

TECNOLOGÍAS PARA EL ENFRIAMIENTO DE LAS TERMOELÉCTRICAS EN EL CONTEXTO ECUATORIANO

THERMOELECTRIC COOLING TECHNOLOGIES IN THE ECUADORIAN CONTEXT

Ronald Christian Campaña Tene^{1*}

¹ Instituto Superior Tecnológico Portoviejo. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9891-5879>.
Correo: ronald.campana@itsup.edu.ec

Lenin Mauricio Andaluz Granda ²

² Instituto Superior Tecnológico Portoviejo. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4553-0662>.
Correo: lenin.andaluz@itsup.edu.ec

* Autor para correspondencia: ronald.campana@itsup.edu.ec

Resumen

En el contexto ecuatoriano, las tecnologías de enfriamiento desempeñan un papel crucial en las operaciones de las centrales termoeléctricas. Estas tecnologías son esenciales para mantener la eficiencia y la confiabilidad de las plantas de generación de energía, que pueden utilizar una variedad de métodos para enfriar sus sistemas. Las torres de refrigeración emergen como una opción común en Ecuador, permitiendo la disipación del calor mediante la evaporación de agua caliente. Además, los intercambiadores de calor desempeñan un papel importante al transferir calor de un fluido a otro, contribuyendo a la eficiencia energética de las centrales. Sin embargo, el país también enfrenta desafíos relacionados con la disponibilidad de recursos hídricos y la sostenibilidad ambiental. La utilización de agua de enfriamiento puede plantear preocupaciones ambientales, especialmente en un país con una rica biodiversidad y una alta dependencia de los recursos naturales. Por lo que este trabajo aborda la experiencia de operarios encontrando que para la selección de tecnologías de enfriamiento en Ecuador se deben considerar cuidadosamente factores como la disponibilidad de recursos, las regulaciones ambientales y la eficiencia operativa. Las soluciones de enfriamiento requieren un enfoque equilibrado que garantice la generación de energía confiable y eficiente, al tiempo que se minimiza el impacto ambiental y se protege la biodiversidad única del país.

Palabras clave: Agua; Enfriamiento en Termoeléctricas; Impacto ambiental

Abstract



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Grupo Editorial “ALEMA-Pentaciencias” E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com

In the Ecuadorian context, cooling technologies play a critical role in the operation of thermoelectric power plants. These technologies are essential to maintain the efficiency and reliability of power generation plants, which can use a variety of methods to cool their systems. Cooling towers are becoming a common option in Ecuador, allowing heat to be dissipated through the evaporation of hot water. In addition, heat exchangers play an important role in transferring heat from one fluid to another, contributing to the energy efficiency of power plants. However, the country also faces challenges related to the availability of water resources and environmental sustainability. The use of cooling water can raise environmental concerns, especially in a country with rich biodiversity and high dependence on natural resources. Therefore, this paper looks at the experiences of operators and finds that factors such as resource availability, environmental regulations and operational efficiency need to be carefully considered when selecting cooling technologies in Ecuador. Cooling solutions require a balanced approach that ensures reliable and efficient power generation while minimizing environmental impact and protecting the country's unique biodiversity.

Keywords: Water; Thermoelectric cooling; Environmental impact

Fecha de recibido: 12/01/2023

Fecha de aceptado: 20/03/2024

Fecha de publicado: 23/03/2024

Introducción

Las centrales termoeléctricas clásicas utilizan como fuente de energía el calor que proviene de los combustibles fósiles como el gas natural y derivados del petróleo. El combustible se quema en una caldera generando una energía calorífica que se utiliza para producir vapor a partir del agua que circula por una serie de conductos. Durante el proceso de generación de electricidad en una central termoeléctrica, se generan altas temperaturas en el sistema de producción de energía. Para evitar daños en los equipos y mantener la eficiencia de la planta, es necesario enfriar ciertas partes del proceso (Atta 2018).

