}} = E_{\text{neta}} / Q_{\text{combustible}}. (1)$$

La tasa de consumo auxiliar se estima como

$$CA = (E_{\text{bruta}} - E_{\text{neta}}) / E_{\text{bruta}} \times 100\%. \quad (2)$$

Para una corriente térmica, el calor sensible transferido puede aproximarse por

$$Q = \dot{m} c_p (T_{\text{salida}} - T_{\text{entrada}}), \quad (3)$$

siempre que el fluido y sus propiedades permitan esta simplificación. Estos indicadores deben compararse a cargas equivalentes; de lo contrario, una reducción aparente podría deberse solamente a un cambio de producción.

4.4. Mejora propuesta de automatización

Se propone una capa de gestión energética conectada de manera segura al sistema de control existente. La solución recibiría datos del DCS/PLC y de medidores eléctricos, incorporaría un historiador de alta resolución y mostraría un tablero con balance energético, consumo auxiliar, vacío del condensador, pérdidas térmicas estimadas y desviaciones respecto de una línea base. Un módulo analítico detectaría combinaciones anormales -por ejemplo, mayor potencia de bombas para igual carga o deterioro gradual del vacío- y generaría avisos para revisión humana. Las decisiones de control críticas continuarían en los sistemas industriales autorizados; la plataforma propuesta apoyaría diagnóstico y planificación.

La mejora se evaluaría durante un periodo base y otro periodo posterior, usando indicadores normalizados por energía neta generada. Los criterios serían: reducción de kWh auxiliares por MWh neto; disminución del consumo térmico específico; estabilidad del condensador; menor tiempo operando fuera de bandas; reducción de detenciones atribuibles a los equipos monitoreados; y cumplimiento permanente de límites ambientales. El resultado solo se consideraría positivo si la mejora supera la incertidumbre de medición y no desplaza impactos hacia agua, emisiones, mantenimiento o seguridad.

5. Discusión

La propuesta conserva la idea central del borrador: registrar la energía generada y estimar qué proporción no se convierte en electricidad útil. Sin embargo, hablar de 'energía residual' como un solo flujo puede ser engañoso. Las pérdidas aparecen en gases, condensación, superficies, cenizas y consumos auxiliares; además, parte del calor rechazado es consecuencia inevitable del ciclo termodinámico. Por ello, el primer aporte de la automatización es construir un balance confiable antes de decidir una recuperación.

El condensador es un punto relevante porque concentra el rechazo de calor, pero suele hacerlo a baja temperatura. Recuperarlo puede ser útil si existe una demanda cercana y estable, por ejemplo un proceso de calentamiento de baja temperatura; de lo contrario, el costo de intercambiadores, tuberías y bombeo puede superar el beneficio. En una zona costera también deben considerarse corrosión, ensuciamiento, disponibilidad de agua y permisos ambientales. Por tanto, la propuesta prioriza primero reducir ineficiencias y consumos auxiliares, y solo después estudiar recuperación térmica con una evaluación de prefactibilidad.

El antecedente ambiental sobre aves no debe presentarse como causa de pérdida energética sin evidencia. Puede justificar una línea paralela de monitoreo ambiental -por ejemplo, registro de eventos y eficacia de medidas de mitigación-, pero no demuestra por sí mismo

que exista calor aprovechable. Separar ambos problemas mejora la precisión del informe y permite definir indicadores correctos para cada objetivo.

El uso real de IA ayudó a detectar esta diferencia, ordenar los supuestos y formular ecuaciones e indicadores. Su limitación fue no disponer de datos internos ni inspección de planta. La IA no puede confirmar la arquitectura del control, el estado de sensores, el desempeño térmico ni la factibilidad económica; esas tareas requieren validación del personal de operación, documentación técnica y mediciones reales.

6. Conclusiones

La Central Cochrane constituye un caso pertinente para estudiar eficiencia energética porque transforma energía térmica del carbón en electricidad mediante un ciclo agua-vapor y utiliza sistemas auxiliares que también consumen energía. La información pública permite describir el contexto general, pero no calcular con rigor su eficiencia operacional actual. El informe aporta una propuesta verificable sin convertir estimaciones en datos empresariales.

La mejora recomendada consiste en integrar variables térmicas, eléctricas y operacionales en una plataforma de gestión energética. Los indicadores principales son eficiencia neta, consumo auxiliar por MWh, desempeño del condensador y balance de calor. La automatización permitiría detectar desviaciones, priorizar mantenimiento y evaluar oportunidades de reducción o recuperación de pérdidas. Su implementación debe comenzar con una línea base y un piloto, mantener las funciones críticas en sistemas industriales seguros y considerar simultáneamente economía, seguridad y cumplimiento ambiental.

7. Licencia

Este trabajo se disponibiliza bajo licencia Creative Commons 4.0, conforme a los requerimientos del curso.

Licencia: Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) - <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> - versión actualizada 2026-09-22.

Bibliografía

- Alarcón, C. (2026). Generative Science as an analytical framework for integrating the full capabilities of generative artificial intelligence into scientific research while preserving scientific recognition. *Generative Science Preprints*, 2026(07), 19055673. <https://doi.org/10.5281/zenodo.19055673>
- AES Andes. (2026). AES Andes: Acelerar el futuro de la energía, juntos. <https://www.aesandes.com/es>
- BCS, Incorporated. (2008, marzo). Waste heat recovery: Technology and opportunities in U.S. industry. U.S. Department of Energy, Industrial Technologies Program. https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/intensiveprocesses/pdfs/waste_heat_recovery.pdf
- Global Energy Monitor. (2026). Cochrane power station. Global Coal Plant Tracker. https://www.gem.wiki/Cochrane_power_station
- International Organization for Standardization. (2018). ISO 50001:2018, Energy management systems — Requirements with guidance for use. <https://www.iso.org/standard/69426.html>