El enfriamiento o refrigeración en las centrales termoeléctricas es un proceso crucial para garantizar el funcionamiento eficiente de las plantas (Lugo, Torres, and Toledo 2003). Hay varias formas de llevar a cabo el enfriamiento en una central termoeléctrica (Baru and Bhatia 2020):

- **Torres de refrigeración:** son estructuras diseñadas para enfriar agua caliente que se ha utilizado para condensar el vapor en el ciclo de generación de energía. El agua caliente se rocía en la parte superior de la torre y desciende a través de rellenos que aumentan la superficie de contacto con el aire. El aire se mueve en sentido contrario al flujo de agua caliente, enfriándose por evaporación.
- **Intercambiadores de calor:** estos dispositivos transfieren calor de un fluido a otro, generalmente de agua caliente a agua fría. Los intercambiadores de calor pueden ser de varios tipos, incluidos los de carcasa y tubos, los de placas y los de tubos aletados.
- **Agua de enfriamiento:** algunas centrales termoeléctricas utilizan agua de ríos, lagos o mares para enfriar los sistemas. Esta agua se retira del cuerpo de agua, se utiliza para enfriar los equipos y luego

se devuelve al cuerpo de agua. Sin embargo, esto puede plantear preocupaciones ambientales debido al aumento de la temperatura del agua devuelta y a posibles impactos en los ecosistemas acuáticos.

- **Sistemas de refrigeración por aire:** algunas centrales termoeléctricas utilizan sistemas de refrigeración por aire para enfriar los equipos. Esto puede implicar el uso de grandes ventiladores para mover aire fresco sobre los equipos calientes, disipando así el calor.

Diversos autores (Chen et al. 2022; Baru and Bhatia 2020; Salah and Abuhelwa 2020) concuerdan en que no existe una solución única y totalmente acertada para todos los escenarios, cada método de enfriamiento tiene sus propias ventajas y desventajas en términos de eficiencia, costos y consideraciones ambientales. La elección del método de enfriamiento dependerá de varios factores, como la ubicación de la central, la disponibilidad de recursos hídricos y las regulaciones ambientales locales.

En el contexto ecuatoriano los desafíos en el diseño de sistemas de enfriamiento son especialmente críticos debido a la naturaleza de la generación de energía térmica (López-Coronel, Real-Pérez, and Moreira-Mendoza 2023). Algunos de los desafíos específicos que enfrentan las centrales termoeléctricas incluyen cinco aspectos esenciales que se describen a continuación:

La eficiencia térmica: optimizar la eficiencia térmica es fundamental para maximizar la cantidad de electricidad generada a partir del calor producido por la combustión de combustibles fósiles o la fisión nuclear. Los sistemas de enfriamiento deben diseñarse para minimizar las pérdidas de calor y maximizar la conversión de calor en electricidad;

Gestión de la temperatura: El control preciso de la temperatura es crucial para garantizar el rendimiento y la vida útil de los equipos en una central termoeléctrica. Los sistemas de enfriamiento deben mantener las temperaturas dentro de los límites operativos seguros para evitar daños en los equipos y maximizar la eficiencia de la generación de energía;

Consumo de agua: muchas centrales termoeléctricas utilizan grandes cantidades de agua para el enfriamiento, ya sea en torres de refrigeración o mediante la extracción de agua de fuentes naturales. La gestión sostenible del agua es un desafío importante, especialmente en áreas donde el agua es un recurso escaso o donde existen preocupaciones ambientales sobre la extracción de agua;

Impacto ambiental: los sistemas de enfriamiento pueden tener impactos ambientales significativos, como la liberación de calor residual en cuerpos de agua cercanos o la emisión de productos químicos utilizados en el tratamiento del agua de enfriamiento y

Los costos operativos: el funcionamiento de los sistemas de enfriamiento puede representar una parte significativa de los costos operativos de una central termoeléctrica. Es importante diseñar sistemas que sean eficientes en cuanto al consumo de energía y que requieran un mantenimiento mínimo para reducir los costos operativos a largo plazo.

Abordar estos desafíos en el diseño de sistemas de enfriamiento en centrales termoeléctricas requiere un enfoque integrado que considere los aspectos técnicos, ambientales y económicos de manera holística. El problema a resolver en esta investigación plantea que: al no tener un correcto sistema de enfriamiento las unidades de generación termoeléctricas pueden producir daños en los sistemas y afectar el medio ambiente de manera significativa.

En Ecuador, el uso de tecnologías de enfriamiento adecuadas es crucial por varias razones importantes, la primera es la *preservación del medio ambiente*. Ecuador es conocido por su biodiversidad única y sus ecosistemas frágiles, incluyendo la región amazónica, las Islas Galápagos y la selva nubosa. El uso de tecnologías de enfriamiento inadecuadas puede tener un impacto negativo en estos ecosistemas, especialmente si implica la extracción de grandes cantidades de agua de fuentes naturales o la liberación de calor residual en cuerpos de agua cercanos. Por otra parte, la *sostenibilidad hídrica* es un desafío especialmente en regiones donde el recurso es escaso o está amenazado por la contaminación y el cambio climático. El uso de tecnologías de enfriamiento que minimicen el consumo de agua y promuevan la recirculación y reutilización del agua es crucial para garantizar la disponibilidad de este recurso vital para las comunidades locales y el medio ambiente (Ramos-Males 2022).

Respecto a la *eficiencia energética*, Ecuador depende en gran medida de la generación de energía hidroeléctrica (Miranda 2020), pero también utiliza otras fuentes de energía, como el gas natural y el petróleo, para satisfacer sus necesidades energéticas. La implementación de tecnologías de enfriamiento eficientes ayuda a maximizar la eficiencia energética de las plantas de generación de energía, reduciendo así la dependencia de combustibles fósiles y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas. Todas estas cuestiones *impactan en la salud pública* porque la liberación de contaminantes atmosféricos y el aumento de la temperatura del agua pueden tener impactos negativos en la salud pública, incluyendo problemas respiratorios, enfermedades relacionadas con la calidad del agua y el aumento de la incidencia de enfermedades transmitidas por vectores. El uso de tecnologías de enfriamiento adecuadas puede contribuir a reducir estos impactos y proteger la salud de la población.

En la actualidad, Ecuador enfrenta desafíos en la gestión de sus recursos naturales y la mitigación de los impactos ambientales asociados con el desarrollo industrial y energético. La implementación de tecnologías de enfriamiento adecuadas es fundamental para abordar estos desafíos y promover un desarrollo sostenible que proteja el medio ambiente, garantice la disponibilidad de recursos naturales y promueva el bienestar de la población ecuatoriana. Por esto nos planteamos el **objetivo** de caracterizar las tecnologías de enfriamiento y los factores relevantes para su implementación en termoeléctricas ecuatorianas.

Como **objetivos específicos** se ha definido:

1. Determinar las causas de fallas en los elementos internos de generación por falta de enfriamiento.
2. Describir los factores condicionantes para el diseño de sistemas de enfriamiento.
3. Establecer una comparación entre los sistemas de enfriamiento utilizados en las termoeléctricas.

La **hipótesis** plantea que la selección de una estrategia adecuada al entorno medioambiental para el diseño de sistemas de enfriamiento en termoeléctricas contribuye al mantenimiento de sus elementos internos y a la mitigación de daños medioambientales.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolla con una metodología cuantitativa, enfocado en valorar los mejores sistemas o equipos auxiliares para el enfriamiento de los elementos internos de las unidades de generación. Estos deberán

ser confiables y económicamente factibles para el mantenimiento preventivo o correctivo, pero con mucha eficiencia para su importante trabajo evitando daño en sus elementos internos de la termoeléctrica, especialmente en su rotor, estator y alabes, siendo estos elementos parte principal de las termoeléctricas. Se recopilieron datos bibliográficos y encuestas a especialistas de termoeléctricas. De acuerdo al paradigma de investigación cuantitativo, en el desarrollo de esta investigación se utilizó el siguiente diseño metodológico:

Métodos teóricos: análisis – síntesis, para identificar las principales causas que provocan las fallas en los sistemas de enfriamiento, así como un análisis holístico de las relaciones que se establecen entre la selección de las tecnologías de los sistemas de enfriamiento en el medio ambiente y en el funcionamiento de los elementos internos de la generación eléctrica.

Métodos empíricos: las encuestas permiten una comprensión empírica del entorno basado en la experiencia de especialistas y operarios de termoeléctricas ecuatorianas.

Técnicas: la revisión de documentos permite establecer los criterios actualizados internacionalmente que son adoptados para las mejores prácticas en el diseño de sistemas de enfriamiento de termoeléctricas. Por su parte, los cuestionarios permiten valorar cuantitativamente algunos de los factores identificados de acuerdo a la experiencia de especialistas en el contexto ecuatoriano.

La muestra se compuso inicialmente de 20 especialistas de termoeléctricas, de los que fueron descartados 2 por pertenecer al área de tratamiento de combustibles, la siguiente figura muestra la composición del resto de los entrevistados. Siendo la mayoría del área de los sistemas de enfriamiento.

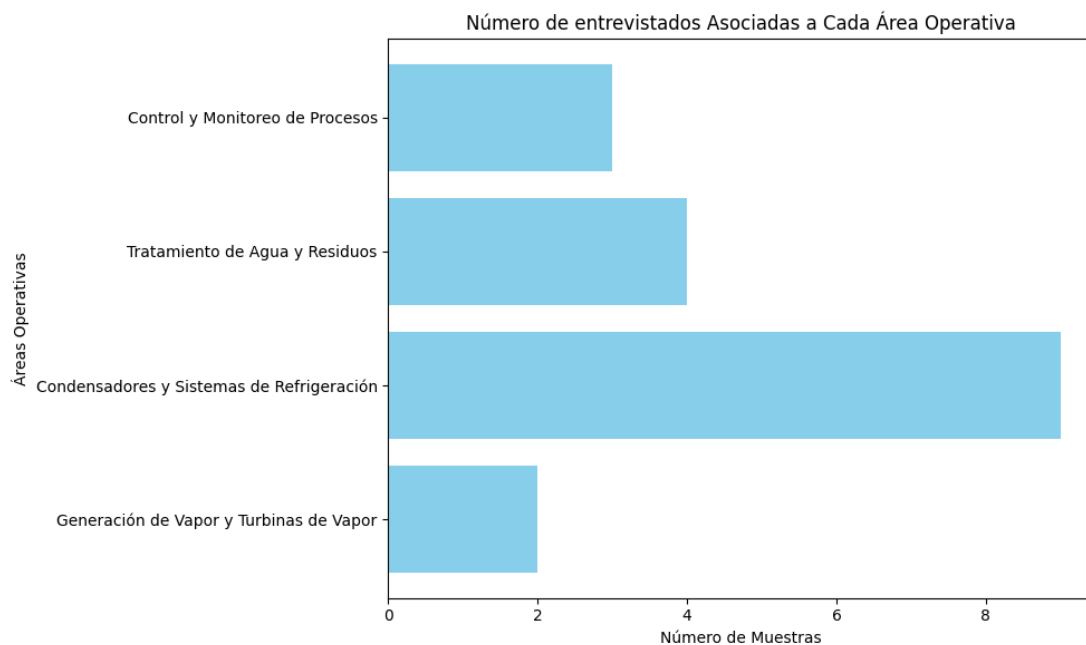


Figura 1. Composición de la muestra por áreas operativas de las termoeléctricas

Resultados y discusión

Los resultados de la investigación están alineados con los objetivos propuestos y son desarrollados en el presente epígrafe iniciando con la identificación de las causas de fallos de los sistemas de enfriamiento. Se exponen datos sobre fallos y rendimiento inadecuado en los sistemas de enfriamiento para mostrar su impacto en diversos escenarios. Se incluyen datos de casos de estudio y ejemplos documentados de impacto de problemas de enfriamiento manifestados en termoeléctricas. Como parte de la discusión se exponen los factores contribuyentes a los problemas de enfriamiento, sus implicaciones para el diseño y la operación, la evaluación de consideraciones ambientales y económicas. Concluyendo con las principales limitaciones del estudio e identificación de áreas para futuras investigaciones.

Factores contribuyentes a los problemas de enfriamiento

Las principales causas de los problemas de enfriamiento en centrales termoeléctricas pueden variar según el diseño específico de la planta y las condiciones operativas. De acuerdo a la revisión de la literatura especializada (Vélez-Anchundia, Arteaga-Linza, and Velepucha-Sánchez 2024) existe coincidencia en que las causas comunes incluyen la falta de capacidad de enfriamiento adecuada. Si los sistemas de enfriamiento no están diseñados para manejar las cargas térmicas generadas durante la operación normal de la central termoeléctrica, puede producirse un sobrecalentamiento de los equipos y componentes críticos.

Las obstrucciones en los sistemas de enfriamiento provocan la acumulación de sedimentos, algas, incrustaciones u otros materiales en los conductos de agua de enfriamiento pueden reducir el flujo de agua y disminuir la eficiencia del enfriamiento, lo que resulta en un rendimiento deficiente del sistema. Por otra parte, la corrosión y deterioro de equipos por su exposición al agua de enfriamiento puede reducir su vida útil y comprometer su integridad estructural, lo que lleva a una disminución en la eficiencia del enfriamiento y una mayor probabilidad de fallos del equipo. Otra de las causas es la contaminación del agua de enfriamiento debido a la entrada de contaminantes químicos, biológicos o sólidos en el agua de enfriamiento puede afectar negativamente su capacidad para disipar el calor de manera eficiente, lo que resulta en un rendimiento inadecuado del sistema de enfriamiento.

Por su parte las temperaturas extremas del agua de enfriamiento ya sea demasiado caliente o demasiado fría en comparación con las condiciones de diseño, pueden afectar la capacidad del sistema de enfriamiento para mantener las temperaturas de operación adecuadas en la central termoeléctrica. Y por último, problemas de diseño del sistema de enfriamiento como una distribución inadecuada del agua de enfriamiento, una mala selección de los componentes o una configuración ineficiente de los equipos, pueden provocar problemas de enfriamiento en la central termoeléctrica. Un factor relevante, es la falta de mantenimiento adecuado (preventivo y correctivo) puede conducir a la acumulación de suciedad, el deterioro de los equipos y la disminución de la eficiencia del sistema, lo que aumenta el riesgo de problemas de enfriamiento en la planta.

Abordar estas causas de manera proactiva mediante un diseño adecuado, un mantenimiento regular y la implementación de prácticas de operación óptimas es fundamental para garantizar un rendimiento confiable y eficiente de los sistemas de enfriamiento en las centrales termoeléctricas. Algunos ejemplos de la materialización de problemas a partir de las causas identificadas se exponen a continuación.

1. Obstrucciones en los sistemas de enfriamiento:

En un estudio realizado en una central termoeléctrica, se encontró que la acumulación de sedimentos en los conductos de agua de enfriamiento reducía el flujo de agua en un 30%, lo que resultaba en un aumento de temperatura del sistema de enfriamiento de aproximadamente 5°C. En otra investigación, se estimó que la formación de algas en las rejillas de entrada de agua de enfriamiento causaba una disminución del 20% en la eficiencia del enfriamiento, lo que resultaba en un aumento de temperatura de hasta 8°C en los equipos críticos.

2. Corrosión y deterioro de equipos:

Según datos recopilados en varias centrales termoeléctricas, se estimó que la corrosión en los intercambiadores de calor causaba una pérdida anual de eficiencia del enfriamiento del 5 al 10%, lo que resultaba en un aumento significativo de los costos operativos. En un estudio de caso, se encontró que el deterioro de las turbinas debido a la corrosión causaba una disminución del 15% en la capacidad de generación de energía de la central, lo que resultaba en pérdidas económicas sustanciales.

3. Temperaturas extremas del agua de enfriamiento:

Durante un período de sequía en una región específica, se observó que el aumento de temperatura del agua de enfriamiento en una central termoeléctrica provocaba una disminución del 12% en la eficiencia del enfriamiento, lo que resultaba en una pérdida de capacidad de generación de energía de aproximadamente 50 MW. Por su parte en una central ubicada en una región con temperaturas extremadamente altas en verano, se registró que el aumento de temperatura del agua de enfriamiento provoca un deterioro del 20% en la eficiencia del enfriamiento, lo que resultaba en una pérdida de capacidad de generación de energía de hasta 100 MW.

Estos datos cuantitativos resaltan la importancia de abordar los problemas de enfriamiento en las centrales termoeléctricas de manera efectiva para garantizar un rendimiento óptimo y reducir los impactos económicos y operativos adversos. La figura 1 muestra un gráfico del comportamiento aproximado de la manifestación de estas causas en el entorno ecuatoriano.

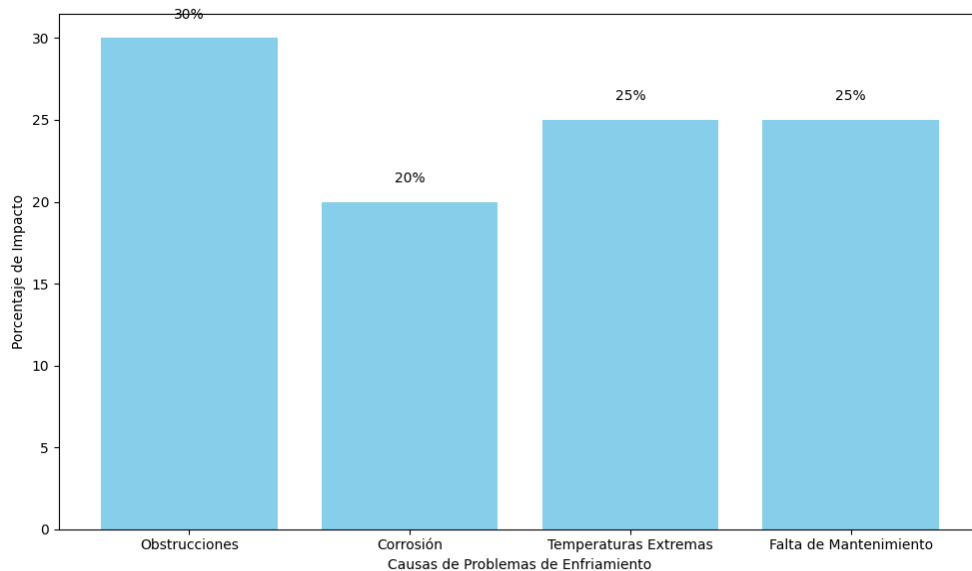


Figura 2. Impacto de causas en problemas de enfriamiento en centrales termoeléctricas en Ecuador.

Estrategias de mitigación y diseño para fallas en los sistemas de enfriamiento

Para gestionar los desafíos en el diseño de sistemas de enfriamiento en centrales termoeléctricas, se implementan diversas estrategias en todo el mundo. Estas estrategias pueden incluir la optimización de la eficiencia energética empleando tecnologías y prácticas de diseño que mejoran la eficiencia energética de los sistemas de enfriamiento, como el uso de equipos de última generación, la optimización de los ciclos de operación y el uso de tecnologías de recuperación de calor (Lv et al. 2020).

Se implementan sistemas de recirculación de agua para reducir la cantidad de agua fresca necesaria en los procesos de enfriamiento. Esto ayuda a mitigar el impacto ambiental asociado con la extracción de agua y reduce los costos operativos. Para el tratamiento avanzado del agua se utilizan tecnologías de tratamiento avanzado del agua para mejorar la calidad del agua utilizada en los sistemas de enfriamiento y reducir la formación de incrustaciones, corrosión y contaminación. Esto ayuda a prolongar la vida útil de los equipos y a reducir los costos de mantenimiento.

Los sistemas de reutilización de calor residual aprovechan el calor generado por los procesos de enfriamiento y lo utilizan en otras aplicaciones, como calefacción de edificios o procesos industriales. Esto ayuda a mejorar la eficiencia energética global de la central. El desarrollo de tecnologías de enfriamiento avanzadas, como sistemas de refrigeración por absorción, refrigeración termoeléctrica y sistemas de enfriamiento sin agua, que pueden ofrecer ventajas en términos de eficiencia, sostenibilidad y costos.

En otro sentido, acciones más blandas como la implementación de políticas y regulaciones ambientales promueven prácticas de diseño y operación sostenibles en las centrales termoeléctricas, como límites de descarga de agua caliente, restricciones en el uso de ciertos productos químicos y requisitos de eficiencia energética. Igualmente, la colaboración y compartir mejores prácticas entre empresas, instituciones de investigación y gobiernos para compartir mejores prácticas, lecciones aprendidas y tecnologías innovadoras

en el diseño y gestión de sistemas de enfriamiento en centrales termoeléctricas (Shoeibi, Rahbar, and Abedini Esfahlani 2022).

Tabla 1. Impacto de sistemas de enfriamiento en costos, mantenimiento y medio ambiente.

Estrategia de Diseño de Enfriamiento	Impacto en el Mantenimiento	Impacto en los Costos	Factores Medioambientales
Uso de filtración avanzada para prevenir obstrucciones en los conductos	Reducción del mantenimiento debido a una menor acumulación de sedimentos y residuos	Moderado (costo inicial de implementación de sistemas de filtración)	Mejora de la calidad del agua y reducción de la contaminación ambiental
Implementación de recubrimientos anticorrosivos en equipos y conductos	Reducción de la necesidad de mantenimiento debido a la prevención de la corrosión	Moderado (costo inicial de aplicación de recubrimientos)	Reducción del riesgo de contaminación del agua y prolongación de la vida útil de los equipos
Diseño de sistemas de enfriamiento redundantes para garantizar la continuidad operativa	Reducción de la frecuencia y duración de los tiempos de inactividad debido a fallas en el sistema de enfriamiento	Elevado (costo de diseño e implementación de sistemas redundantes)	Aumento de la fiabilidad operativa y reducción del riesgo de impactos ambientales negativos durante periodos de inactividad
Utilización de tecnologías de recuperación de calor para aprovechar el calor residual	Reducción de los costos operativos al aprovechar la energía térmica residual para otros fines	Moderado (costo inicial de implementación de tecnologías de recuperación de calor)	Reducción del consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero
Integración de sistemas de monitoreo y control automatizado para una gestión eficiente	Reducción del tiempo y costos asociados con la supervisión y mantenimiento manual	Moderado (costo inicial de instalación y configuración de sistemas de monitoreo y control)	Optimización del rendimiento energético y minimización de impactos ambientales debido a una operación más eficiente

Estas estrategias se implementan de manera combinada y adaptadas a las condiciones específicas de cada central termoeléctrica y su entorno operativo. Su aplicación efectiva contribuye a mejorar la eficiencia operativa, reducir el impacto ambiental y garantizar la sostenibilidad a largo plazo de las centrales termoeléctricas. La siguiente tabla muestra un resumen de los autores sobre el impacto de las principales estrategias en los costos, impacto medioambiental y en el mantenimiento de los sistemas de generación.

Componentes de la generación afectados por problemas de enfriamiento

Los sistemas de enfriamiento son esenciales para proteger los componentes críticos de una turbina, como el rotor, el estator y los álabes, de las altas temperaturas y presiones asociadas con su operación. Al garantizar que estos componentes se mantengan dentro de los límites de temperatura seguros, los sistemas de enfriamiento contribuyen a mejorar el rendimiento, la fiabilidad y la vida útil de la turbina. Juegan un papel fundamental en el rendimiento y la vida útil de los componentes críticos de una turbina, como el rotor, el estator y los álabes. Los rodamientos que soportan el *rotor* necesitan ser enfriados para mantener una temperatura operativa segura y evitar el desgaste prematuro. Los sistemas de enfriamiento pueden incluir aceite o agua refrigerada que circula a través de canales internos o externos en los rodamientos. Los rotores de las turbinas pueden experimentar temperaturas extremadamente altas durante la operación. Los sistemas de enfriamiento ayudan a controlar estas temperaturas, evitando el sobrecalentamiento y el deterioro del material.

Los estatores de las turbinas están equipados con devanados de cobre que generan calor durante la operación. Los sistemas de enfriamiento proporcionan refrigeración para estos devanados, ayudando a mantenerlos dentro de los límites de temperatura seguros y garantizando su rendimiento óptimo. El núcleo del estator, que sostiene los devanados, también puede requerir enfriamiento para evitar el sobrecalentamiento y el deterioro del material. Los sistemas de enfriamiento pueden utilizar aire o agua para disipar el calor generado en el núcleo del estator.

Por su parte, los álabes de la turbina están expuestos a condiciones extremas de temperatura y presión debido al flujo de gas caliente que pasa a través de ellos. Los sistemas de enfriamiento, como el enfriamiento interno o el enfriamiento por película, se utilizan para proteger los álabes del sobrecalentamiento y el desgaste prematuro. Las plataformas que conectan los álabes también pueden requerir enfriamiento para evitar el daño causado por las altas temperaturas del flujo de gas. Los sistemas de enfriamiento pueden dirigir el aire o el agua a las plataformas para mantenerlas dentro de los límites de temperatura seguros.

Discusión

El estudio realizado es consistente con los cuestionarios procesados en cuanto a la diversidad de estrategias de diseño de sistemas de enfriamiento, las fallas fundamentales que provocan problemas en sus componentes internos y el impacto económico y medioambiental de su funcionamiento. La tabla 2 muestra un resumen de los escenarios de uso de las principales fuentes de enfriamiento (aire, agua e hidrógeno). En resumen, no existen criterios universales para la selección de una u otra, pero en general de acuerdo a los escenarios de uso que se identifican se puede asumir la práctica general que no es excepción en el contexto ecuatoriano.

Tabla 2. Resumen de escenarios típicos de uso para cada tipo de enfriamiento.

Escenario de Uso	Enfriamiento por Agua	Enfriamiento por Aire	Enfriamiento por Hidrógeno
Centrales Termoeléctricas	✓ Alta eficiencia térmica.		

	✓ Capacidad para disipar grandes cantidades de calor.		
	✓ Requiere infraestructura para torres de enfriamiento, bombas y tuberías.		
Procesos Industriales	✓ Enfriamiento de equipos de proceso, intercambiadores de calor y reactores.		
	✓ Ampliamente utilizado en refinerías, plantas químicas y fabricación.		
Equipos Eléctricos de Alta Potencia			✓ Alta eficiencia y capacidad para enfriar sistemas eléctricos de alta potencia.
			✓ Requiere equipos especializados y sistemas de gestión de seguridad.

El estudio realizado se ha enfocado fundamentalmente a las cuestiones técnicas en el diseño y selección de sistemas de enfriamiento, siendo consultadas fuentes actualizadas y el intercambio con especialistas de las áreas operativas de termoeléctricas. Sin embargo, los autores consideran propicio profundizar en la subyacente influencia de los mecanismos de enfriamiento en el medio ambiente como parte de futuras investigaciones. Dada las crisis ambientales que se han manifestado en Ecuador profundizar en este aspecto es crucial para el desarrollo de políticas y tecnologías respetuosas con el medio ambiente.

Conclusiones

En esta investigación, se abordaron los sistemas de enfriamiento en el contexto ecuatoriano. Se seleccionó una muestra de 20 especialistas asociados a diferentes áreas operativas de termoeléctricas en Ecuador. A partir de esta muestra, y de acuerdo a las revisiones documentales realizadas se concluyeron los principales escenarios de uso de los mecanismos de enfriamiento. Se profundizó en las causas de fallas y las estrategias de enfriamiento más comunes para evitar dichas fallas. Además, se destacó la importancia de comparar estos hallazgos con estándares internacionales para evaluar la alineación de Ecuador con las prácticas globales en la industria de la energía. Se exploraron posibles pasos para analizar y utilizar datos relacionados con los sistemas de enfriamiento en centrales termoeléctricas con el objetivo de mejorar su eficiencia y rendimiento

en equilibrio con el medio ambiente. Cuestión que los autores identifican como pasos futuros en su investigación.

Referencias

- Atta, R. M. 2018. "Thermoelectric Cooling." *Bringing Thermoelectricity into Reality*. <https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=gHuQDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA247&dq=thermoelectric+cooling+%2B+issues&ots=FxIK5-zVlQ&sig=Qrmzp4609-msyNgdjl88RVIQxjg>.
- Baru, Suhani, and Sonal Bhatia. 2020. "A Review on Thermoelectric Cooling Technology and Its Applications." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 912 (4): 042004.
- Chen, Wen-Yi, Xiao-Lei Shi, Jin Zou, and Zhi-Gang Chen. 2022. "Thermoelectric Coolers: Progress, Challenges, and Opportunities." *Small Methods* 6 (2): e2101235.
- López-Coronel, Gabriel Fernando, Grether Lucia Real-Pérez, and Néstor Roberto Moreira-Mendoza. 2023. "Análisis Causa Raíz en central de generación termoeléctrica de Ecuador." *MQRInvestigar* 7 (3): 3589–3608.
- Lugo, R., A. Torres, and M. Toledo. 2003. "Sistemas de Enfriamiento de Centrales Termoeléctricas." *Informacion*. <https://ipn.elsevierpure.com/es/publications/sistemas-de-enfriamiento-de-centrales-termoel%C3%A9ctricas>.
- Ly, S., Z. Qian, D. Hu, X. Li, and W. He. 2020. "A Comprehensive Review of Strategies and Approaches for Enhancing the Performance of Thermoelectric Module." *Energies*. <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/12/3142>.
- Miranda, Andrea Cristina Pazmiño. 2020. "Análisis del Plan Nacional de Eficiencia Energética en el Ecuador" 5 (1): 28–34.
- Ramos-Males, P. J. 2022. "La Eficiencia Energética: Una Estrategia Para La Economía Doméstica En Ecuador." *Dominio de Las*. <http://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/2708>.
- Salah, W. A., and M. Abuhelwa. 2020. "Review of Thermoelectric Cooling Devices Recent Applications." *Journal of Engineering Science and*. https://www.researchgate.net/profile/Wael-Salah-3/publication/334645185_Review_of_Thermoelectric_Cooling_Devices_Recent_Applications/links/5e3b2529299bf1cdb91134cf/Review-of-Thermoelectric-Cooling-Devices-Recent-Applications.pdf.
- Shoeibi, S., N. Rahbar, and A. Abedini Esfahlani. 2022. "Energy Matrices, Economic and Environmental Analysis of Thermoelectric Solar Desalination Using Cooling Fan." *Journal of Thermal*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10973-022-11217-7>.
- Vélez-Anchundia, Edison Stalin, Ángel Rafael Arteaga-Linzan, and Jorge Velepucha-Sánchez. 2024. "Factores que inciden en la disponibilidad de una central termoeléctrica." *MQRInvestigar* 8 (1): 450–69.